

Gestión de residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes bajo un enfoque gerencial estratégico

GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN CIUDADES EMERGENTES BAJO UN ENFOQUE GERENCIAL ESTRATÉGICO

Julián Andrés Afanador Rivera

Universidad Militar Nueva Granada

Notas de los autores

Julián Andrés Afanador Rivera, Facultad de Ingeniería Campus, Universidad Militar Nueva Granada

La correspondencia relacionada con esta investigación debe ser dirigida a Julián Andrés Afanador Rivera Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá

Gestión de residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes bajo un enfoque gerencial estratégico



GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN CIUDADES EMERGENTES BAJO
UN ENFOQUE GERENCIAL ESTRATÉGICO

Trabajo de grado presentado por
Julián Andrés Afanador Rivera

como requisito parcial para optar al título de
Magister en Gerencia de Proyectos

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingeniería Campus
Maestría en Gerencia de Proyectos
Cajicá, Colombia

2021

*Gestión de residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes bajo un enfoque gerencial
estratégico*

**GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN CIUDADES EMERGENTES BAJO
UN ENFOQUE GERENCIAL ESTRATÉGICO**

Julián Andrés Afanador Rivera

APROBADO:

Ing. Oscar Javier Bernal López, M.Sc.

Tutor

Nombres del primer jurado

Firma

Nombres del segundo jurado

Firma

Nota De Advertencia

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus estudiantes en sus proyectos de trabajo de grado, sólo velará por la calidad académica de los mismos, en procura de garantizar su desarrollo de acuerdo con la actualidad del área disciplinar respectiva. En el caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, el estudiante – autor asumirá toda la responsabilidad y saldrá en defensa de los derechos. Para todos los derechos la universidad actúa como un tercero de buena fe”. (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995)

Agradecimientos

En este acápite quiero hacer una mención especial a mi Padre, por su apoyo incondicional, por sus palabras sabias y consejos siempre a tiempo y asertivos, porque a pesar del grado de complejidad que conllevó el desarrollo del estudio y las ganas en algunas oportunidades de desistir, él siempre estuvo para brindar esa motivación extra que se requiere en este tipo de ejercicios. A mi compañera de vida, gracias por realizar este paso profesional y personal a mi lado, por compartir este proceso educativo y porque a pesar de las circunstancias siempre supimos salir adelante superando cada uno de los retos que se presentaron a lo largo del camino de aprendizaje. A mi familia, porque a lo largo de mi vida siempre han creído en mí y en todo momento siento esa buena energía. Por ultimo y no menos importante a mi tutor, por su acompañamiento y dedicación incondicional en el desarrollo de todo el trabajo de investigación así mismo una mención especial a cada uno de los profesores del programa por dedicarse a esa excelente labor que es enseñar y transmitir conocimiento.

Dedicatoria

Quise dejar este espacio para mencionar y dedicarle este esfuerzo a mi Hermano, quien por circunstancias de la vida tuvo que dejar este mundo, pero que a pesar del poco tiempo que estuvo conmigo, siempre guiaba cada uno de los pasos que tenía que dar en todos los aspectos de mi vida, tanto profesional como educativo. Muestra de ello es que estudiamos la misma profesión, teníamos los mismos gustos y por supuesto nos desempeñamos en funciones laborales similares.

A él, hermano incondicional, hijo ideal y por supuesto padre ejemplar, gracias por estar siempre a mi lado, por preocuparse por nosotros por encima de cualquier circunstancia, por exigirme cada día más y más, por ser ese segundo papá que asumió el reto y la responsabilidad de guiar mi desarrollo y mi camino, *“SEE YOU AGAIN”*.

Así mismo, a mi Madre, que, a pesar de su partida temprana de este mundo, sé que estaría orgullosa y feliz de ver todos y cada uno de los logros obtenidos en todos los aspectos de la vida, para ti madre.

Tabla de Contenido

RESUMEN	3
ABSTRACT.....	5
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL.....	7
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.5 OBJETIVOS	16
1.5.1 Objetivo General.....	16
1.5.2 Objetivos Específicos.....	16
1.6 ALCANCE.....	17
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	19
CAPÍTULO 3: MARCO DE REFERENCIA.....	28
3.1. MARCO CONCEPTUAL.....	28
3.2 MARCO TEÓRICO.....	39
3.2.1 Gestión integral de residuos (GIR)	39
3.2.2 Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS)	40
3.2.3 Tipos de residuos sólidos	41
3.2.4 Tratamiento de los residuos orgánicos.....	45
3.2.5 Gases de efecto invernadero (GEI)	56
3.2.6 Reducir, reusar y reciclar (3R).....	58
3.2.7 Economía circular	60
3.2.8 Sistemas de gerencia de proyectos.....	62
3.2.9 Objetivos De Desarrollo Sostenible.....	67
3.3 MARCO LEGAL	70
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	75
4.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	78
4.2 METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CIUDADES EMERGENTES.....	79
4.2.1 Preparación	80
4.2.2 Análisis y diagnóstico.....	80
4.2.3 Priorización	82
4.2.3 Plan de acción	85
4.3 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS	86

*Gestión de residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes bajo un enfoque gerencial
estratégico*

4.3.1 Diagnóstico de la gestión de los residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes	86
4.3.2 Análisis de las tecnologías para la gestión de los residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes	88
4.3.3 Establecimiento del estado financiero para la gestión de los RSO en las ciudades emergentes	90
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	92
5.1 IDENTIFICACIÓN DE CIUDADES EMERGENTES EN LA PROVINCIA DE SABANA CENTRO.....	92
5.1.1 Caracterización municipio de Chía.....	94
5.1.2 Caracterización municipio de Zipaquirá.....	96
5.2 MUNICIPIO DE CHÍA	98
5.2.1 Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos orgánicos	98
5.2.2 Análisis de los sistemas de tratamiento para los RSO	106
5.2.3 Establecimiento del estado financiero en la gestión de los RSO	109
5.3 MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ	113
5.3.1 Diagnóstico de la gestión de los residuos orgánicos.....	113
5.3.2 Análisis de las tecnologías utilizadas para la gestión de residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes	121
5.3.3 Establecimiento del estado financiero en la gestión de los RSO en el municipio de Zipaquirá.....	123
5.4 SISTEMA DE GESTIÓN ESTRATÉGICA PARA LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DE CIUDADES EMERGENTES.....	129
5.4.1 Selección de tecnologías para el aprovechamiento de residuos orgánicos	129
5.4.2 Presentación de un sistema innovador	135
5.4.3 Sistema de acopio	138
5.4.4 Procedimiento para la toma de decisiones en el sistema de gestión estratégico.....	141
5.4.5 Ganancias del proyecto	153
5.5 APORTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	155
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	161
REFERENCIAS	168
ANEXOS	178

Índice de Tablas

Tabla 1. Calificación de los criterios y metodología para la localización de áreas para disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios.....	54
Tabla 2. Principales gases de efecto invernadero	56
Tabla 3. Normatividad aplicable a la gestión de residuos	70
Tabla 4. Evaluar la gestión de los residuos en ciudades emergentes.....	76
Tabla 5. Aspectos evaluados en la gestión de los RSO	90
Tabla 6. Crecimiento demográfico de los municipios de la Provincia de Sabana Centro	93
Tabla 7. Cantidad de RSO recolectados	100
Tabla 8. Análisis DOFA de la gestión actual de los residuos orgánicos en el municipio de Chía	105
Tabla 9. Fuentes generadoras de RSO en el municipio de Chía.....	106
Tabla 10. Sistemas de tratamiento de los RSO del municipio de Chía.....	108
Tabla 11. Costos por componente para la gestión de los residuos orgánicos en Chía.....	110
Tabla 12. Costos totales anuales por la gestión de los RSO aprovechados	111
Tabla 13. Costos operacionales para la disposición de los residuos sólidos orgánicos de Chía.	112
Tabla 14. Proyecciones de RSO generados en los últimos años.....	115
Tabla 15. Análisis DOFA de la gestión de residuos orgánicos en el municipio de Zipaquirá ...	120
Tabla 16. Sitios de disposición final de los RSO del municipio de Zipaquirá	121
Tabla 17. Tarifas de aprovechamiento para los residuos en el municipio de Zipaquirá.....	124
Tabla 18. Costos de aprovechamiento de los RSO en Zipaquirá.....	125
Tabla 19. Costos operacionales para la disposición de los residuos sólidos orgánicos	127
Tabla 20. Descripción de tecnologías para el aprovechamiento de RSO	130
Tabla 21. Costos de producción por tipo de tecnología.....	134
Tabla 22. Tarifas de recolección y transporte de residuos año 2021	138
Tabla 23. Costos por tecnología aplicada a las ciudades emergentes de estudio	142
Tabla 24. Costos ahorrados por la implementación del sistema propuesto	143
Tabla 25. Fuentes de financiación para proyecto en materia ambiental y social.....	152

Índice de Figuras

Figura 1. Análisis FODA de la relación entre economía circular y gestión de los RSO	23
Figura 2. Modelo de un sistema integrado de gestión para RS.....	25
Figura 3. Estructuración del plan de gestión integral de residuos sólidos	41
Figura 4. Tipos de residuos para la separación en la fuente	42
Figura 5. Criterios básicos para gestión de residuos.....	43
Figura 6. Componentes del manejo de residuos	44
Figura 7. Ciclo de vida de los Residuos.....	45
Figura 8. Tecnologías de tratamiento para la conversión de la fracción orgánica.....	46
Figura 9. Etapas del proceso de compostaje	47
Figura 10. Las 3R.....	58
Figura 11. Economía circular.....	62
Figura 12. Perspectivas de Balanced Scorecard	65
Figura 13. Objetivos de desarrollo sostenible.....	68
Figura 14. Ilustración de los municipios de la Provincia de Sabana Centro.....	78
Figura 15. Primera etapa: Desarrollo del Plan de Acción.....	79
Figura 16. Esquema de un PGIRS	87
Figura 17. Localización del municipio de Chía	95
Figura 18. Localización del municipio de Zipaquirá	97
Figura 19. Proyectos del programa 6 del PGIRS de Chía.....	99
Figura 20. Recorrido de las rutas de recolección desde el municipio de Chía al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo.....	104
Figura 21. Recorridos a sitios de aprovechamiento de los RSO.....	109
Figura 22. Programas establecidos en el PGIRS para los residuos sólidos orgánicos.....	114
Figura 23. Ilustración de la distancia de Zipaquirá al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo	119
Figura 24. Localización de los sitios de aprovechamiento de los RSO del municipio de Zipaquirá	122

Gestión de residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes bajo un enfoque gerencial estratégico

Figura 25. Comparación de las distancias de los municipios al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo	128
Figura 26. Diagrama de procesos para la gestión de residuos orgánicos.....	133
Figura 27. Proceso de economía circular para los residuos orgánicos	136
Figura 28. Diagrama de procesos para la toma de decisiones de las alternativas de tratamiento de residuos orgánicos.....	145
Figura 29. Flujograma instructivo para el uso de la herramienta	147
Figura 30. Visualización de la herramienta para la toma de decisiones	148
Figura 31. Visualización del Balanced Scorecard	149
Figura 32. Graficas del BSC por cada perspectiva	151
Figura 33. Cadena de distribución	154
Figura 34. Portadas de las revistas donde se realizaron los sometimientos de los artículos.....	156
Figura 35. Evidencias de participación en el 5 Congreso Nacional y 1 Congreso Internacional de ciencias ambientales.....	158

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Cantidad de residuos sólidos dispuestos por las principales ciudades de Colombia en rellenos sanitarios.....	14
Gráfica 2. Población de los municipios de la provincia de Sabana Centro	94
Gráfica 3. Residuos orgánicos recolectados en el periodo 2017-2020	101
Gráfica 4. Cantidad de residuos sólidos orgánicos recolectados por mes años 2017 a 2020	102
Gráfica 5. Cantidad de residuos orgánicos generados en el municipio de Zipaquirá	116
Gráfica 6. Residuos orgánicos recolectados mensualmente durante los años 2017 a 2020	117
Gráfica 7. Porcentaje de distribución de los RSO recolectado en el municipio de Zipaquirá....	118
Gráfica 8. Costos totales por sitios disposición de los RSO	126
Gráfica 9. Costos de recolección y transporte de los residuos sólidos orgánicos.....	140

Lista de abreviaturas

AAM: Acuerdos Ambientales Multilaterales

BID: Banco Iberoamericano de Desarrollo

CE: Conductancia Eléctrica

CH₄: Metano

CO₂: Dióxido de carbono

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social

EA: Estudio Ambiental

FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GIR: Gestión Integral de Residuos

H₂O: Agua

HFCs: Hidrofluorocarbonos

HTC: Proceso de carbonización hidrotermal

ICES: Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles

kg: Kilogramos

N₂O: Óxido Nitroso

O₃: Ozono

ONUAA: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PFCs: Perfluorocarbonos

PGIRS: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos

PIB: Producto Interno Bruto

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

RS: Residuos Sólidos

RSU: Residuos Sólidos Urbanos

RSO: Residuos Sólidos Orgánicos

ton: Toneladas

WTE: Waste to Energy

3R: Reducir, reusar y reciclar

Resumen

El presente trabajo de investigación evaluó la gestión de los residuos sólidos orgánicos en una muestra de ciudades emergentes de la provincia de Sabana Centro en el departamento de Cundinamarca, lo anterior con el fin de proponer un sistema estratégico de gestión para los residuos sólidos orgánicos que pudiese ser adoptado por cualquier ciudad emergente.

Para la identificación de las ciudades emergentes se optó por utilizar la metodología del programa de asistencia técnica “Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenible (ICES)” del Banco Interamericano de Desarrollo, la cual facilita a las ciudades la formulación de planes de acción mediante su identificación como ciudades emergentes y sostenibles. Con base en la metodología se obtuvo que los únicos municipios de la provincia de Sabana Centro de Cundinamarca que cumplen con los parámetros para ser catalogados como ciudades emergentes (población mayor a 100.000 habitantes y crecimiento económico representativo para el departamento) son los municipios de Chía y Zipaquirá. Estos municipios cuentan con una población de aproximadamente 145.688 habitantes y 134.952 habitantes, respectivamente.

Analizando la normatividad vigente en Colombia, un habitante genera 0,85 kg/día de residuos sólidos, sin embargo, para el año 2020 y en consecuencia del confinamiento obligatorio ocasionado por la pandemia COVID-19 se proyectó que la generación de residuos sólidos generados por habitante podría alcanzar la cifra de 1 kg/día. Ahora bien, teniendo en cuenta la literatura, el 61,5%

de los residuos sólidos corresponden a residuos orgánicos, por lo cual se estima que Chía genere aproximadamente 89,161 ton/día y Zipaquirá 82,590 ton/día.

Finalmente, a partir de esto se determinó que la inversión que realiza cada municipio es significativamente alta considerando los costos de operación. De este modo se propuso un sistema de gestión estratégico que pueden reducir entre el 60% y 80% los costos invertidos actualmente por las ciudades emergentes estudiadas, en donde sean directamente ellas las encargadas de dirigir y gerenciar plantas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, generando de este modo beneficios ambientales, económicos y sociales.

Palabras Claves: Ciudad emergente, residuos sólidos orgánicos, gestión integral de residuos, aprovechamiento, sistema estratégico de gestión

Abstract

This research work evaluated the management of organic solid waste in a sample of emerging cities in the province of Sabana Centro in the department of Cundinamarca, to propose a strategic management system for organic solid waste that could be adopted by any emerging city.

For the identification of emerging cities, it was decided to use the methodology of the technical assistance program "Initiative of Emerging and Sustainable Cities (ICES)" of the Inter-American Development Bank, which facilitates the formulation of action plans by their identification as emerging and sustainable cities. Based on the methodology, it was obtained that the only municipalities in the province of Sabana Centro de Cundinamarca that meet the parameters to be classified as emerging cities (population greater than 100.000 inhabitants and representative economic growth for the department) are the municipalities of Chia and Zipaquirá. These municipalities have a population of approximately 145.688 inhabitants and 134.952 inhabitants, respectively.

Analyzing the regulations in force in Colombia, an inhabitant generates 0.85 kg/day of solid waste, however, by 2020 and because of the mandatory confinement caused by the COVID-19 pandemic, it was projected that the generation of solid waste generated by inhabitant could reach the figure of 1 kg/day. Now, considering the literature, 61.5% of solid waste corresponds to organic waste, for which it is estimated that Chia generates approximately 89,161 ton/day and Zipaquirá 82,590 ton/day.

Finally, from this it was determined that the investment made by each municipality is significantly high considering the operating costs. In this way, a strategic management system was proposed that can reduce between 60% and 80% the costs currently invested by the emerging cities studied, where they are directly in charge of directing and managing plants for the use of organic solid waste, thus, generating environmental, economic, and social benefits.

Key Words: Emerging city, organic solid waste, comprehensive waste management, use, strategic management system

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

La inadecuada gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) genera graves consecuencias ambientales, sociales y de salud pública que son una gran barrera para el crecimiento de los países en vía de desarrollo. El mayor desafío que enfrentan los sistemas municipales de gestión de residuos es la falta de recursos técnicos y financieros dedicados única y exclusivamente a mejorar la gestión de los residuos. Claramente la falta de inversión por parte de los gobiernos con lleva al deficiente tratamiento de los residuos (O. Castro, 2021).

En Colombia, la inadecuada gestión de los residuos sólidos (RS) ha generado impactos ambientales, económicos y sociales para el país, puesto que no se realiza una disposición adecuada de estos. Actualmente, el país cuenta con 171 rellenos sanitarios, 98 botaderos a cielo abierto, 18 celdas de contingencia y 14 celdas transitorias, así mismo la falta de apoyo político y el débil control de las autoridades han permitido la prevalencia de los botaderos como lugares incontrolados para la disposición de los residuos sólidos (Gobernación de Cundinamarca, 2019).

En el departamento no se cuenta con ningún relleno sanitario por lo cual el 65% de los municipios disponen sus residuos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo, 19 % en el Parque Ecológico Praderas del Magdalena, 6% en el relleno Doña Juana, 4% en el relleno La Doradita, 4% en el relleno Parque Ecológico El Reciclante y 1% en el relleno Aposentos (Gobernación de Cundinamarca, 2019). No obstante, la mayoría de los botaderos se encuentran ubicados en zonas

aledañas a la población, lo cual adicionalmente genera una problemática social por el alto nivel de exposición de las personas a estos lugares que son foco de propagación de enfermedades.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es analizar el impacto de la gestión de residuos sólidos en ciudades emergentes y comparar los diferentes sistemas utilizados para el tratamiento de los mismos, partiendo del análisis documental y la descripción analítica de los sistemas utilizados; además se generarán espacios de discusión con el fin de concientizar y promover la implementación de técnicas y sistemas estratégicos de gestión de residuos que contribuyan a la disminución de los impactos ambientales y sociales ocasionados por el inadecuado manejo de los residuos sólidos orgánicos. De este modo el desarrollo de esta investigación tendrá como énfasis el área de Proyecto Sostenibles, en busca de evaluar desde diferentes perspectivas el impacto que tendrá el proyecto sobre la comunidad, el ambiente y la economía de las ciudades emergentes evaluadas, con el propósito de crear un modelo de compensación y desarrollo.

1.3 Planteamiento del problema

De acuerdo con el informe del Banco Mundial titulado “What a Waste 2.0” (Kaza, 2018), A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050, si no se adoptan medidas urgentes, para el año 2050 la cantidad de residuos dispuestos a nivel mundial aumentara en un 70 % en comparación a los niveles actuales. Así mismo la ONU ha establecido que en promedio cada año se recolecta en el mundo una cantidad estimada de 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos, donde el 9% de estos son reciclados, el 12 % incinerados y el 79% restante se acumulan en vertederos,

basureros o el medio ambiente. En consecuencia, se estima que en el curso de los próximos 30 años la rápida urbanización y el crecimiento de la población aumentará la generación de residuos a 3.400 millones de toneladas.

Sameh Wahba, director de Desarrollo Urbano y Territorial, Gestión de Riesgos de Desastres, y Resiliencia del Banco Mundial, asegura que la gestión inadecuada de los residuos sólidos está ocasionando la contaminación de los océanos del mundo, obstruyendo drenajes y causando inundaciones, transmitiendo enfermedades, aumentando las afecciones respiratorias por causa de la quema, perjudicando a los animales que consumen desperdicios y afectando el desarrollo económico (Kaza et al., 2018)

Hasta hace algunas décadas la gestión de los residuos sólidos consistía en la disposición final de estos, en rellenos sanitarios en donde las políticas de cada uno de los países aprobaban y promovían la utilización de tierras para la disposición de los residuos. Sin embargo, en la actualidad existen varias iniciativas políticas y privadas encaminadas a la promoción de actividades de reutilización, reciclaje y aprovechamiento de los residuos sólidos. Tal es el caso de la Unión Europea que a través de su directiva 2008/98/CE sobre residuos sólidos, estableció la obligación de promover el desarrollo de tecnologías limpias, a través de políticas que permitan el reciclaje, reutilización y recuperación de residuos, para efectuar la transición a una economía circular (Diario Oficial de la Unión Europea, 2008).

Por otra parte, de acuerdo con el último informe de la base de datos del UNEP sobre el flujo de materiales y productividad de los recursos a nivel mundial, la cantidad de materias primas extraída de la Tierra paso de 22.000 millones de toneladas en 1970 a 91.000 millones de toneladas en 2017. Los principales consumidores de materiales son los países más ricos ya que consumen dos veces más que el promedio mundial y diez veces más que los países más pobres. Con base en esto se precisa que, si el mundo continúa sufriendo de la misma manera las necesidades de la humanidad tales como, alimentación, energía, agua, vivienda y movilidad, para el año 2050 los 9.000 millones de personas del planeta necesitarán 180.000 millones de toneladas de materiales cada año para satisfacer la demanda. Lo anterior equivale a casi tres veces la cantidad actual, generando así impactos en el recurso suelo y agua de todo el planeta, como por ejemplo se aumentaría la erosión del suelo y se produciría mayores cantidades de residuos (UNEP, 2017).

Para mitigar lo anteriormente expuesto se debe aplicar el concepto de economía circular, la cual tiene como objetivo lograr que los productos y materiales tengan un valor agregado manteniéndose el mayor tiempo posible en el ciclo productivo (Graziani, 2018). Para esto, se busca que los residuos y el uso de recursos se reduzcan al mínimo y que se conserven dentro de la economía cuando un producto ha llegado al final de su vida útil, con el fin de volverlos a utilizar repetidamente y seguir creando valor (DNP, 2016a).

El gran reto de la gestión de residuos sólidos se hace más complejo en aquellos gobiernos de ciudades en constante crecimiento demográfico y económico denominadas “ciudades emergentes” las cuales se caracterizan por tener una población de entre 100 mil y 2 millones de habitantes según

Banco Interamericano de Desarrollo (Terraza et al., 2014). A pesar del constante crecimiento de estas ciudades, los recursos que se destinan para la gestión de los residuos sólidos son muy limitados, además existe cierta resistencia a realizar alianzas público-privadas y a fomentar una cultura de reciclaje por sus habitantes.

En el mundo existen muchos casos de éxito y fracaso en cuanto a la gestión de residuos sólidos. A través de iniciativas para promover el reciclaje y el compostaje, San Francisco es ahora una de las ciudades más verdes de América del Norte y un líder en gestión de residuos (Economist Intelligence Unit, 2011). El éxito de San Francisco se ha logrado en gran medida gracias a una sólida política pública que evidencia un gran liderazgo político, fuertes alianzas público-privadas, educación para todos los actores e incentivos financieros para la reducción de residuos. Entre algunas de sus políticas públicas se prohíbe el uso de espuma de poliestireno en el servicio de alimentos, se estableció el reciclaje obligatorio para los escombros de la construcción, prohibió las bolsas de plástico en farmacias y supermercados e implementó reciclaje y compostaje obligatorios tanto para los residentes como para empresas, adicionalmente también prohibió la venta de botellas de agua de plástico.

Evidentemente San Francisco destinó sus esfuerzos a la disminución o eliminación de residuos sin embargo el alto costo recae sobre las tarifas de servicios públicos, no obstante, los contribuyentes pueden acceder a descuentos por disponer de los residuos en los espacios habilitados para tales fines. Como resultado de este modelo, el tamaño de los residuos mezclados se redujo a la mitad y el tamaño de los contenedores de reciclaje se duplicó. El gobierno

inspecciona con regularidad y los actores que no cumplan con las políticas reciben como primera instancia una advertencia, seguido de una sanción económica (Kaza et al., 2018)

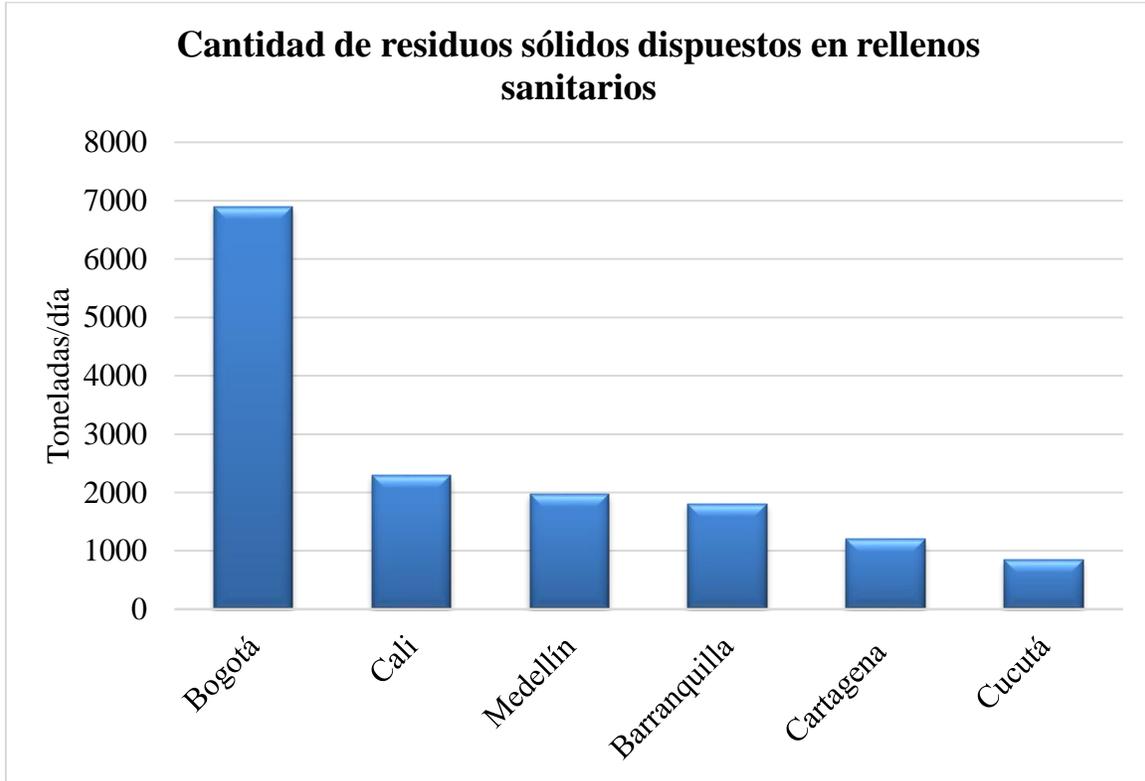
En contra parte, el avance de la gestión de los residuos sólidos en algunas ciudades no avanza exponencialmente como se quisiera, tal es el caso del estado de Chillán Chile, donde la gestión de los residuos sólidos constituye uno de los problemas ambientales y sociales más significativos, pues la situación de los residuos en esta región se encuentra sujeto a críticas por el funcionamiento del relleno sanitario ECOBIO, el cual ha ocasionado impactos negativos en el ambiente y la población por el manejo inadecuado de los lixiviados, incumplimiento de la normativa y capacidad insuficiente para disponer los grandes volúmenes residuos que se generan. Ahora bien, a pesar de que la ciudad de Chillán tiene aproximadamente 150.000 habitantes, la cantidad de residuos que esta genera iguala a ciudades como Valparaíso que tiene casi el doble de su población; lo anterior se debe a que no se cuentan con políticas claras para realizar una gestión adecuada de los residuos. (Morales & Maldonado, 2017)

El modelo aplicado por el estado evidencia un modelo lineal donde la mayor parte de los residuos terminan su ciclo en basureros a cielo abierto sin control ni técnicas de saneamiento, rellenos sanitarios insuficientes o próximos a agotarse. Adicional a ello la escasas y aisladas iniciativas de recuperación y reciclado de residuos, la falta de recursos financieros, el desconocimiento de información básica y necesaria a nivel municipal para mejorar la gestión de los residuos da como resultado el desbordamiento de la gestión lo cual genera un impacto directo de carácter social-ambiental (Lam et al., 2018).

De la misma manera Colombia, afronta una grave crisis en cuanto al manejo y disposición final de los residuos sólidos. De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación al 2018 se producían 11.6 millones de toneladas de residuos al año y solo se recicla el 17% (DNP, 2016b) además al 7,5 % de los rellenos sanitarios del país ya se les acabó su vida útil y a un 15 % le queda menos de tres años.

Otros datos del Departamento Nacional de Planeación señalan que en Colombia para el año 2019 se recolectaron y dispusieron en rellenos sanitarios 32.294 toneladas diarias de residuos sólidos domiciliarios. De acuerdo con la Gráfica 1, Bogotá es la ciudad donde más se produce residuos, cerca de 6.900 toneladas/día, seguida de Cali (2.300 ton/día), Medellín (1.975 ton/día), Barranquilla (1.806), Cartagena (1.200 ton/día) y Cúcuta (850 ton/día). Colombia es un país con muy bajas tasas de aprovechamiento y valorización de residuos en comparación con otros países, ya que tan solo se aprovecha el 17% de los residuos, mientras que España, Holanda y 27 países de la Unión Europea aprovechan en promedio el 37%, 99% y 67% respectivamente, de sus residuos (DNP, 2016a).

Gráfica 1. Cantidad de residuos sólidos dispuestos por las principales ciudades de Colombia en rellenos sanitarios



Fuente. Autoría propia, adaptado de (DNP, 2020)

Adicionalmente, existen pocos incentivos económicos y estrategias para aumentar los niveles de aprovechamiento. Como resultado, la gran mayoría de los RS son dispuestos en rellenos sanitarios concluyendo así su ciclo de vida lo que equivale a un modelo (modelo lineal). De persistir esta situación, además de las consecuencias ambientales, no se tendrá la capacidad instalada suficiente para disponer de todos estos residuos, generando emergencias sanitarias en la mayoría de las ciudades del país y una alta generación de emisiones de Gas de Efecto Invernadero (GEI).

Según el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), en Colombia para el año 2030 la generación de residuos en las zonas urbanas y rurales podría llegar a 18,74 millones de toneladas anuales (DNP, 2016a) de las cuales 14,2 millones de toneladas anuales de residuos serán dispuestas en rellenos sanitarios con insuficiente capacidad para recibirlos. Es decir, si no se invierte en infraestructura para el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de residuos; en los rellenos actuales no habrá suficiente espacio para manejar adecuadamente estas cantidades de residuos.

Por lo anterior es importante promover políticas y buenas prácticas para el adecuado tratamiento y disposición final de los residuos sólidos en sitios de aprovechamiento y rellenos sanitarios respectivamente, especialmente los orgánicos en donde se encuentran una gran cantidad de energía que puede ser recuperada y aprovecha a través de procedimientos y sistemas debidamente estandarizados, permitiendo la optimización de procesos y el aumento de los niveles de aprovechamiento, disminuyendo así los altos índices de contaminación ambiental producida por la inadecuada gestión de los residuos sólidos orgánicos.

Con base en lo expuesto anteriormente surge el siguiente planteamiento ¿Cómo las ciudades emergentes pueden aplicar un sistema de gestión estratégico para la toma de decisiones en el manejo de los residuos sólidos orgánicos?

1.4 Justificación

Esta investigación busco ser una herramienta para estandarizar procesos y metodologías adecuadas para la gestión y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes las cuales se pueden categorizar con un componente demográfico entre 100 mil y dos millones de habitantes. Directamente esta investigación beneficiará a las ciudades emergentes en cuanto a la mejora de la calidad de vida, previniendo enfermedades, mitigando impactos ambientales y generando oportunidades de desarrollo sostenible.

Metodológicamente esta investigación diseñó una herramienta para la gestión de residuos sólidos a través del análisis financiero, la cual servirá como insumo para la creación de políticas y protocolos obligatorios que promuevan el aprovechamiento de los residuos, contribuyendo al desarrollo sostenible de las ciudades.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Evaluar la gestión de los residuos sólidos orgánicos (RSO) en una muestra de ciudades emergentes.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar como es la gestión actual de los residuos sólidos orgánicos en una muestra de ciudades emergentes de la región Sabana Centro del departamento de Cundinamarca.

- Analizar las tecnologías utilizadas actualmente en los procesos de producción, transporte, acopio, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos orgánicos generados en la muestra de ciudades emergentes.
- Establecer el estado financiero de la producción, transporte, acopio, tratamiento y disposición final del manejo de RSO en la muestra de ciudades emergentes.
- Proponer un sistema de gestión estratégico para el manejo de los residuos sólidos en ciudades emergentes.

1.6 Alcance

Esta investigación es de tipo analítica cuyo enfoque es cualitativo, la cual se desarrollará en una muestra de ciudades emergentes de la región Sabana Centro del departamento de Cundinamarca, que para esta investigación han sido catalogados bajo este concepto los municipios de Chía y Zipaquirá, cuya población objeto de estudio son los sectores industriales urbanos y rurales. La misma se realizó durante un periodo de 15 meses.

En el mismo sentido, los esfuerzos se centrarán en el análisis de la gestión actual de los residuos sólidos orgánicos a través de la investigación documental y el análisis de la literatura existente entre otros, permitiendo recolectar y consolidar la información necesaria para proponer un sistema de gestión estratégico de residuos sólidos orgánicos el cual servirá para la creación de políticas públicas y protocolos en ciudades emergentes.

Cabe aclarar que debido a que las entidades municipales realizan los informes de gestión en periodos anuales, no se cuenta con información de la gestión de los residuos sólidos orgánicos hasta lo que va transcurrido del año 2021. Así pues, para fines de esta investigación solo tendrá en cuenta los datos del periodo 2017-2020.

Finalmente, las propuestas de mejora se encaminarán al aprovechamiento de los RSO dentro de la cadena de valor, buscando generar beneficios económicos para los municipios evaluados con el fin de que se puedan financiar programas, proyectos, ideas de negocios entre otros, que primero proporcionen un valor agregado a los residuos sólidos orgánicos y segunda les permitan a los municipios desarrollarse de manera sostenible en los próximos años.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

La gran problemática que se vive actualmente por la inadecuada gestión de los residuos sólidos en el mundo ha permitido que se desarrollen múltiples estudios, proyectos e investigaciones que reconozcan la evolución de esta situación. Por tal motivo para fines de este estudio se realizó una revisión de información relevante, teniendo en cuenta investigaciones llevadas a cabo por especialistas e investigadores con el fin de conocer desde diferentes puntos de vista las posibles soluciones que se puedan presentar ante esta problemática.

En este orden, en el estudio adelantado por Wilson et al.(2012) se realiza un análisis comparativo de la gestión de los residuos sólidos en diferentes ciudades del mundo, aseverando que se distinguen tres dimensiones para el análisis de los sistemas de gestión y reciclaje de este tipo de residuos: el sistema físico y sus componentes tecnológicos, los aspectos de sostenibilidad (social, institucional, político, financiero, económico, ambiental y técnico) y los diversos grupos de actores involucrados. En este también se reconoce la importancia de la gobernanza como necesidad de fortaleza para los países donde no se cuenta con sistemas adecuados para la gestión de los residuos sólidos, siendo este el pilar fundamental para el diseño de una técnica sostenida por la sociedad.

Otro estudio realizado a nivel mundial es el de Mir et al. (2021) en donde aseguran que, en los países en desarrollo, la tasa promedio de generación de residuos sólidos urbanos es de 0,3 a 0,5 kg / persona / día, pero la gestión es inadecuada. Por tanto, la gestión de residuos en ciudades de los países en desarrollo se está convirtiendo en un desafío complicado. Esto se debe al aumento de la

población y la urbanización exponencial asegura Mir. Los países en desarrollo se enfrentan actualmente a muchas dificultades, ya que sus órganos de gestión urbana no cuentan con fondos suficientes para todas las actividades relacionadas con la gestión de residuos. Los ingresos generados por varias de estas actividades no compensan los gastos requeridos. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de desarrollar un plan de manejo integrado de residuos sólidos para minimizar y superar los desafíos que enfrenta su manejo.

A través de un análisis minucioso de la gestión integral de residuos sólidos en China y detallando una comparación con las regiones internacionales desarrolladas (Ding et al., 2021) establecen las limitaciones en China en los aspectos del sistema y las tecnologías de gestión de residuos sólidos urbano y sugiere posibles soluciones para estudios futuros. Así mismo aseveran que la separación sistemática de residuos promovería una construcción exitosa de un sistema integrado de gestión de residuos.

El Banco Interamericano de Desarrollo en su informe de sostenibilidad (BID, 2015) señala que si se cuenta con plantas de tratamiento para el aprovechamiento de los residuos sólidos se genera un modelo eficiente y ambientalmente responsable, cuya tecnología puede tratar grandes volúmenes de residuos. Además, se emplearían sistemas de recolección de residuos con una distribución de costos entre municipios aledaños.

De acuerdo con el Informe Nacional denominado Disposición Final de Residuos Sólidos, asevera que el inadecuado manejo de los RS no solo causa un impacto en el ambiente sino también un

efecto directo en la salud humana, por ejemplo, la quema incontrolada de residuos genera emisiones de material particulado y algunos compuestos orgánicos complejos que pueden aumentar el riesgo de alguna enfermedad cancerígena y respiratoria. Así mismo la gran acumulación de los residuos en drenajes provoca el bloqueo de estos, generando un ambiente propicio para la reproducción de vectores, lo que aumenta las enfermedades infecciosas tales como el cólera y el dengue (DNP, 2020).

Con el transcurrir del tiempo se han propuesto alternativas de aprovechamiento para los residuos orgánicos, tal es el caso de un estudio realizado por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas que propone un modelo de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos a través de un tratamiento biológico de compostaje aeróbico y lombricultura, optimizando el sistema con el ahorro de emisiones de gases efecto invernadero emitidos a la atmosfera y en la reducción total del costo de disposición final de residuos sólidos orgánicos en relleno sanitario. Por otra parte, mencionan que, en Colombia, especialmente en el departamento de Cundinamarca el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos es un proceso independiente del servicio de aseo público, causando así que no se tenga una garantía del tratamiento de los residuos. De igual forma la mayoría de las plantas de aprovechamiento de RSO no cuentan con licencias ambientales que aseguran las condiciones necesarias para el funcionamiento de estas. El aprovechamiento biológico mediante las técnicas de compostaje y lombricultivo, plantea soluciones óptimas en los enfoques ambientales y económicos. (Castañeda & Rodríguez , 2017),

Así mismo no solo se deben proponer alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos sino también se debe desde las entidades gubernamentales establecer políticas claras, que incentive el manejo adecuado de los residuos desde la fuente y se concientice a los ciudadanos consciente de la necesidad de cambiar sus hábitos de consumo. Por otro lado, dentro de los planes de gestión de manejo de RS se debe establecer con claridad las variables y los indicadores que se deben construir, desde lo cuantitativo y de lo cualitativo, para la toma de decisiones y el ajuste de la política (Sánchez et al., 2020).

(Paes et al., 2019), presentaron una descripción general de la gestión de residuos orgánicos a través de un análisis Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas (FODA), destacando sus amenazas y debilidades, tales como: costos logísticos y gestión de la cadena de suministro; estacionalidad; disponibilidad y falta de homogeneización de la materia prima (residuos orgánicos); calidad y eficiencia del producto alternativo, que no es económicamente competitivo con los tradicionales; y falta de normas y reglamentos técnicos (Ver Figura 1).

Figura 1. Análisis FODA de la relación entre economía circular y gestión de los RSO



Fuente. Autoría propia, adaptado de (Paes et al., 2019)

De acuerdo con Espinoza et al. (2021) las importantes mejoras en la gestión de los RSU que se han realizado en la última década muestran que más del 90% de estos todavía están mal administrados en los países emergentes y en desarrollo, lo que conduce a un aumento de diferentes tipos de impactos ambientales como los GEI o las emisiones contaminantes, que tiende a afectar de manera desproporcionada a los habitantes de las áreas regionales.

Por medio de la introducción de conceptos como sostenibilidad, economía circular y desarrollo sostenible en las grandes ciudades del mundo se establece que la mayoría de las ciudades de los países emergentes y en desarrollo han logrado fomentar sistemas eficientes para el

aprovechamiento de sus residuos a través de programas como el no cobro por la recogida y eliminación de ellos. La implementación de un esquema de cobro por la recolección y disposición final de RSU requiere la presencia de un marco legal definido principalmente por las autoridades metropolitanas y una mayor madurez en la gestión de RSU. (Alzamora & Barros, 2020)

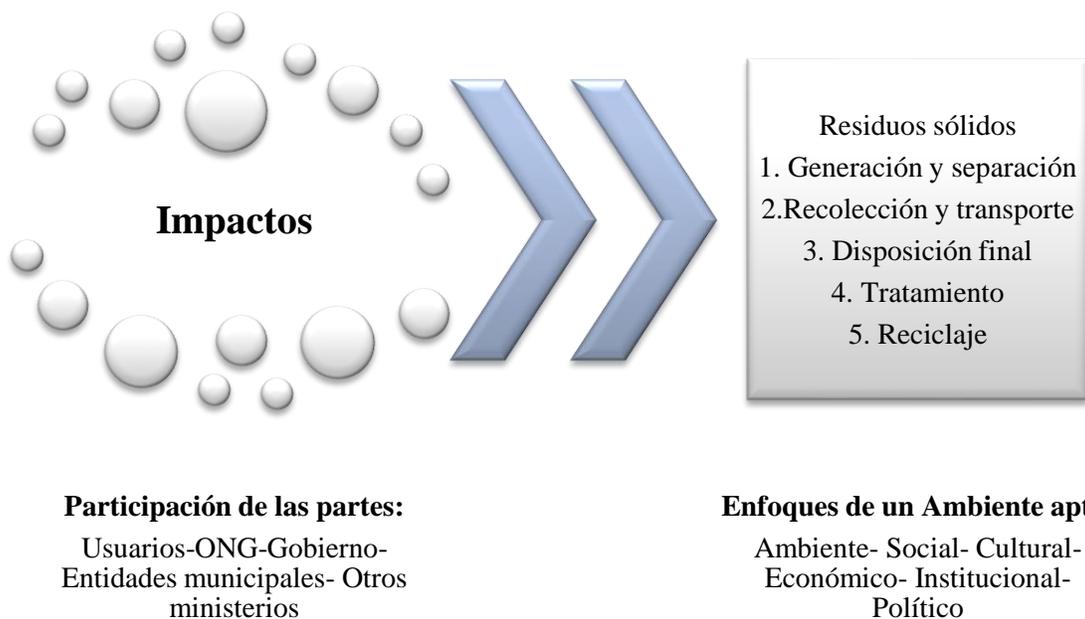
Las técnicas más utilizadas para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos son el compostaje y la digestión anaerobia ya que ambos cumplen con la economía circular gracias a la posibilidad de recuperación tanto de material como de energía. Sin embargo, el compostaje podría generar beneficios ambientales solo si el producto se sustituye por fertilizante químico; de lo contrario, podría ser una gran fuente de Gas de efecto Invernadero. De otra parte, determinaron que el reciclaje es la única práctica de gestión de residuos que se traduce sistemáticamente en ahorros por cambios climático. El ahorro energético medio estimado del reciclaje de papel y residuos plásticos puede ser de 5 - 7 veces mayor que los proporcionados por los procesos de tratamiento de residuos, lo que indica que es prometedor reciclar estos dos flujos de residuos (Zhang et al., 2021)

En su investigación Guerrero et al. (2013) concluyen que un sistema efectivo no solo se basa en soluciones tecnológicas sino también en los vínculos ambientales, institucionales, económicos socioculturales y legales que deben estar presentes para que el sistema en general funcione. Los servicios de recolección de los RS tienen un costo, pero en general los gastos no se recuperan. Así mismo se requiere de inversión en recursos con el propósito de contar con personal capacitado, equipo adecuado, infraestructura adecuada, mantenimiento y operación adecuados. Finalmente, el

apoyo económico del gobierno central, la adecuada administración de los fondos, el interés de los líderes municipales y la participación de los usuarios del servicio son fundamentales para un sistema sostenible modernizado.

La implementación de un modelo integrado de gestión para los residuos sólidos debe permitir que se disminuyan los impactos ambientales producidos por la generación de estos teniendo en cuenta toda su cadena de valor. Así mismo como se presenta en la Figura 2 se debe contar con la participación de entidades municipales, nacionales e internacionales con el fin lograr abarcar los enfoques de un ambiente apto.

Figura 2. *Modelo de un sistema integrado de gestión para RS*



Fuente. Autoría propia, adaptado de (Guerrero et al., 2013)

En su investigación (Babu et al., 2021) concluyen que la aplicación de tecnologías como digestión anaeróbica, compostaje, carbonización hidrotermal y pirólisis son útiles para recuperar recursos de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Ayuda a lograr un cambio deseable de la (bio) economía lineal tradicional a la circular. Además, la integración de los procesos presentados y diversas estrategias de pretratamiento pueden aumentar la eficiencia de la recuperación de recursos y calidad de los productos obtenidos (por ejemplo, biometano, bio aceite, ácidos grasos volátiles, bioquímicos). No obstante, aseguran que, para implementar estas tecnologías, se deben tener en cuenta otros aspectos prácticos como los costos económicos y ambientales. También se deben considerar los aspectos regulatorios y el compromiso de los gobiernos nacionales y locales.

El método de digestión anaeróbica permite un alto potencial para producir energía renovable en forma de metano a partir de residuos de frutas, verduras y de poda de zonas verdes. Así mismo este proceso maneja los residuos ambientalmente seguros para obtener beneficios económicos a través de la producción de energía renovable, siendo un modelo que se pudiese aplicar algunas ciudades de Colombia (Rodríguez & Bolaños, 2015).

Por otro lado, en un estudio realizado en el estado metropolitano de Tshwane (África), se revela que las prácticas de compostaje serán financieramente viables tanto a gran y pequeña escala (Snyman & Vorster, 2011). En esta investigación demuestran que cualquiera que sea el método que se utilice, el compostaje le ahorrará a Tshwane una gran cantidad de espacio aéreo, reducirá los RSU en al menos un 42,5% y, por tanto, alargar la vida útil de los vertederos actuales.

Identificaron así mismo que, el compostaje crea nuevos puestos de trabajo para los residentes y produce productos comercializables y una alternativa más rentable que la cobertura estándar de los vertederos.

Es de suma importancia que una vez se plantean las estrategias de mejora se establezcan sistemas de control para la toma de decisiones y el seguimiento para su puesta en marcha. La adopción de Waste To Energy (WTE) en algunos países actualmente no es factible debido a la falta de datos adecuados sobre tasas de generación, composición, valor calórico, tecnología, fuerza de la política y aplicación de la gestión de residuos sólidos, educación ambiental y conciencia, entre otros factores que afectan el escenario de estos (Medina et al., 2013).

Por otro lado, Alcocer (2020), propuso un sistema multicriterio que permitió perfeccionar el proceso de toma de decisiones, a través de la mejora de alternativas para el funcionamiento de la cadena de valor, elevando la efectividad del proceso. Está regida por cuatro funciones objetivos principales, la primera, se trata de disminuir los costos asociados a los procesos operaciones y transporte de los RSU. La segunda, considera la reducción del uso de vehículos y la evaluación en los trayectos recorridos. La tercera, involucra el entorno social maximizando el servicio prestado, desde los puntos de origen hasta los destinos programados; finalmente, la última función, se relaciona con el impacto ambiental.

CAPÍTULO 3: MARCO DE REFERENCIA

3.1. Marco conceptual

Partiendo del problema de investigación se detallan los conceptos claves que se deben considerar para el desarrollo de la investigación.

Abonado: “Acción o proceso cuya finalidad es hacer que la tierra sea fértil o productiva. Aplicación de fertilizante, ya sea sintético o natural” (ONUAA, 2013).

Abono orgánico: “El abono orgánico abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales y urbanos, otros residuos de origen animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los suelos ha sido demostrada” (Roman et al., 2013).

Acopio: “Acción tendiente a reunir productos desechados o descartados por el consumidor al final de su vida útil y que están sujetos a planes de gestión de devolución de productos posconsumo, en un lugar acondicionado para tal fin, de manera segura y ambientalmente adecuada, a fin de facilitar su recolección y posterior manejo integral”. (MINAMBIENTE, 2002)

Acuerdos ambientales multilaterales (AAM): “Tratados, convenios, protocolos o contratos entre varios Estados para decidir conjuntamente sobre las actividades relativas a determinados problemas medioambientales”. (PNUMA, 2007)

Actividad microbiana: “La actividad microbiana se genera a partir de los factores directamente al suelo, lo cual permite tener una dinámica del recurso; ya que a través de la actividad microbiana se puede determinar el reflejo de las condiciones físicas y químicas” (Mora, 2006).

Aeróbico: “Proceso que ocurre en presencia de oxígeno. Para que un compost funcione con éxito se debe proporcionar suficiente oxígeno para que mantenga el proceso aeróbico” (ONUAA, 2013).

Anaeróbico: “Proceso que ocurre en ausencia de oxígeno. Si esto ocurre durante el proceso de compostaje, éste se ralentiza y se pueden desprender malos olores, como consecuencia de procesos de pudrición” (Roman et al., 2013).

Almacenamiento: “Es la acción del usuario de depositar temporalmente los residuos sólidos en un espacio físico definido mientras se procesan para su aprovechamiento, transformación, comercialización o se presentan al servicio de recolección para su tratamiento o disposición final” (MINAMBIENTE, 2002)

Aprovechamiento: “Proceso del manejo integral de los residuos, los cuales son reincorporan al ciclo productivo de manera eficiente, a partir de actividades de reutilización, reciclaje e incineración en el caso de la generación de energía, compostaje o cualquier otra tecnología” (ICONTEC, 2009b).

Basura: “Materiales que carecen de utilidad y de los cuales no se logra obtener ningún beneficio. Generalmente provienen de residuos que en algún momento fueron aprovechados” (Quintanilla, 2012).

Basurero a cielo abierto/Vertedero incontrolado: “Un área de vertido en la que los residuos sólidos son arrojados o eliminados indiscriminadamente sin la debida planificación y sin tener en cuenta las normas de salud” (L. Diaz & Bakken, 2005)

Biodegradable: “Material o compuesto que puede descomponerse con rapidez a partir de la ayuda de organismos vivos; en su mayoría bacterias aerobias como bacterias, hongos, gusanos e insectos” (Ruiz et al., 2013).

Biogás: “Es el gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia o aerobia, o por efectos de reacciones químicas de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario” (CRA, 2019).

Biomasa: “Material orgánico que se encuentra tanto por encima como por debajo del nivel del suelo, y tanto vivo como muerto, como son los árboles, los cultivos, las hierbas, restos de árboles y raíces” (Mamoun, 2021).

Cambio climático: “Cualquier cambio del clima en el tiempo, tanto ocasionado por la variabilidad natural o como resultado de las actividades humanas. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático define el cambio climático como "un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (G. Diaz, 2012)

Caracterización de residuos: “Estudio y determinación de las propiedades de los residuos de un emplazamiento” (C. M. P. Vasquez, 2013).

Centro de acopio: “Instalaciones de almacenamiento transitorio de residuos, ubicadas en las instalaciones del generador, en las que una vez realizada la separación en la fuente se almacenan, seleccionan, y/o acondicionan para facilitar su aprovechamiento, tratamiento o recolección selectiva” (C. M. P. Vasquez, 2013).

Contaminación: “Presencia de propiedades minerales, químicas o físicas en niveles que superan los valores considerados a la hora de definir entre una calidad "buena y aceptable" y "pobre o inaceptable", que es función de un contaminante determinado” (Estrada et al., 2016)

Compost maduro: “Compost que ha finalizado todas las etapas del compostaje” (Roman et al., 2013).

Compost semi maduro: “Compost que no ha terminado la etapa termófila del proceso de compostaje” (Mamoun, 2021).

Desarrollo sostenible: “Desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (PNUMA, 2007).

Digestión anaeróbica: “La conversión biológica de residuos orgánicos procesados en metano y dióxido de carbono en condiciones anaeróbicas” (PNUMA, 2013).

Disposición final: “Es el proceso de aislar y confinar los residuos en especial los no aprovechables, en lugares especialmente seleccionados, diseñados y debidamente autorizados, para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente” (MINAMBIENTE, 2005)

Eco-eficiencia: “Consiste en producir la misma cantidad o una cantidad mayor de bienes y servicios con una menor cantidad de materiales y energía, reduciendo así el un impacto sobre el medio ambiente” (Inda & Vargas, 2012)

Eco-diseño: “Es un enfoque que involucra la eficiencia de los recursos y reducción de los riesgos” (Inda & Vargas, 2012)

Ecosistema: “Un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos junto con su entorno no viviente, interaccionando como una unidad funcional” (ONUAA, 2013).

Efecto invernadero “Incremento en la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo cual genera una mayor altitud a una temperatura más baja” (PNUMA, 2007).

Eliminación de residuos: “Opción de gestión de residuos para la fracción restante cuando se ha agotado todas las formas de reutilización y valorización de estos” (PNUMA, 2013).

Evaluación ambiental (EA): “Una evaluación ambiental es el proceso al completo de emprender una evaluación crítica y objetiva, así como un análisis de la información para respaldar la toma de decisiones. Aplica el juicio de los expertos junto con el conocimiento disponible para dar respuestas científicamente íntegras a cuestiones políticas relevantes, cuantificando, siempre que sea posible, el grado de confianza” (PNUMA, 2007).

Fertilizante: “Sustancia que se emplea para proporcionar nutrientes a las plantas, normalmente a través de su aplicación en el suelo, pero también en el follaje o a través del agua en los sistemas de arroz, la fertirrigación o el cultivo hidropónico, o en operaciones de acuicultura” (FAO, 2019).

Fertilizante orgánico “Insumo de aplicación foliar o al suelo que suministra a las plantas nutrientes para su desarrollo” (Instituto Técnico Agropecuario - ICA, 2015).

Fuente de energía renovable: “Una fuente de energía que no depende de unas existencias limitadas de combustibles. La fuente renovable más conocida en la energía hidráulica. Otras fuentes renovables son la biomasa, la energía solar, la energía mareomotriz, la energía de las olas y la energía eólica” (L. Diaz & Bakken, 2005).

Gases de efecto invernadero: “Constituyentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación a longitudes de onda determinadas dentro del

espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes”.(PNUMA, 2007).

Gestión: “Es un conjunto de los métodos, procedimientos y acciones desarrollados por la Gerencia, Dirección o Administración del generador de residuos, sea éste persona natural o jurídica, así como por los prestadores del servicio de desactivación y del servicio público especial de aseo, para garantizar el cumplimiento de la normatividad vigente sobre residuos hospitalarios y similares” (Espinoza et al., 2021)

Gestión Integral: “Es el manejo que implica la cobertura y planeación de todas las actividades relacionadas con la gestión de los residuos desde su generación hasta su disposición final” (Navarro, 2013)

Humificación: “Es el proceso de formación de ácidos húmicos y fúlvicos, a partir de la materia orgánica mineralizada” (Pascual & Venegas, 2011)

Humus: “Materia orgánica descompuesta, amorfa y de color marrón oscuro de los suelos, que ha perdido todo indicio de la estructura y la composición de la materia vegetal y animal a partir de la que se originó. Por tanto, el término humus se refiere a cualquier materia orgánica que ha alcanzado la estabilidad y que se utiliza en la agricultura para enmendar el suelo. El producto de la lombriz suele llamarse equivocadamente humus, cuando en realidad debe llamarse vermicompuesto” (Pascual & Venegas, 2011)

Impacto ambiental: “Es el resultado de una actividad continua, que causa un efecto en el medio ambiente ya sea positivo o negativo” (Ilaris, 2013)

Inoculante: “concentrado de microorganismos que, aplicado al compost, acelera el proceso de compostaje. Un compost semi maduro puede funcionar de inoculante” (Roman et al., 2013).

Lixiviado: “Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación” (MINAMBIENTE, 2002)

Lodos: “Un residuo semisólido generado a partir de procesos de tratamiento de aire o agua” (UNEP, 2005).

Lombricultura: “Un proceso de compostaje aeróbico relativamente fácil que utiliza lombrices y microorganismos. Vermicompostaje - El proceso por el cual los gusanos se alimentan de materiales en lenta descomposición en un ambiente controlado para producir un abono para el suelo rico en nutrientes” (UNEP, 2005).

Macroorganismos: “Organismos vivos que pueden ser observados a simple vista (arañas, lombrices, roedores, hormigas, escarabajos)” (ONUAA, 2013).

Materia orgánica: “Residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo” (Julca et al., 2006)

Microorganismos: “Organismos vivos encargados de la descomposición de materia orgánica; incluye las bacterias y hongos” (Instituto Técnico Agropecuario - ICA, 2015).

Microorganismos mesófilos: “Grupo de bacterias, y hongos (levaduras u hongos filamentosos) que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 30°C a 40°C” (Corredor et al., 2004).

Orgánico: “Un compuesto orgánico es una sustancia que contiene carbono e hidrógeno y habitualmente, otros elementos como nitrógeno, azufre y oxígeno. Los compuestos orgánicos se

pueden encontrar en el medio natural o sintetizarse en laboratorio. La expresión sustancia orgánica no equivale a sustancia natural. Decir que una sustancia es natural significa que es esencialmente igual que la encontrada en la naturaleza. Sin embargo, orgánico significa que está formado por carbono” (Mamoun, 2021)

Peligro: “Episodio físico, fenómeno o actividad humana potencialmente dañino que puede provocar la pérdida de la vida o lesiones, daños en la propiedad, trastornos sociales y económicos o degradación ambiental” (Tocabens, 2011)

Prevención: “Conjunto de acciones dirigidas a identificar, controlar y reducir los factores de riesgo biológico, del ambiente y de la salud producidos como consecuencia del manejo adecuado de los residuos peligrosos” (Tocabens, 2011)

Plan de gestión integral de residuos: “Es el instrumento de gestión diseñado e implementado por los generadores que contiene de una manera organizada y coherente las actividades necesarias que garanticen la gestión integral de los residuos generados” (Segura et al., 2020)

pH: “Potencial de hidrogeno. Es una variable química que mide el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia, por medio de la cantidad de iones de hidrogeno presentes en la solución. La escala del pH varia de 0 a 14, donde si se obtiene un valor inferior a 7 la sustancia es acida, un valor superior a 7 es alcalina y un valor igual a 7 se considera una sustancia neutra ” (E. Vasquez & Guadalupe, 2016)

Producción y consumo sostenible: “Hace referencia a la demanda de bienes y servicios y la actividad productiva que se lleva a cabo para satisfacer esa demanda” (PNUMA, 2013).

Producción más limpia: “La aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integral a procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia general y para reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente” (Varon, 2013)

Reciclaje: “Consiste en recoger, ordenar, procesar y convertir materiales en productos útiles” (L. Diaz & Bakken, 2005).

Relleno sanitario: “Es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final” (UAESP, n.d.)

Reciclables: “Artículos que pueden ser transformados de nuevo en materia prima para nuevos productos. Los ejemplos más comunes son el papel, el vidrio, el aluminio, el cartón ondulado y los envases de plástico” (L. Diaz & Bakken, 2005).

Recolección: “Es la acción consistente en retirar los residuos sólidos de uno o varios generadores efectuada por la persona prestadora del servicio” (MINAMBIENTE, 2002)

Residuo: “Cualquier sustancia u objeto que sea considerado como producto secundario o desperdicio posterior a un proceso o actividad” (Segura et al., 2020)

Residuo sólido o desecho. “Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de

aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final” (MINAMBIENTE, 2005).

Residuo sólido no aprovechable. “Es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, requieren tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición” (MINAMBIENTE, 2005).

Residuos sólidos urbanos: “Todos los residuos sólidos generados en un área, excepto los residuos industriales y agrícolas. A veces se incluyen los escombros de construcción y demolición y otros residuos especiales que pueden entrar en el flujo de residuos urbanos. En general, se excluyen los residuos peligrosos, salvo en la medida en que entran en el flujo de residuos urbanos. A veces se definen como todos los residuos sólidos cuya responsabilidad una autoridad municipal acepta gestionar de alguna manera” (Espinoza et al., 2021)

Separación en la fuente: “Es la clasificación de los residuos sólidos en el sitio donde se generan para su posterior recuperación” (MINAMBIENTE, 2002)

Tratamiento: “ Es el conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos sólidos incrementando sus posibilidades de reutilización o para minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana” (MINAMBIENTE, 2002).

Transferencia de tecnología: “El flujo de conocimientos, técnicas, experiencia e innovación entre los diferentes actores a través de asistencia, inversión, licencias, comercio o formación.

Incluye el proceso de aprender a comprender, utilizar y reproducir la tecnología, así como la capacidad de elegirla, adaptarla a las condiciones locales e integrarla con las tecnologías autóctonas” (PNUMA, 2013).

Upcycling o revalorización: “Fenómeno que se produce cuando el reciclaje de materiales resulta en un material de mayor calidad que el original” (Mallart, 2019)

Valorización: “Todo el proceso de extracción, almacenamiento, recolección, o procesamiento de los materiales del flujo de residuos para obtener valor y desviar y dirigir el material a una cadena de valor añadido” (PNUMA, 2013).

Valorización energética: “El proceso de extracción de energía útil a partir de residuos, típicamente desde el calor producido por la incineración o por medio de gas metano de los vertederos controlados” (L. Diaz & Bakken, 2005).

Vertedero semi controlado/Basurero controlado: “Basurero que se ha actualizado para incorporar algunas de las prácticas asociadas a los rellenos sanitarios, como la ubicación con respecto a la idoneidad hidrogeológica, nivelación, compactación, en algunos casos, control de lixiviados, gestión parcial del gas, cubierta, control de acceso y mantenimiento de registros básicos” (UNEP, 2005).

Vertedero controlado/Relleno sanitario: “Una instalación de almacenamiento diseñada, construida y operada de manera que se minimicen los impactos a la salud pública y el medio ambiente” (UNEP, 2005).

3.2 Marco teórico

La identificación de un sistema estratégico para el manejo de los residuos es una herramienta de mejora a la planeación del orden municipal, distrital, departamental y nacional en cuanto su disposición. Así mismo esta investigación diseñará una propuesta metodológica para la adecuada gestión de los residuos sólidos en ciudades emergentes, por tal motivo es necesario realizar una revisión en la literatura que permita dar un enfoque técnico integral a los procesos de manejo de los residuos sólidos.

3.2.1 Gestión integral de residuos (GIR)

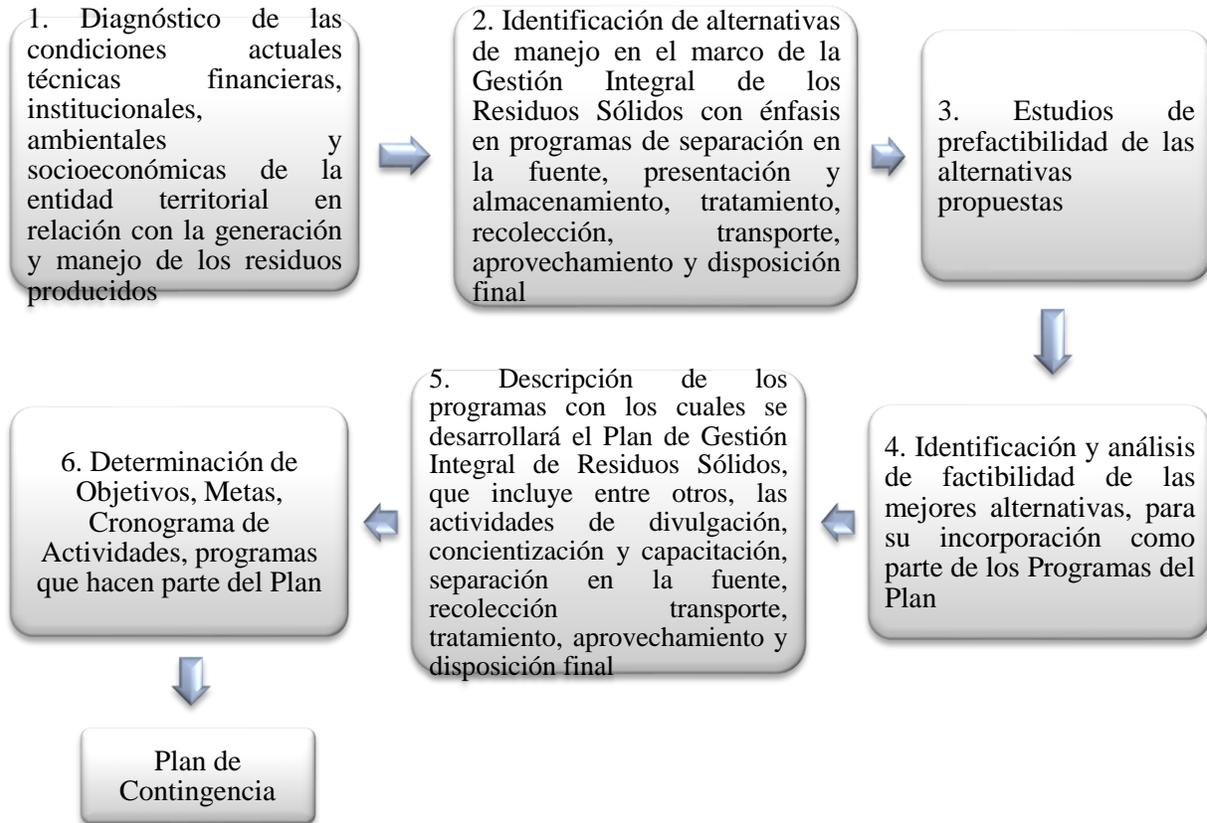
La gestión integral de residuos consiste en un conjunto de actividades necesarias para el tratamiento de los residuos una vez pierda su vida útil tras haber sido empleados en la producción de bienes y servicios (Espinoza et al., 2021). La gestión debe hacerse bajo criterios de prevención y minimización con el propósito de que los residuos pueden ser transformados y valorizados para otras actividades, por tal motivo se emplean técnicas de aprovechamiento (compostaje y reciclaje), valorización energética y tratamientos que disminuyan su volumen y peligrosidad para ser llevados a sitios controlados de disposición final, protegiendo la salud de las personas y el ambiente. En el diseño de proyectos de gestión integrada de residuos, se tienen en cuenta las limitaciones sociales, ambientales y económicas (Mir et al., 2021).

3.2.2 Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS)

Los planes de gestión integral de los residuos sólidos son un conjunto de objetivos, metas, programas, proyectos y actividades, establecido por cada gobierno territorial para realizar una adecuada prestación del servicio de aseo, de acuerdo con los lineamientos definidos en sus Planes de ordenamiento territorial (POT). Así mismo dentro de la Resolución 754 de 2014 se establece la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (MINAMBIENTE, 2014).

Los PGIRS se basan en un diagnóstico inicial, en las proyecciones a futuro y en un plan financiero viable que garantice el mejoramiento continuo de la prestación del servicio; así mismo es necesario el establecimiento de indicadores que permitan medir las metas trazadas (CRQ, 2021). En la estructuración del plan de gestión integral de residuos sólidos se debe tener en cuenta los siguientes aspectos (Ver Figura 3).

Figura 3. Estructuración del plan de gestión integral de residuos sólidos

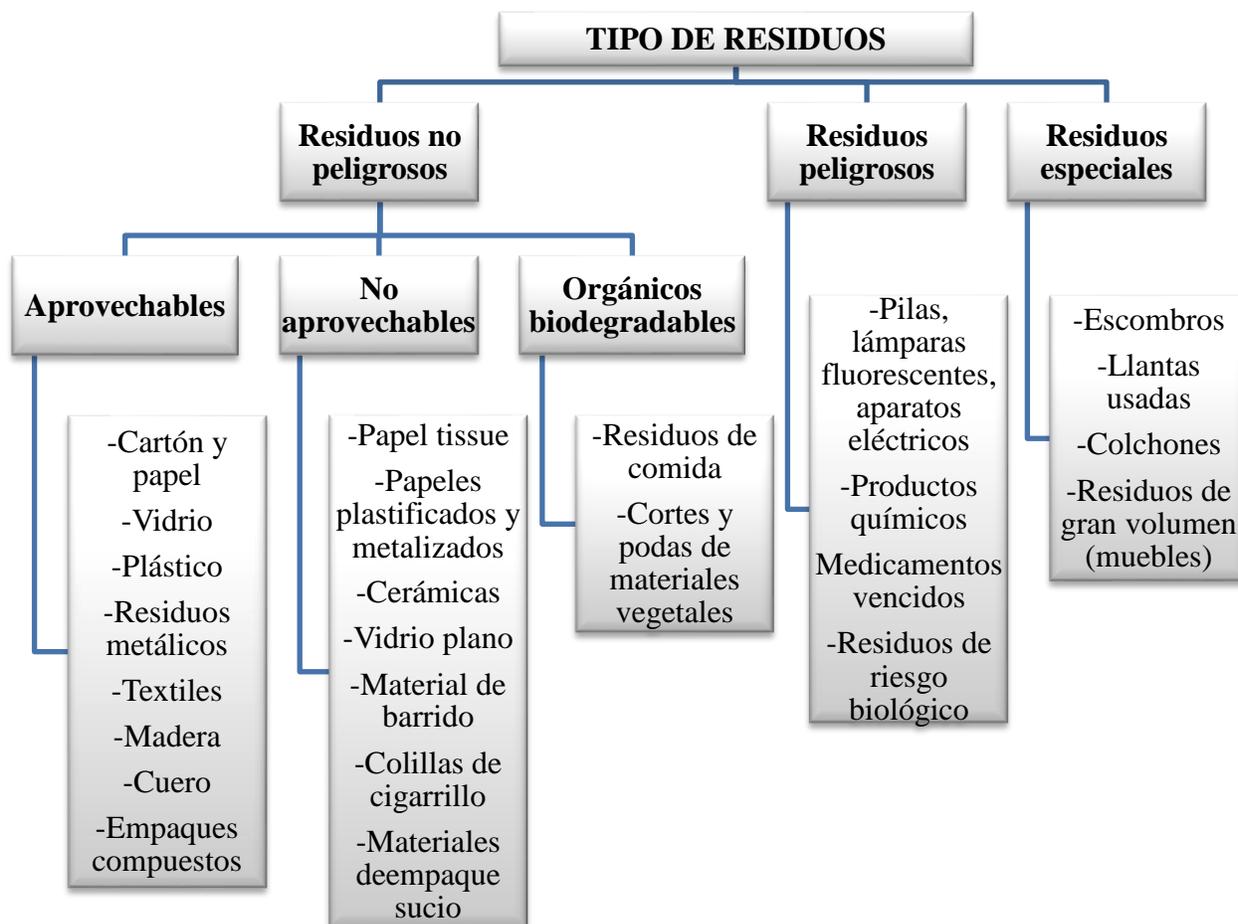


Fuente. Elaboración propia. Adaptado del decreto 835 de 2005 (MINAMBIENTE, 2005).

3.2.3 Tipos de residuos sólidos

El establecimiento de un PGIRS debe incluir la planeación para los diferentes tipos de residuos que se dispongan en los municipios, distritos y departamentos, con el fin de darle una adecuada disposición final se debe realizar una separación en la fuente dependiendo de sus características físicas y biológicas. Así pues la norma técnica colombiana (GTC 24 de 2009) establece la clasificación de los residuos para la separación en la fuente (Ver Figura 4).

Figura 4. Tipos de residuos para la separación en la fuente

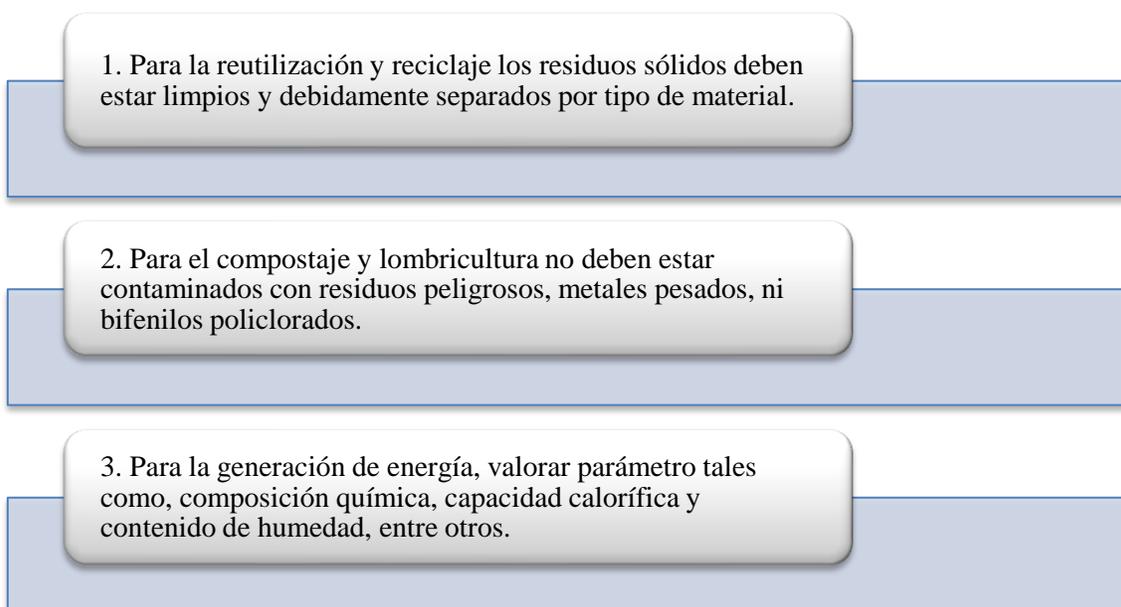


Fuente. Autoría propia. (ICONTEC, 2009a)

Según (MINAMBIENTE, 2005) como formas de aprovechamiento se consideran, entre otras, el reciclaje, la reutilización, el compostaje, la lombricultura, la biodigestión anaeróbica, té de estiércol y té de compost. El aprovechamiento de residuos sólidos se puede realizar a partir de la selección en la fuente con recolección selectiva, o mediante el uso de centros de selección y acopio, opciones que deben ser identificadas y consideradas en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de cada Municipio o Distrito.

En las actividades de aprovechamiento, los residuos deben cumplir por lo menos con los criterios básicos y requerimientos que se presentan en la Figura 5, para que los métodos de aprovechamiento se realicen en forma óptima.

Figura 5. *Criterios básicos para gestión de residuos*

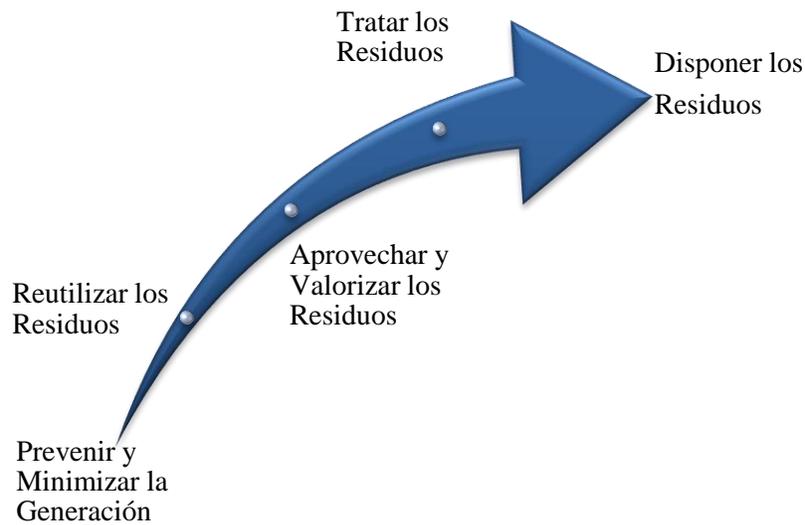


Fuente. Elaboración propia. Adaptado de (MINAMBIENTE, 2005).

La gestión integral de residuos implica la planeación y cobertura de las actividades relacionadas con los residuos, desde la generación hasta la disposición final (MINAMBIENTE, 2005). De acuerdo con la Ley 1450 de 2011, la eficiencia en la gestión de RS municipales no sólo depende de los municipios e instituciones gubernamentales, sino también de su población por medio de los hábitos y costumbres de consumo, es importante que las entidades den un manejo de los residuos

y participe activamente en su gestión. Los componentes del manejo integral de residuos se detallan en la Figura 6.

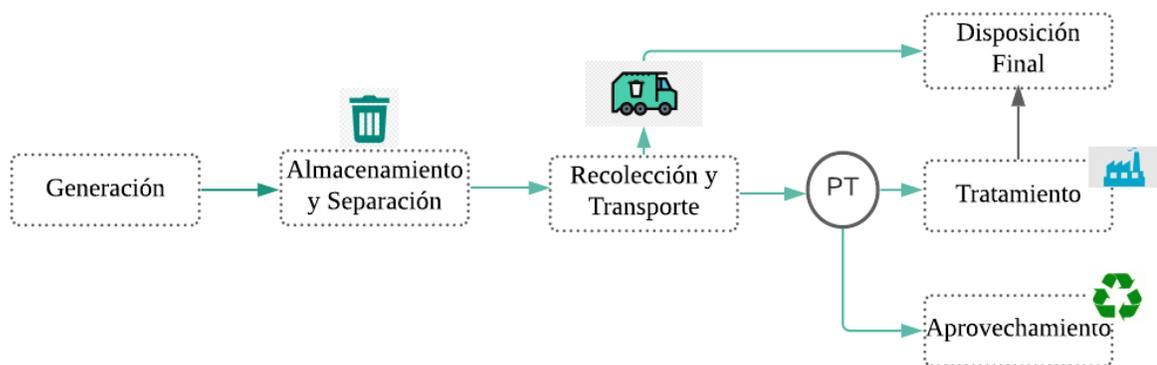
Figura 6. *Componentes del manejo de residuos*



Fuente. Autoría Propia

De acuerdo con el Ministerio de Vivienda de Colombia es necesario entender la situación del municipio para poder identificar las brechas y priorizar las áreas a mejorar en la gestión integral de residuos, para ello es necesario tener presente todas las etapas del ciclo de vida de los residuos (Ver Figura 7).

Figura 7. *Ciclo de vida de los Residuos*



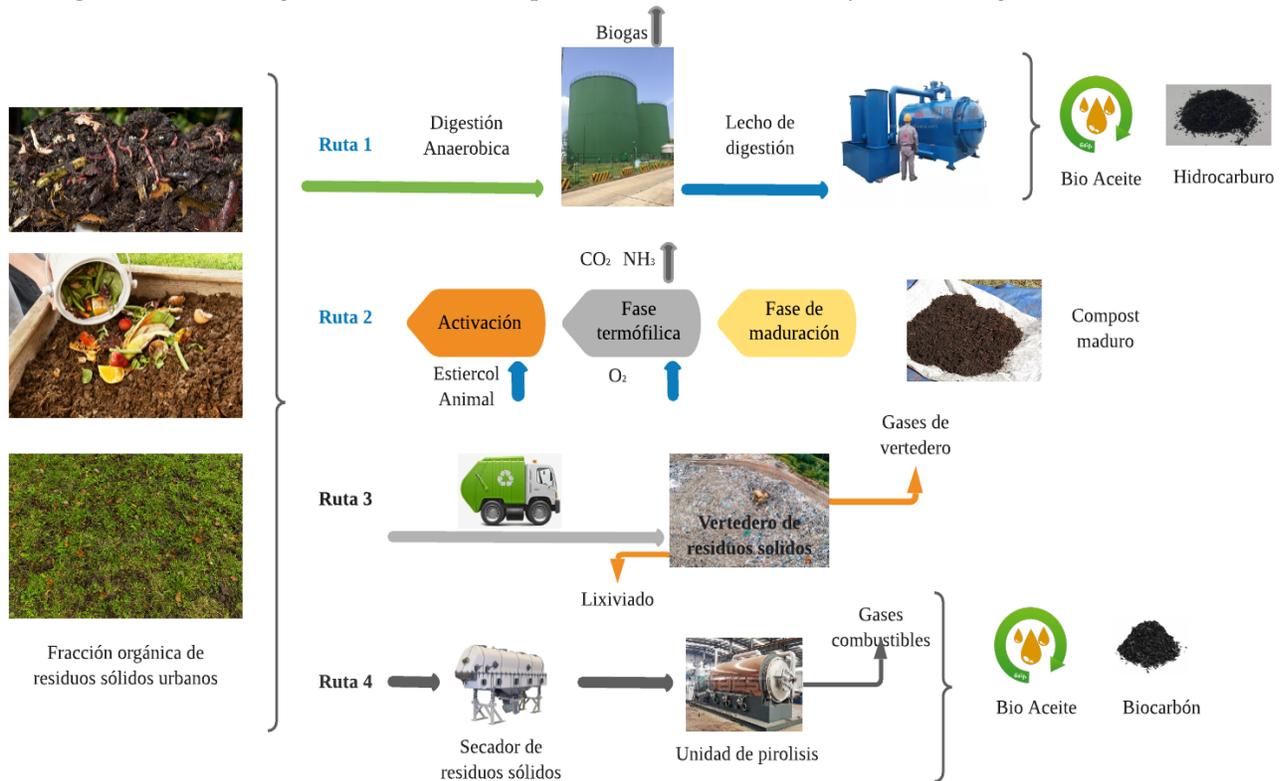
Fuente. Adaptado de (MINVIVIENDA, 2017).

3.2.4 Tratamiento de los residuos orgánicos

La contaminación por la acumulación de los residuos sólidos orgánicos en sitios de disposición final sin un adecuado tratamiento ha sido una de las problemáticas ambientales que ha venido creciendo en las últimas décadas. Por tal motivo se hace urgente que se empiecen a establecer tecnologías de aprovechamiento dentro de los PGIRS de las entidades territoriales, para la conversión de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en recursos útiles.

En la Figura 8 se puede apreciar diferentes sistemas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, además de algunos subproductos que se pueden obtener por la recuperación de estos. Así mismo algunos procesos buscan promover la mejora continua en los procesos de planificación de los residuos.

Figura 8. Tecnologías de tratamiento para la conversión de la fracción orgánica.



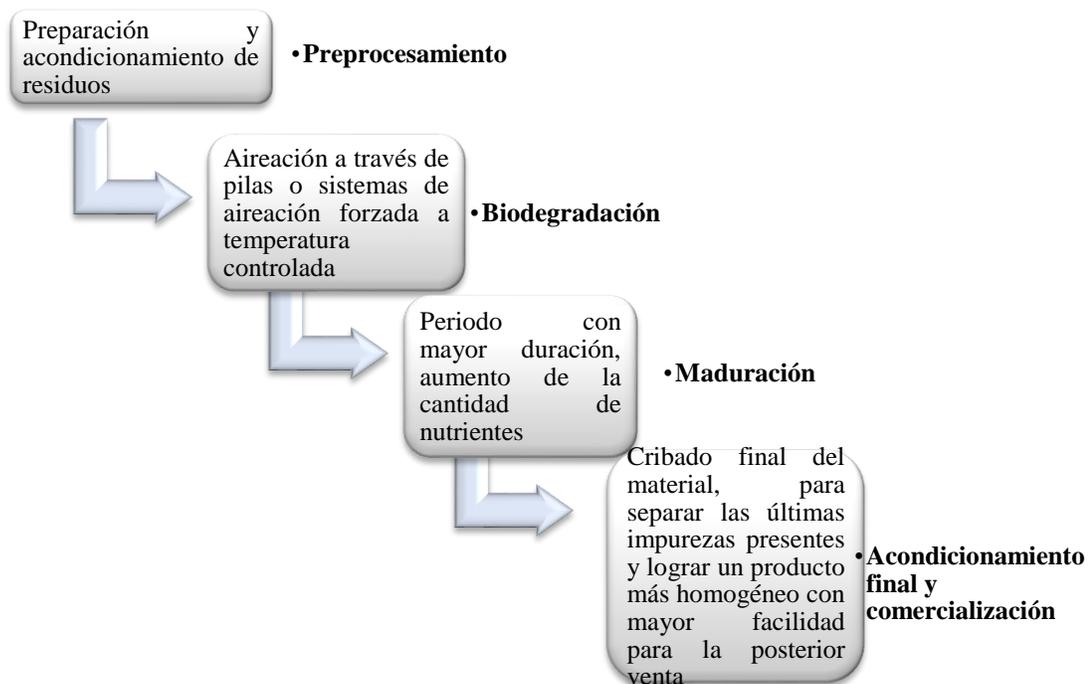
Fuente. Adaptado de (Babu et al., 2021)

Proceso de compostaje. El compostaje es uno de los procesos bioquímicos más utilizados para el tratamiento de los residuos orgánicos. En esta técnica se degradan todos los compuestos de alto peso molecular y se convierten en compuesto simples, por medio de una fase de activación termófila y una fase de activación mesófila o de maduración. En la fase inicial se descomponen los compuestos mediante microorganismos mesófilos que aumentan la temperatura por encima de los 40° C, posteriormente los microorganismos mesófilos son reemplazados por los

microorganismos termófilos, que pueden prosperar fácilmente en esas condiciones. Los residuos orgánicos se descomponen durante la fase termófila donde los microorganismos emplean el oxígeno y liberan dióxido de carbono y amoníaco. Finalmente, la temperatura en la pila de compostaje disminuye a medida que se agota la fracción orgánica en descomposición, dando lugar a la fase de maduración. Durante esta fase, la materia orgánica se estabiliza produciendo compost (Babu et al., 2021).

Compostaje es la descomposición de RSO por la acción microbiana en ausencia de oxígeno. En la Figura 9, se ilustra las etapas del proceso de compostaje según la guía de planeación estratégica para el manejo de residuos sólidos de pequeños municipios en Colombia.

Figura 9. *Etapas del proceso de compostaje*



Proceso de digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica (da) es un proceso biológico en el que la materia orgánica se descompone en compuestos más simples (Tello et al., 2018). Utilizando microorganismos anaeróbicos se forman compuestos moleculares más simples y solubles, como azúcares y aminoácidos, a partir de compuestos orgánicos complejos como carbohidratos, ácidos grasos y proteínas. Las enzimas necesarias para esta transformación son liberadas por los microorganismos presentes en el digestor anaeróbico, posteriormente el material orgánico se degrada y se forma CO₂, metano, entre otros.

Proceso de carbonización hidrotermal (HTC). es un proceso de conversión termoquímica, en el que los sustratos orgánicos húmedos (es decir, con un contenido de humedad superior al 80% en p/p) reaccionan en condiciones hidrotermales, es decir, en agua caliente a presión. Las condiciones del proceso suelen ser bastante altas: las temperaturas oscilan entre 180° c y 250° c y presiones entre 10 y 40 bares para mantener el agua en su estado líquido. El agua caliente presurizada exhibe un producto iónico más alto que en condiciones ambientales, comportándose como un precursor del catalizador ácido / base y actuando tanto como disolvente como reactivo. Esto permite la descomposición de la materia orgánica y aumenta el contenido de carbono. El producto principal de este proceso se llama hidrocarburo, un sólido carbonoso con un contenido de carbono generalmente superior al 80% en peso (Babu et al., 2021).

Proceso Pirólisis. La pirólisis es el proceso de descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (Díaz, 2020). Este proceso se utiliza para producir bio carbón a partir de RSU. Hay dos tipos de pirólisis, (i) pirólisis lento, que generalmente se usa para maximizar el

rendimiento de bio-carbón hasta en un 35% y se realiza en el rango de 400° - 600° C. Pirólisis rápida, que se realiza a 1000° C, lo que da como resultado hasta un 70% de rendimiento de bio aceite como principal producto. Se requiere un paso de secado antes de proceso de pirólisis debido al calor consumido y al menor rendimiento inducido por la humedad incrustada del insumo. Se recomienda un contenido de humedad inferior al 7% para lograr un rendimiento razonable durante la pirolisis (Babu et al., 2021)

Relleno Sanitario. Los rellenos sanitarios son lugares técnicamente seleccionados, diseñados y operados para la disposición final de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo para la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los RS (MINAMBIENTE, 2005).

De acuerdo con el decreto 1713 de 2002, en Colombia existen una serie de restricciones generales para la ubicación y operación de los rellenos sanitarios con el fin de minimizar los riesgos al medio ambiente y a la salud humana (MINAMBIENTE, 2002).

- La distancia mínima horizontal de acuerdo con el límite de las zonas urbanas o suburbana debe ser de 1.000 m, la cual puede variar con base en los estudios de impacto ambiental.
- El sitio de disposición final no debe estar ubicado en zonas de pantanos, rondas de ríos, humedales y áreas protegidas.

- Los pozos de agua para el consumo humano deben estar a una distancia mínima de 500 m, sin embargo, esta puede ser modificada de acuerdo con los estudios de impacto ambiental.
- Buscando la estabilidad integral del relleno, este no deberá ubicarse en áreas que puedan ser asentamientos o que tengan potencial de deslizamiento.
- El relleno sanitario no puede ser construido en zonas propensas a fallas geológicas
- La distancia mínima del relleno sanitario a aeropuertos donde se maniobren aviones de turbina y aviones de motor a pistón debe ser de 3.000 m y 1.500 horizontales respectivamente.

Por otro lado, la selección del método de operación para el relleno sanitario a utilizar se realizará con base en las condiciones topográficas, geohidrológicas y geotécnicas del sitio establecido para la disposición final de los residuos, contando con estudios de impacto ambiental y teniendo en cuenta lo dispuesto en el Decreto 838 de 2005 (MINAMBIENTE, 2005). Así mismo el Decreto 2041 de 2014 establece que dentro de la localización del relleno debe identificar el perfil estratigráfico del suelo y de los acuíferos freáticos permanentes en la zona, buscando que las actividades complementarias para disposición final de los residuos puedan generar un adecuado manejo ambiental.

Para la operación del relleno sanitario el Decreto 838 de 2005 establece, que la personas o entidades prestadoras del servicio público de aseo deberán garantizar algunas condiciones para la recepción de sus residuos al sitio de disposición final.

- Prohibido el ingreso de residuos peligrosos, que no estén en celdas de seguridad de acuerdo con la normatividad vigente
- Prohibido el ingreso de residuos líquidos, lodos contaminantes y cenizas prendidas
- Cada vehículo que ingrese debe pasar por un proceso de pesaje y registro para poder ingresar al relleno sanitario
- Cubrimiento diario de los residuos
- Se realizará un control de vectores y roedores
- Se establecerá un control de gases y de concentraciones con potencial de explosividad
- Se controlará el acceso público y de vehículos no autorizados, que puedan descargar de forma ilegal algún tipo de residuo
- No se realizarán procesos de reciclaje frente al relleno
- Para la descarga directa e indirecta a cuerpos de agua superficiales y subterráneas se tendrán presente las condiciones establecidas en los permisos de vertimiento y el RAS 2000.

Así mismo, dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial, Planes Básicos de Ordenamiento Territorial y Esquemas de Ordenamiento Territorial, se debe localizar las áreas potenciales para la disposición final de los residuos sólidos considerando diferentes criterios metodológicos para su evaluación (MINAMBIENTE, 2005). A continuación, se realiza una descripción de los criterios y metodologías para la localización de áreas para la disposición final de los residuos, de igual manera en la Tabla 1 se presenta la calificación de cada uno de los criterios descritos.

• **La capacidad.** El relleno sanitario debe tener la suficiente vida útil para la producción proyectada de residuos sólidos a disponer, considerando el municipio receptor y aquellos que se encuentren ubicados dentro de un radio de 60 kilómetros de este. Para ello se hace necesario realizar una calificación en función de la cantidad de residuos sólidos a disponer entregando 0 puntos por capacidad igual o menor a 0,5 veces la producción de residuos generados en 30 años, 200 puntos para una capacidad igual o mayor a 1,5 veces la producción de RS producidos en 30 años y una calificación lineal a partir de 0,5 veces la producción de residuos dispuestos en 30 años.

• **Ocupación actual del área.** Establece las actividades que se realizan con el fin de prever posibles impactos sobre la sociedad y el ambiente.

• **Accesibilidad vial.** Hace referencia a la facilidad y economía de la persona prestadora del servicio público de aseo de recolectar y transportar los residuos sólidos al área de disposición final.

• **Condiciones del suelo y topografía.** Criterio que determina las factibilidades de construcción y operación en el área donde se llevara a cabo la disposición final de los residuos.

• **Distancia entre el perímetro urbano.** Este criterio se asocia a los costos de transporte para llevar los residuos sólidos desde el perímetro urbano hasta el relleno sanitario para su disposición final.

• **Disponibilidad de material de cobertura.** Hace referencia a los costos de transporte para obtener y llevar el material de cobertura requerido para cumplir con las especificaciones técnicas y ambientales en los procesos de operación y clausura del relleno sanitario

- ***Densidad poblacional en el área.*** Determina la posibilidad de afectación de la población ubicada en el área de influencia directa donde se dispondrá los residuos sólidos.
- ***Incidencia en la congestión de tráfico de la vía principal.*** Tiene en cuenta el tráfico vehicular en la vía, el cual afectara el desplazamiento de los vehículos que transportan los residuos desde el perímetro urbano hasta el relleno sanitario.
- ***Distancia a cuerpos hídricos.*** Relación que tendrá en cuenta la disposición final de residuos, respecto a las fuentes hídricas permanentes y superficiales dentro del área de influencia.
- ***Dirección de los vientos.*** Incidencia que puede tener la dirección de los vientos con respecto al casco urbano, en la disposición final de los residuos.
- ***Geoformas del área respecto al entorno.*** Criterio que tiene en cuenta la incidencia del paisaje y el entorno, respecto a la zona urbana y la operación del relleno sanitario.
- ***Restricciones en la disponibilidad del área.*** Hace referencia a las áreas donde se efectuará la disposición final de los residuos.

Tabla 1. Calificación de los criterios y metodología para la localización de áreas para disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios

OCUPACIÓN ACTUAL DEL ÁREA		ACCESIBILIDAD VIAL		CONDICIONES DEL SUELO	
Suelo rural	80 puntos	Pavimentada	20 puntos	Muy fácil	40 puntos
Suelo suburbano	40 puntos	Sin pavimentar	8 puntos	Fácil	32 puntos
Suelo urbano	20 puntos	Pendiente promedio vía principal	0 a 20 puntos	Regular	20 puntos
Otros suelos de protección	0 puntos	Distancia de la vía de acceso	0 a 20 puntos	Difícil	12 puntos
		Pendiente promedio vía de acceso	0 a 20 puntos	Imposible	0 puntos
		Numero de vías de acceso	0 a 20 puntos		
		Condiciones de vía de acceso	0 a 20 puntos		
DISTANCIA CON EL PERIMETRO URBANO		DISPONIBILIDAD DE MATERIAL DE COBERTURA		INCIDENCIA EN LA CONGESTIÓN DE TRÁFICO	
-2 km a 5 km	140 puntos	Recebo granular	40 puntos	Ninguna	40 puntos
-5,1 km a 10 km	100 puntos	Arcilla arenosa	32 puntos	Moderada	20 puntos
-10,1 km a 25 km	60 puntos	Limo arenoso	20 puntos	Grande	0 puntos
-25,1 km a 50 km	20 puntos	Arcilla	16 puntos		
- Mayores a 50 km	0 puntos	Limo Arcilla	8 puntos		
		Limos	0 puntos		

DISTANCIA CUERPOS HÍDRICOS		DENSIDAD POBLACIONAL EN EL ÁREA		RESTRICCIONES DEL ÁREA	
Mayor de 2.000 m	60 puntos	0 habitantes/hectáreas a 2	40 puntos	No existen	60 puntos
-1.000 m a 2.000 m	40 puntos	habitantes/hectárea		Existe una	40 puntos
-500 m a 999 m	20 puntos	2,1 habitantes/hectáreas a 5	20 puntos	Existen dos	20 puntos
-50 m a 499 m	10 puntos	habitantes/hectárea		Existen más de dos	0 puntos
Menor de 50 m	0 puntos	Mayor de 5 habitantes/hectáreas	0 puntos		
DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS		GEOFORMAS DEL ÁREA AL ENTORNO			
Dirección en sentido	40 puntos	Zona quebrada y encajonada	40 puntos		
contrario al casco		Zona en media ladera	32 puntos		
urbano		parcialmente encajonada			
Dirección en sentido	0 puntos	Zona en media ladera abierta	20 puntos		
del casco urbano más		Zona plana y abierta	12 puntos		
cercano					

Fuente. (MINAMBIENTE, 2005)

3.2.5 Gases de efecto invernadero (GEI)

El Sistema de Información Ambiental de Colombia (2017), define a los Gases de Efecto Invernadero como: “Compuestos que están presentes en la atmósfera en ciertas concentraciones y que contribuyen a aumentar la temperatura del planeta, debido a su capacidad para absorber y remitir la radiación infrarroja proveniente de la superficie terrestre”.

Los gases de efecto invernadero pueden ser clasificados de acuerdo con su origen: natural y antropogénico, tal como se puede apreciar en la Tabla 2; dentro de los antropogénicos se encuentran el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y el ozono (O₃). Así mismo dentro de este grupo se encuentran los halocarbonos, que a su vez se subdividen en hidrofluorocarbono (HFCs), perfluorocarbono (PCFs) y hexafluoruro de azufre (SF₆). (IDEAM, 2015)

Tabla 2. *Principales gases de efecto invernadero*

Origen	Gas	Descripción
	Dióxido de carbono (CO ₂)	“Es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la troposfera por ello es responsable de mantener la temperatura constante en la tierra”.
	Metano (CH ₄)	“Es un gas natural, incoloro e inodoro que se produce por la descomposición de materia orgánica. En los

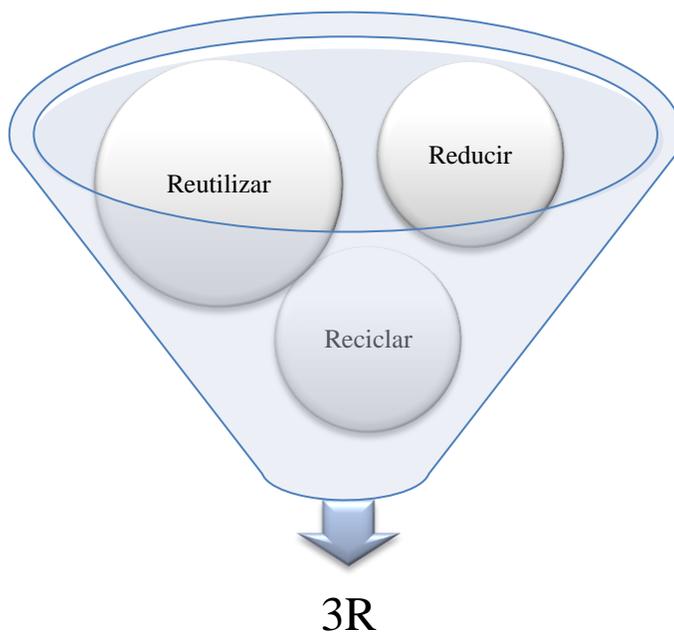
		últimos años ha crecido 115% por el aumento de los residuos urbanos y el sector ganadero”
Antropogénico		
	Óxido nitroso (N ₂ O)	“Es un gas incoloro y volátil, producido por automóviles, centrales eléctricas, uso de fertilizantes y tratamiento de residuos orgánicos. Actualmente ha sido catalogado como el GEI con mayor concentración en el milenio”
	Ozono (O ₃)	“Es un gas que se genera cuando la radiación UV del sol rompe las moléculas de oxígeno en dos átomos de oxígeno. Así mismo se produce por la quema de combustibles fósiles. ”
	Hidrofluorocarbono (HFC)	“Empleado en aerosoles, refrigeradores y por espuma de uso industrial y doméstico”
	Perfluorocarbono (PFC)	“Producido de aluminio por electrolisis”
	Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	“Es un gas no toxico ni inflamable, producido por la reacción directa del azufre fundido y el flúor gaseoso a uno 300 °C”
Natural	Vapor de agua	“Gas que se forma cuando el agua en estado líquido pasa a estado gaseoso”

Fuente. Autoría propia (IDEAM, 2015)

3.2.6 Reducir, reusar y reciclar (3R)

La Iniciativa 3R (Ver Figura 10) tiene como propósito promover la reducción, reutilización y reciclaje de materiales a nivel mundial con el fin de construir una sociedad que utilice los recursos racionalmente. Esta iniciativa fue acordada en la Cumbre del G8 celebrada en Isla del Mar en junio de 2004, sin embargo, fue oficialmente presentada en la reunión ministerial que se celebró en Japón en la primavera de 2005. Reducir significa utilizar de manera adecuada los recursos y disminuir la cantidad de residuos generados. Reutilizar implica el uso repetido de materiales y artículos que aún pueden ser utilizables. Por su parte reciclar significa utilizar los residuos como recursos para la creación de nuevos productos. Las 3R son el primer mecanismo que puede lograr la minimización de residuos de una manera eficiente. (UNEP, 2010).

Figura 10. Las 3R



Abono orgánico. Los abonos orgánicos son el producto obtenido a partir de la transformación de la materia orgánica como estiércol, corte de césped, residuos de cocina y poda, entre otros, los cuales pueden ser empleados como abono para los suelos con el propósito de eliminar el uso de químicos nocivos y así poder recuperar los mismos (Umbarila, 2019). Además, el abono orgánico es una fuente de microorganismos que estimula el crecimiento y la productividad de las plantas, por medio de la potencialización de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. La aplicación de materia orgánica en el suelo mejora la retención de humedad, la estructura, la aireación, la actividad biológica, el intercambio de nutrientes y su absorción (Instituto Técnico Agropecuario - ICA, 2015).

Las ventajas de los abonos orgánicos según (Wiñay, 2010), son:

- Aportan gran cantidad de nutrientes al suelo mejorando el rendimiento de los cultivos.
- En los suelos arenosos aumenta la capacidad de retención de humedad
- Mejoran la estructura del suelo, lo hace más suelto.
- Son productos económicos, ya que se obtienen por medio de residuos.
- Son productos limpios, sanos y de buena calidad.

Incineración. La Incineración es un tratamiento térmico de los residuos que consiste en la combustión completa utilizando el oxígeno excedente. La combustión es un sistema de control en donde se convierten los residuos en cenizas, gases de combustión y calor (Tello et al., 2018). Este es un proceso térmico que reduce el peso y volumen de los RS por medio de la combustión

controlada, además reduce significativamente la cantidad de residuos dispuestos en el relleno sanitario. Así mismo este proceso permite recuperar el calor de la combustión para transformarlo en energía eléctrica y alimentar redes de calor.

3.2.7 Sostenibilidad ambiental

Ciudades emergentes: De acuerdo con BID una ciudad emergente y sostenible tiene un crecimiento demográfico entre 100 mil y 2 millones de habitantes, además de un crecimiento económico por encima del promedio nacional durante los últimos cinco años. De este modo se crea el Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles (CES), es un programa de asistencia técnica no reembolsable que busca apoyar de manera directa a los gobiernos centrales y locales para fomentar alternativas y planes de sostenibilidad.

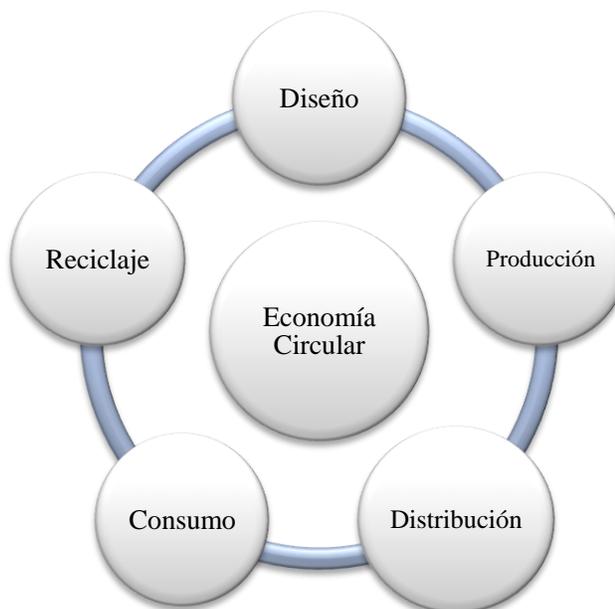
El CES tiene un enfoque integral e interdisciplinario que prioriza la intervención urbana con el fin de lograr un crecimiento sostenible de las ciudades emergentes de América Latina y el Caribe. Este enfoque integral tiene tres pilares fundamentales, los cuales son:

- Sostenibilidad medioambiental y de cambio climático;
- Sostenibilidad urbana;
- Sostenibilidad fiscal y gobernabilidad

Economía circular. La economía circular tiene como propósito lograr que los productos y materiales tengan un valor agregado manteniéndose durante el mayor tiempo en el ciclo productivo. Para esto, el modelo busca que los residuos y los de recursos se aprovechen al máximo y se conserven dentro de la economía cuando un producto ha llegado al final de su vida útil (Graziani, 2018). En una economía circular los recursos se regeneran dentro del ciclo biológico o se recuperan y restauran gracias al ciclo técnico (Ver Figura 11). Según la Fundación para la Economía Circular La economía circular descansa en varios principios (FEC, 2016):

- **La eco-concepción:** Tiene en cuenta los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto y los integra desde su concepción.
- **La ecología industrial y territorial:** Proporciona un modo donde la organización industrial optimiza los stocks desde el flujo de materiales, energía y servicios.
- **La economía de la “funcionalidad”:** Consiste en la venta de servicios frente a un bien queriendo privilegiar el uso frente a la posesión.
- **El segundo uso:** Aplicar un modelo de economía circular introduciendo aquellos productos que no corresponden a las necesidades básicas de los consumidores.
- **La reutilización:** Dar un nuevo uso a algunos residuos que todavía pueden funcionar para la elaboración de nuevos productos.
- **La reparación:** Dar una segunda vida útil a productos estropeados
- **El reciclaje:** Aprovechar los materiales que se encuentran en los residuos.
- **La valorización:** Generar valor agregado a los residuos.

Figura 11. *Economía circular*



Fuente. Adaptado de FEC, 2016

3.2.10 Sistemas de gerencia de proyectos

Tanto los principios de economía circular como los demás conceptos evaluados para la gestión de los residuos sólidos orgánicos se convergen en este estudio para la aplicación de una sola metodología de trabajo que es la gerencia de proyectos. De acuerdo con la UNEP, todas las estrategias, directrices y formas de aprovechamiento de los residuos que se proponen, hacen parte de la gerencia de proyectos; la cual es una metodología para el planteamiento y ejecución de las actividades encaminadas a garantizar el cumplimiento de los compromisos de un proyecto (Moreno et al., 2016). Así mismo el Project Management Institute (PMI) define la gerencia de proyectos como “la aplicación de los conocimientos, herramientas, habilidades y técnicas en las actividades de un proyecto para cumplir los requisitos de este” (PMI, 2021). Existen diferentes

factores que se consideran en la gerencia de proyectos, los cuales se van a describir en este apartado.

Sistemas de gestión estratégica

La gestión estratégica es un componente fundamental para el desarrollo de una organización, ya que en esta se formulan e implementan los objetivos y metas a realizar, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos. Para que la gestión estratégica sea eficaz, se debe diseñar marcos de actuación en el sistema, la cadena de valor y todos los procesos de la organización, así mismo, se busca conectar las etapas de operación para satisfacer las necesidades de las partes interesadas (Bedoya, 2019).

De acuerdo con la ISO 9001 de 2015 los sistemas estratégicos se basan en la gestión de la calidad, diversificando los métodos para su uso y aplicación, por lo que existen diferentes herramientas para realizar una gestión estratégica, los cuales son:

- **Matriz PESRAL:** Esta herramienta tiene en cuenta los factores, políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales que afecten a la organización.
- **Matriz DOFA:** Sistema cualitativo que analiza el contexto y ayuda a enfocar las estrategias competitivas.
- **Cuadro de mando integral:** Mecanismo que logra vincular el pensamiento estratégico de la organización, implementado desde diferentes perspectivas que a su vez permiten su medición.

- **Curva de valor:** Valora los factores competitivos y los compara con otros competidores del sector.
- **Modelo de negocio:** Sistema intuitivo que establece los componentes relevantes de la organización.

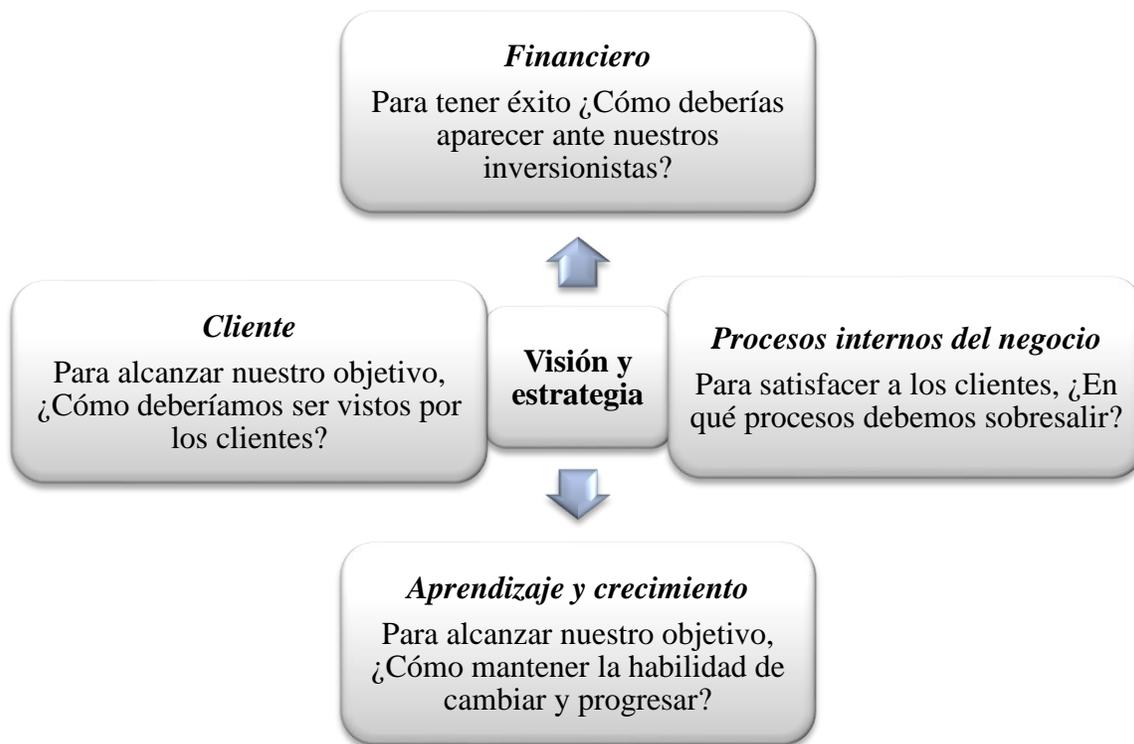
Gestión administrativa

El concepto de gestión administrativa hace referencia a las estrategias y mecanismo dispuestos para cumplir los objetivos de una organización, en este sentido se constituyen empresas altamente competitivas. Las estrategias de un proyecto deben estar preparadas y orientadas técnicamente, para ser competentes en funciones administrativas de manera tal que se obtenga un logro total de los objetivos y una visión general para el éxito en la gerencia de un proyecto (K.Pinto, 2015). La gerencia de proyectos se ha establecido como la fuente de operaciones de las industrias en diversas áreas como la construcción, la tecnología, la ingeniería, la arquitectura y demás, permitiendo un desarrollo de nuevos productos por medio de sistemas innovadores de modelos integrales en los negocios de la empresa.

Balanced Scorecard. Para llevar a cabo una gerencia de proyectos integral, es necesario tener presente diferentes conceptos para un buen desarrollo. El Balanced Scorecard (BSC) o cuadro de mando integral, es una metodología para la gestión estratégica de una organización a través de la aplicación dinámica de indicadores que evalúan el desempeño de las iniciativas generadas en un proyecto para lograr su cumplimiento (Kaplan et al., 2007). Así mismo (Vega & Lluglla, 2019)

aseveran que el BSC es una de las principales herramientas de la gestión organizacional en los últimos años, permitiendo tener bajo control las medidas claves para dirigir un negocio y siendo elemento esencial para el sistema de control estratégica, en su misión de mejorar el nivel de competitividad.

Figura 12. *Perspectivas de Balanced Scorecard*



Fuente. Autoría propia, adaptado de (Kaplan et al., 2007)

Toma de decisiones. La gestión estratégica implementa y evalúa las decisiones que le permitan a una organización alcanzar los objetivos. La toma de decisiones es una característica fundamental de la gerencia de proyectos, y permite la participación de diferentes grupos de interés que buscan

la mejora continua. Las técnicas grupales para la toma de decisiones realizan un proceso de evaluación de múltiples alternativas con relación al resultado esperado; una vez se identifique el alcance y se concreten los objetivos, el equipo debe iniciar las actividades de planificación (Moreno et al., 2016). De acuerdo con Castro (2014) existen diferentes elementos para la toma de decisiones gerenciales, los cuales son:

- Identificación de la problemática y realización de un diagnóstico inicial
- Definición de las limitaciones específicas para el establecimiento de la solución
- Obtención de una solución correcta que cumpla las especificaciones necesarias para el cumplimiento de los objetivos
- Planificación de alternativas que se puedan llevar a cabo con base en la decisión tomada
- Retroalimentación de la efectividad de la decisión seleccionada

Para planear eficientemente, la ejecución de proyectos como alternativas de solución a una problemática es necesario tener en cuenta los cuatro principios de la planeación sirviendo como guía para la acción administrativa. El primero es el principio de factibilidad, en él se elaboran planes que puedan ser realizables de acuerdo con la realidad y las condiciones objetivas en relación con el ambiente. El segundo principio es el de flexibilidad, el cual consiste en la elaboración de planes que deben dar margen para los cambios, ajustándose fácilmente a las condiciones de las situaciones. Por otra parte, el principio de precisión se establece con la necesidad de dar datos objetivos con base en estadísticas, estudios de mercado y datos cuantitativos, con el fin de que

sean elaborados con la mayor precisión posible. Finalmente, el principio de la unidad específica que todos los planes en general deben estar orientados a cumplir una meta conjunta (P. Castro, 2014).

3.2.9 Objetivos De Desarrollo Sostenible

En 2015, la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás. La Agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (Ver Figura 13), que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del ambiente o el diseño de nuestras ciudades (ONU, 2015).

Figura 13. Objetivos de desarrollo sostenible



Fuente. Adaptado de (ONU, 2015).

Desde el punto de vista de la gestión de residuos, los objetivos de desarrollo sostenible son un eje fundamental para enfrentar los impactos ambientales y sociales. Por ellos a continuación se describen los objetivos que involucran el ciclo de los residuos y la economía.

Trabajo Decente y crecimiento económico. “Mejorar progresivamente, para 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del ambiente, de conformidad con el marco decenal de programas sobre modalidades sostenibles de consumo y producción, empezando por los países desarrollados (ONU, 2015).



Ciudades y Comunidades Sostenibles. “De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los residuos municipales y de otro tipo” (ONU, 2015).



Producción y Consumo Responsable “De aquí a 2030 reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores”; “Para 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los residuos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir de manera significativa su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de reducir al mínimo sus efectos adversos en la salud humana y el ambiente”; “De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de residuos mediante prevención, reducción, reciclado y reutilización” (ONU, 2015).



3.3 Marco legal

La legislación para el manejo de los servicios públicos en Colombia se ha desarrollado bajo condiciones sanitarias y de saneamiento, con el propósito de proteger el ambiente y la salud de las personas. Así mismo históricamente se han establecido leyes en materia ambiental que regulen la preservación de los recursos naturales. Para el caso de la gestión de los residuos sólidos se ha evolucionado en su normativa, estableciendo una cooperación conjunta entre las entidades territoriales y la población; con base en las normas vigentes el estado colombiano ha promovido una cultura de aprovechamiento de los residuos por medio de la separación en la fuente y la promoción de alternativas de disposición final como es el caso del reciclaje.

A continuación, se relaciona la normatividad aplicable a los procesos de gestión de residuos sólidos en Colombia (Ver Tabla 3).

Tabla 3. *Normatividad aplicable a la gestión de residuos*

Norma	Objetivo
Decreto Nacional 838 de 2005 por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002	Sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Promover y facilitar la planificación, construcción y operación de sistemas de disposición final de residuos sólidos, como actividad complementaria del servicio público de aseo, mediante la tecnología de relleno sanitario. Reglamentar el procedimiento a seguir por parte de las entidades territoriales para la definición de las áreas potenciales susceptibles para la ubicación de rellenos sanitarios. (MINAMBIENTE, 2005)

Ley 142 de 1994	Establecer el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones (Congreso de la Republica, 1994)
Ley 1450 de 2011	Expedir el Plan Nacional de Desarrollo (Congreso de la Republica, 2011)
Decreto 2041 de 2014, Numeral 13 y Artículo 11	Reglamentar la construcción y operación de rellenos sanitarios no obstante la operación únicamente podrá ser adelantada por las personas señaladas en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994. De los proyectos, obras o actividades que requieren sustracción de las reservas forestales nacionales Corresponde al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible evaluar las solicitudes y adoptar la decisión respecto de la sustracción de las reservas forestales nacionales para el desarrollo de actividades de utilidad pública e interés social, de conformidad con las normas especiales dictadas para el efecto. (Congreso de Colombia, 2014)
Resolución 754 de 2014	Adoptar la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (MINAMBIENTE, 2014)
Resolución 1890 de 2011	Enunciar alternativas para la disposición final de los residuos sólidos en los municipios y distritos (Celda de Transición) (MINAMBIENTE, 2011)

Resolución CRA 720 de 2015	Por la cual se establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas, la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones (MINVIVIENDA, 2015).
Resolución 3152 de 2004	Restricciones aeronáuticas para el establecimiento de construcciones de toda instalación destinada al procesamiento de carnes o pescado basureros o vertederos públicos y rellenos sanitarios, residuos de fábricas y de parques, plantas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos en un radio no menor de 13 kilómetros del aeródromo (Aeronáutica civil, 2004)
RAS 2000	Establece los criterios básicos, los requisitos mínimos y las buenas prácticas técnicas de ingeniería que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la implementación y construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación, el mantenimiento, el cierre, la clausura y la post clausura y las actividades de salvamento de infraestructura de los diferentes componentes y subcomponentes del sistema de aseo urbano. (MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, 2000)

Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (MINAMBIENTE, 1974)
Ley 1259 de 19 de diciembre de 2008	Ordena que toda organización deberá acatar el ordenamiento en materia ambiental con normas de aseo, limpieza y recolección de escombros, a razón que podrá ser sujeto de investigación y sanciones consistentes en comparendos ambientales (Congreso de Colombia, 2008)
Decreto 948 de junio 5 de 1995	Prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire (MINAMBIENTE, 1995)
Norma Técnica Colombiana GTC 53-2-2004	Guía para el aprovechamiento de los residuos plásticos (ICONTEC, 2004)
Norma Técnica Colombiana GTC 53-3 1998	Guía para el aprovechamiento de envases de vidrio (ICONTEC, 1998)
Norma Técnica Colombiana GTC 53-4-2003	Guía para el reciclaje de papel y cartón (ICONTEC, 2003)
Norma Técnica Colombiana GTC 53-5-1999	Guía para el aprovechamiento de los residuos metálicos (ICONTEC, 1999a)

Norma Técnica Colombiana Guía para el aprovechamiento de residuos de papel y cartón
GTC 53-6-1999 compuestos con otros materiales (ICONTEC, 1999b)

Norma Técnica Colombiana Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos no
GTC 53-7-2000 peligrosos (ICONTEC, 2006)

Norma Técnica Colombiana Guía para la minimización de los impactos ambientales de los residuos
GTC 53-8-2007 de envases y embalajes (ICONTEC, 2007)

Fuente. Autoría propia

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología utilizada, las herramientas y métodos para la recolección de datos. Además, se detallan las características de herramientas empleadas para el desarrollo de la presente investigación tales como: cuestionarios, tipos de análisis realizados, entre otros, todos con el fin de dar desarrollo a los objetivos del proyecto.

La metodología utilizada consistió en el análisis cualitativo y cuantitativo de literatura en entidades como el Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización de las Naciones Unidas en su Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Así mismo se realizó la revisión con bases en datos especializadas como lo son Science Direct y Scopus, las cuales proporcionan resúmenes y artículos de revistas científicas. La búsqueda se realizó partiendo de las palabras claves “gestión de residuos, ciudades en desarrollo, residuos sólidos, gestión estratégica”. Lo anterior dio como resultado alrededor de 5.862 resultados en las dos bases de datos.

Entre las herramientas de recolección de información se encuentran, el análisis de datos en bases especializadas, la realización de encuestas a los diferentes actores que intervienen en la gestión de residuos, entrevistas a los tomadores de decisiones en la gestión de residuos y la observación no experimental a través de visitas de campo en los centros de acopio y tratamiento.

Tabla 4. *Evaluar la gestión de los residuos en ciudades emergentes*

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADOR
Diagnosticar como es la gestión actual de los residuos sólidos orgánicos en una muestra de ciudades emergentes de la región Sabana Centro del departamento de Cundinamarca.	Mejoramiento de la Gestión de residuos Sólidos	Proceso que implica el aumento de las cantidades de residuos aprovechados, considerando la cobertura y la planificación de todas las actividades relacionadas con la gestión de residuos desde su generación hasta su disposición final	Cobertura de la gestión residuos sólidos	Toneladas de residuos generados. Porcentaje de cobertura de la gestión de residuos
			Planificación de la gestión RS	Avance de los planes de gestión integral de residuos sólidos PGIRS
			Ciclo de vida de la gestión de residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de residuos de plástico • Porcentaje de residuos de vidrio • Porcentaje residuos de cartón y papel • Porcentaje residuos orgánicos. • Porcentaje de residuos reciclados • Número de plantas de tratamiento y clasificación de residuos en la muestra de ciudades. • Número de recolectores informales • Número de vehículos computadores • Número de rutas de recolección
			Aprovechamiento de residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de residuos aprovechados • Porcentaje de residuos reutilizados • Cantidad de energía generada a partir de residuos • Cantidad de productos generados a partir de los RS • Rellenos sanitarios y centros de disposición final

Continuación Tabla 4.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADOR
Analizar las tecnologías utilizadas actualmente en los procesos de producción, transporte, acopio, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos orgánicos generados en la muestra de ciudades emergentes.	Dinámica de las ciudades emergentes	Constante crecimiento demográfico y económico con particularidades sociales, políticas, económicas y ambientales, que genera incrementos sustanciales de la producción de residuos sólidos	Social	Tasa de natalidad
			Política	<ul style="list-style-type: none"> • Marco Legal • Regulación para gestión de residuos • PEGIRS • Normas regulatorias para la disposición final de residuos • Incentivos para la gestión de residuos • Alianzas Público-Privadas
			Económica	Crecimiento Económico PIB
			Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación Ambientales • Impactos ambientales • Contaminación • Gas de efecto Invernadero
Establecer el estado financiero de la producción, transporte, acopio, tratamiento y disposición final del manejo de RSO en la muestra de ciudades emergentes	Tecnologías de gestión de residuos sólidos	Métodos, técnicas y herramientas que permiten una gestión apropiada de los residuos sólidos	Métodos	Tecnologías disponibles
			Técnicas	Porcentajes de aprovechamiento
			Herramientas	Plantas de tratamiento autorizadas
			Gestión apropiada de residuos sólidos	
Proponer un sistema de gestión estratégico para el manejo de los residuos sólidos en ciudades emergentes.	Cultura de Reciclaje	Conjunto de normas de vida positivas que contribuyen a la recirculación de materiales dentro de su ciclo de vida	Ciclo de vida de productos	Porcentaje de productos reciclados
			Cultura	Iniciativas para la promoción de reciclaje
			Recirculación	

Fuente. Autoría propia

4.1 Localización del área de estudio

Este estudio fue realizado en los municipios de la Provincia de Sabana Centro del departamento de Cundinamarca. Esta zona se localiza al centro del departamento y cuenta con once municipios que son: Cajicá, Chía, Cogua, Cota, Gachancipá, Nemocón, Sopo, Tabio, Tenjo, Tocancipá y Zipaquirá (Ver Figura 14). Cabe resaltar que la investigación no se llevó a cabo en cada uno de los once municipios sino únicamente en aquellos que catalogaran como ciudades emergentes.

Figura 14. *Ilustración de los municipios de la Provincia de Sabana Centro*



Fuente. Tomado de (Gobernación de Cundinamarca, 2015)

4.2 Metodología para la identificación de ciudades emergentes

La presente investigación adoptó la metodología del programa de asistencia técnica “Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenible (ICES)” del Banco Interamericano de Desarrollo, la cual facilita a las ciudades la formulación de planes de acción mediante su identificación como ciudades emergentes y sostenibles. Así pues, esta metodología comprende seis fases agrupadas en dos etapas que se desarrollaron en el acápite de resultados. En la primera etapa se realiza una evaluación o diagnóstico rápido del estado actual de la ciudad, con el fin de elaborar un Plan de Acción para la sostenibilidad de esta. La segunda etapa se enfoca en la ejecución del Plan de Acción y el monitoreo continuo del sistema, con una duración entre tres y cuatro años (BID, 2016).

Debido al alcance de los objetivos de este estudio no se tendrá en cuenta la segunda etapa de la Metodología ICES; por lo cual en la Figura 15 se presentan las fases contempladas dentro de la primera etapa.

Figura 15. *Primera etapa: Desarrollo del Plan de Acción*



Fuente. Autoría propia

4.2.1 Preparación

La preparación es la etapa base de la iniciativa de “Ciudades Emergentes y Sostenible”, en ella se comprenden las siguientes acciones: (1) Conformación de los equipos de trabajo de las instituciones, (2) Recopilación de información a partir de fuentes secundarias, (3) Identificación de actores potenciales para el monitoreo ciudadano y (4) Definición de la visión de la ciudad (BID, 2016).

Igualmente, en esta etapa se organiza la información con respecto a las dimensiones evaluadas por el sistema ICES priorizando los estudios de cambio climático y de crecimiento urbano y económico de la ciudad. En el estudio de cambio climático se deben incluir las medidas de mitigación y adaptación frente a este fenómeno. Por otra parte, en el estudio de crecimiento urbano y económico se provee información cuantitativa y cualitativa para determinar el desarrollo interno de la ciudad, generándose proyecciones a corto, mediano y largo plazo, además de los costos asociados a esto (BID, 2016).

4.2.2 Análisis y diagnóstico

De acuerdo con el BID (2016), a partir de la recolección de la información secundaria en las dimensiones evaluadas por el sistema ICES (1) Cambio climático y ambiente, (2) Desarrollo urbano y (3) Fiscal y gobernabilidad, se deben relacionar con los 130 indicadores que se cubren en estas; cada uno de ellos están valorados bajo criterios de índices internacionales con puntos de referencia en ciudades similares. Los indicadores empleados por el ICES tienen en cuenta las

problemáticas críticas de las ciudades emergentes considerando el desarrollo económico local, la generación de empleo, la preservación del ambiente y competitividad productiva.

Estos indicadores cuentan con tres categorías que permiten definir los valores estimados para cada uno en comparación con valores de referencia, por lo tanto, se emplea un sistema de semaforización por categoría: uno “verde” si la gestión es adecuada o buena, uno “amarillo” si se presentan dificultades en el servicio o gestión y uno “rojo” si el servicio o gestión es deficiente. Cuando se recolecta la información y se valora en cada una de las dimensiones evaluadas, se requiere definir el color de los indicadores de acuerdo al sistema de semaforización, en algunos casos esta valoración la determina un cuerpo técnico de especialistas en el tema (BID, 2016).

Al mismo tiempo se recopila información cualitativa de cada uno de los temas de gestión fiscal, agua y saneamiento, residuos sólidos, seguridad ciudadana entre otros. De acuerdo con el Banco Iberoamericano de Desarrollo (2016) se debe reunir información que contenga:

1. Diagnóstico de los indicadores relevantes empleados para la resolución de la problemática identificada en los sectores evaluados.
2. Definición de las entidades que tienen jurisdicción en los sectores contemplados.
3. Descripción de las propuestas existentes que buscan resolver de forma parcial o total la problemática identificada.
4. Planteamiento de propuestas preliminares sobre las posibles soluciones para solucionar la problemática objeto.

4.2.3 Priorización

En esta fase se prioriza las áreas críticas para la sostenibilidad de la ciudad con base en la información obtenida. En la priorización se aplican una serie de filtros ponderados de acuerdo con cuatro criterios base: (1) Valoración por parte de la ciudadanía, (2) Impacto económico de cada tema, (3) Relación con el cambio climático y (4) Interrelación con otros sectores.

Así pues, categorizado cada aspecto en los criterios base, se debe aplicar filtros ponderados que permiten determinar si un tema es más o menos prioritario que otro (BID, 2016).

4.2.3.1 Filtro de opinión pública

Se debe tener en cuenta a la población de la zona a intervenir, por ello es necesario realizar encuestas donde se conozca su punto de vista frente al tema. Las encuestas no deben tener un margen de error mayor al 5%, además se deben incluir preguntas que permitan dar una mayor visión de lo que opinan las personas sobre la problemática expuesta. Finalmente, la ciudadanía puede realizar o incluir preguntas y comentarios que consideren relevantes para conocer sus condiciones actuales.

Este filtro debe ser ponderado con una calificación de 1 a 5 dependiendo de cada uno de los temas contemplados en la ICES, dando prioridad a los recursos limitados del área de acción. Para realizar esta evaluación se debe tener en cuenta que los encuestados seleccionan únicamente tres áreas de acción, las cuales dependen del criterio que consideren ellos más relevante. Por lo tanto,

entre mayor porcentaje de personas encuestadas, se va a poder realizar una evaluación más precisa de la opinión pública frente al tema.

4.2.3.2 Filtro de impacto económico

Este filtro consiste en realizar una valoración socioeconómica de los beneficios que se logran una vez resuelta la problemática. El objetivo de este filtro es identificar el costo de oportunidad de la falta de acción en la zona de intervención; para lo cual es necesario contar con datos o estudios de costos locales e internacionales realizados en los últimos años en la ciudad, así como también entrevistas con expertos locales teniendo en cuenta los criterios de la ICES para poder realizar una evaluación del estado actual de la ciudad.

La evaluación debe tener a consideración tres indicadores económicos fundamentales: Producto Interno Bruto (PIB), empleo y competitividad. Para cada uno de ellos se diligencia una matriz diagnóstica en donde se presentan los factores de mayor influencia para que la ciudad sea considerada sostenible. La metodología ICES establece que se deben realizar supuestos de los principales factores de costo, basados en la información disponible y comparable para su cuantificación, es por ellos que se deben añadir márgenes de error (no mayor al 5%) con el objetivo de que los resultados sean comparables con valores obtenidos en otros estudios que presenten la misma o similar problemática de la ciudad.

4.2.3.3 Filtro de cambio climático y riesgo de desastre

En este filtro realiza una valoración a la afectación del aspecto generado por fenómenos relacionados con el cambio climático, las emisiones de GEI (CO₂ y metano) y el riesgo ante amenazas naturales. Así mismo es necesario plantear medidas de acción frente a los riesgos que se presenten de forma directa e indirecta en cada uno de los indicadores evaluados, la planificación urbana puede disminuir el riesgo a través de los sistemas de zonificación, en donde se establezcan prohibiciones de infraestructuras en zonas de riesgo.

Para realizar la calificación de este filtro es necesario contar con estudios base como por ejemplo estudios de impacto ambiental, análisis de emisiones de GEI, estudios de riesgo y cambio climático, entre otros. Con el fin de facilitar la calificación, es indispensable tener el inventario de GEI de la ciudad ya que en este se identifican los principales sectores emisores y opciones de mitigación. En cuanto a la valoración, se deben establecer valores de referencia cualitativos para cada uno de los sectores considerados, dando como resultado una calificación en un rango de 1 a 5, en donde el valor más alto establece que se deben tomar medidas para disminuir el impacto y el riesgo.

4.2.3.4 Filtro multisectorial

Este filtro tiene el objetivo de priorizar los temas estratégicos, es decir, aquellos en el que se generaría un mayor impacto sobre la sostenibilidad de la ciudad. Para ello se deben identificar

aquellas temáticas que intervienen en otros sectores, que en consecuencia tendrán efectos positivos en el mayor número de temas posibles.

Para su valoración se emplean matrices de interrelación, las cuales sirven para asignar puntuaciones en función del grado de interdependencia entre temas. En esta matriz se deben incluir los aspectos analizados de acuerdo con la metodología ICES, la cual establece que la ponderación debe ser en un rango de 1 a 3 dependiendo de la incidencia o impacto del tema, siendo 3 la calificación para el mayor impacto y 1 para el menor.

4.2.3 Plan de acción

La estructuración del plan de acción es la última fase de la primera etapa de la metodología ICES, en esta fase se organiza la información, resultados y análisis obtenidos durante las fases anteriores, de modo tal que se pueda realizar un análisis más detallado de las áreas priorizadas en la fase tres. Así mismo en el plan de acción se debe establecer la estructura financiera, por lo cual es necesario determinar las fuentes de financiamiento, cronogramas, actores involucrados, costos de inversión y estudios de pre-inversión, con el fin de cumplir con las acciones especificadas en la problemática.

El plan debe ser establecido a diferentes periodos de tiempo, es decir, se consideran etapas a corto, mediano y largo plazo. Las dos primeras etapas abarcan los periodos de las administraciones locales, en donde se inician acciones específicas de acuerdo con los recursos disponibles y se llevan

a cabo monitoreos continuos con el fin de lograr los resultados dispuestos en el plan de acción. Por otro lado, las acciones orientadas a largo plazo deben ser cumplidas por las siguientes administraciones de la ciudad. Este plan de acción constituye la formación de una alternativa con camino hacia la sostenibilidad, a través de proyectos de intervención urbana (BID, 2016).

4.3 Metodología para el desarrollo de los objetivos

4.3.1 Diagnóstico de la gestión de los residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes

Para efectos de este estudio, se desarrolló una investigación descriptiva con base en las estadísticas de generación, almacenamiento y disposición final de los residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes, a partir de un reconocimiento de la forma en que se está realizando la separación en la fuente y el aprovechamiento de los residuos. El objetivo del diagnóstico es revisar la situación actual del manejo que se le está dando a los RSO, de acuerdo con las políticas adoptadas en el país y los Planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) en cada una de las ciudades emergentes establecidas. La Figura 16 presenta los elementos evaluados en el manejo residuos orgánicos en los municipios de estudio.

Figura 16. Esquema de un PGIRS



Fuente. Autoría Propia

De acuerdo con la Figura 16, se realizó el esquema de un PGIRS en los municipios de estudio teniendo en consideración los programas que se llevan en el manejo integrado de estos, tales como: Análisis de factibilidad de la gestión integradas, información presupuestaria para las operaciones de servicio, sistemas de planeación por parte de las organizaciones del sector público y privado, reportes de los recursos e instalaciones con los que cuenta el municipio para su tratamiento, documentos de participación ciudadana o de opinión pública. Por lo tanto, para realizar la recolección de la información se tuvo en cuentas las siguientes fuentes:

- Búsqueda de documentos electrónicos sobre los estudios de manejo integrado de los residuos orgánicos en los municipios que sean catalogados como ciudades emergentes.

- Visitas de campo a las alcaldías municipales de las potenciales ciudades emergentes, con el fin de recolectar información de fuentes primarias sobre los PGIRS que se llevan a cabo en ellas.
- Consultas virtuales a las entidades encargadas de la gestión de los residuos orgánicos de los municipios estudiados.
- Artículos de revistas y periódicos de la situación que se ha presentado en el manejo de los RSO en los últimos años.

Finalmente se realizó un análisis de los datos obtenidos con el propósito de diagnosticar la gestión actual de los residuos sólidos orgánicos en los municipios, además se llevó a cabo una comparación entre las potenciales ciudades emergentes sobre el manejo que se les está dando en cada uno de ellos, con el fin de conocer alternativas de mejora, que una ciudad emergente le pueda aportar a otra.

4.3.2 Análisis de las tecnologías para la gestión de los residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes

Una vez realizado el diagnóstico de la gestión actual de los residuos orgánicos en los municipios de Chía y Zipaquirá, fue necesario analizar las tecnologías utilizadas en los procesos de acopio y tratamiento de este tipo de residuos; permitiendo determinar el cumplimiento de los programas municipales y la puesta en marcha de alternativas de mejora para el sistema de gestión.

Con base en la información cualitativa y cuantitativa recolectada se clasificaron los datos provenientes en cada una de las etapas del ciclo de gestión de los residuos sólidos orgánicos. Lo anterior con el objetivo de caracterizar la gestión desde múltiples perspectivas, permitiendo hacer una evaluación en las siguientes dimensiones:

- Sistema de gestión de los residuos orgánicos en las plantas de aprovechamiento
- Medios de regulación municipal y gubernamental para la disposición final de los residuos
- Caracterización del ciclo de gestión desde la fuente hasta la disposición final o el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

De este modo, para la gestión de los residuos orgánicos en las ciudades emergentes estudiadas, se consideraron además aspectos de la logística que se debe realizar a nivel municipal para la adecuada disposición de este tipo de residuos. En la Tabla 5 se presentan los aspectos analizados en cada etapa de la gestión de los RSO en los municipios.

Tabla 5. Aspectos evaluados en la gestión de los RSO

PROCESO	CRITERIO
Producción	<ul style="list-style-type: none">• Cantidad y flujo de residuos orgánicos en la fuente• Sistemas de separación desde la fuente
Transporte	<ul style="list-style-type: none">• Rutas de recolección de los residuos orgánicos• Número de vehículos dispuestos por las entidades municipales• Horarios de recolección
Acopio	<ul style="list-style-type: none">• Puntos de acopio en las ciudades emergentes
Tratamiento	<ul style="list-style-type: none">• Cantidad de residuos orgánicos aprovechados• Lugares de aprovechamiento de los RSO establecidos en los PGIRS municipales• Sistemas de aprovechamiento
Disposición final	<ul style="list-style-type: none">• Cantidad de residuos orgánicos no aprovechado• Sitios de disposición final establecidos en los PGIRS municipales

Fuente. Autoría propia

4.3.3 Establecimiento del estado financiero para la gestión de los RSO en las ciudades emergentes

A partir del desarrollo del análisis de la gestión de los residuos orgánicos en las ciudades emergentes identificadas, es importante establecer los recursos necesarios para la operación y funcionamiento de este proceso por parte de cada una de ellas. Para lo cual se consultaron fuentes secundarias de los presupuestos municipales para tener en cuenta en la elaboración del estudio financiero en los procesos de recolección, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición

final de los residuos orgánicos; el cual se desarrolló utilizando la metodología de flujos de caja y la guía para el cálculo de las tarifas de aprovechamiento de materiales. Así mismo se tuvo en cuenta los estatutos de la Resolución CRA 720 de 2015, donde se establecen las tarifas de regulación para los prestadores del servicio público de aseo en los diferentes municipios del territorio colombiano.

Además, se consideración los siguientes aspectos en la dimensión financiera para la gestión de los residuos en los municipios evaluados:

- Gastos operativos y administrativos
- Costos de facturación anual por la prestación del servicio
- Cobranza por la cantidad de residuos orgánicos aprovechados
- Ingresos por la cantidad de materia orgánica vendida para sus procesos de transformación por parte de entidades dependientes del municipio
- Ahorro en gastos de disposición en rellenos sanitarios

Por lo que se refiere a la propuesta para la aplicación de la gerencia de proyectos, se evaluó las alternativas con respecto a las condiciones de inversión que deben realizar las ciudades emergentes para mejorar la gestión de los residuos sólidos orgánicos, igualmente se tuvieron en cuenta los principales indicadores financieros como lo son costos de oportunidad, tasa de retorno, inversión inicial, entre otros. Determinar la viabilidad económica, permitió establecer un proceso de transformación en los municipios, por medio de análisis de ciclo de vida de los residuos y un análisis de costo-beneficio por la implementación de proyectos con precios rentables de operación y a favor del ambiente.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos de manera cuantitativa y cualitativa de las ciudades emergentes identificadas en la Provincia de Sabana Centro, junto con la gestión de los residuos sólidos orgánicos en cada uno de ellos hasta el año 2020; ya que no se cuenta con la información disponible para el año 2021 debido a que las entidades municipales realizan los informes de gestión en periodos anuales.

5.1 Identificación de ciudades emergentes en la Provincia de Sabana Centro

La Provincia de Sabana Centro cuenta en su totalidad con once municipios, sin embargo, solo pocos pueden ser catalogados como ciudades emergentes. De acuerdo con BID una ciudad emergente y sostenible tiene un crecimiento demográfico entre 100 mil y 2 millones de habitantes, además de un crecimiento económico por encima del promedio nacional durante los últimos cinco años. Por lo cual, fue necesario evaluar el crecimiento de los municipios de la provincia en ambas categorías. Con base en las estadísticas de los censos y proyecciones poblacionales del DANE (2020) en el último periodo evaluado (2018-2020), el crecimiento demográfico municipal se puede apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6. *Crecimiento demográfico de los municipios de la Provincia de Sabana Centro*

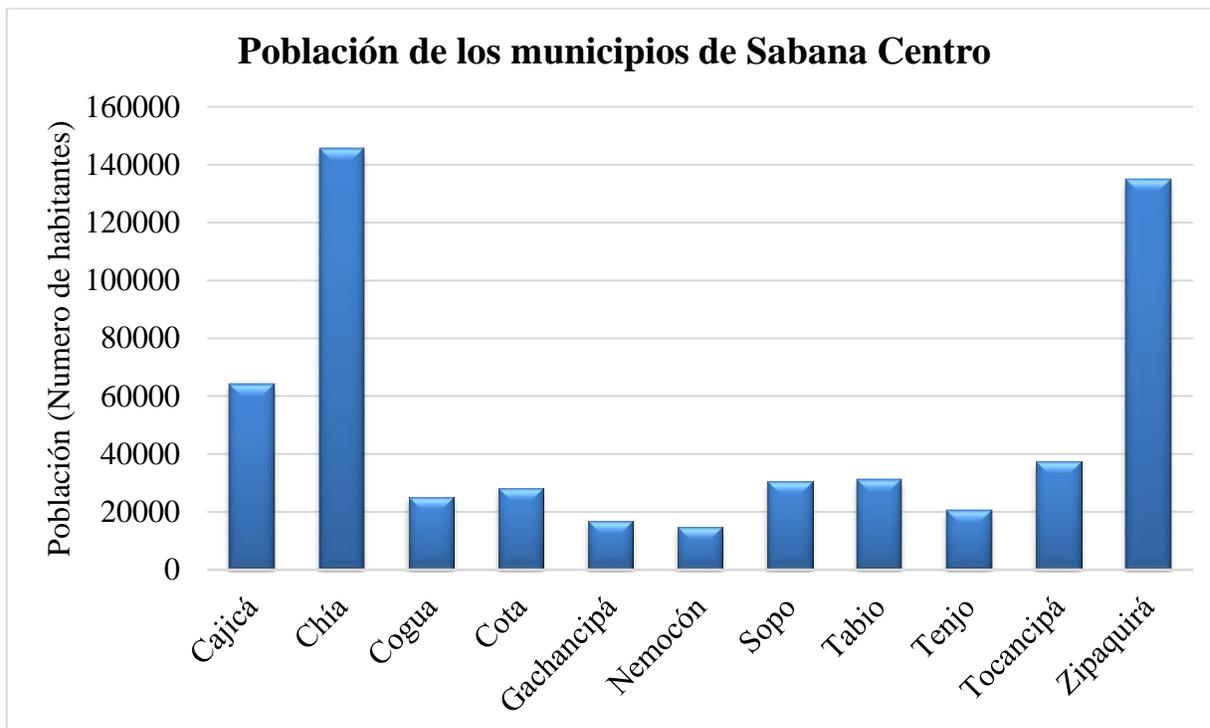
MUNICIPIO	POBLACIÓN A 2021 (Habitantes)
Cajicá	64.133
Chía	145.658
Cogua	25.019
Cota	28.132
Gachancipá	16.914
Nemocón	14.832
Sopo	30.412
Tabio	31.256
Tenjo	20.519
Tocancipá	37.358
Zipaquirá	134.942

Nota. En esta tabla se presenta la distribución poblacional de los municipios de la Sabana Centro

Fuente. (DANE, 2021)

En la Gráfica 2 se puede apreciar que tan solo Chía y Zipaquirá han tenido un crecimiento demográfico mayor a 100.000 habitantes con valores de 145.658 y 134.942 habitantes respectivamente. Por lo tanto, estos son los únicos municipios a los que se les evaluó el crecimiento económico en los últimos cinco años.

Gráfica 2. Población de los municipios de la provincia de Sabana Centro



Fuente. Autoría propia

5.1.1 Caracterización municipio de Chía.

El municipio de Chía se encuentra ubicado en la Sabana de Bogotá sobre la Cordillera Oriental de los Andes; limitando al sur con la ciudad de Bogotá, al norte con el municipio de Cajicá, al oriente con el municipio de Sopo y al occidente con los municipios de Tabio y Tenjo (Ver Figura 17). De acuerdo con las estadísticas meteorológicas del IDEAM la temperatura varía entre 7°C y 19°C, así mismo se presenta una humedad relativa promedio de 76% (varía dependiendo de los niveles de temperatura). (IDEAM, 2021)

Figura 17. Localización del municipio de Chía



Fuente. (Google Earth, 2021)

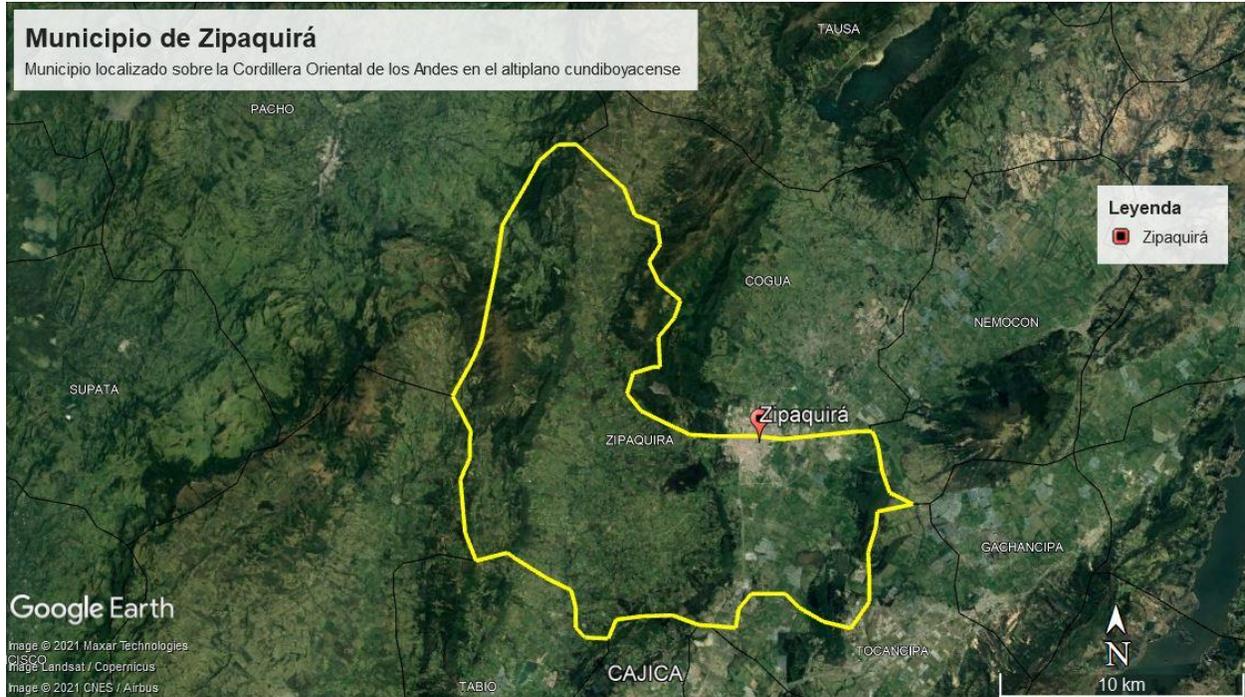
Debido a la cercanía del municipio con la ciudad de Bogotá se logra tener una gran demanda en diversos sectores económicos, desarrollando actividades de microempresas, empresas pequeñas, medianas y grandes. El comercio y mantenimiento de vehículos es la actividad dominante con una participación del 44,8%, en segundo lugar, se ubica el sector hotelero y de restaurantes representando el 11,2% de la economía municipal, la industria manufacturera y las actividades inmobiliarias aportan el 9,57% y el 9,1% del desarrollo económico de Chía, respectivamente. De acuerdo con la Alcaldía Municipal de Chía, la gran inversión en las actividades económicas ha logrado mantener el PIB estable en los últimos cinco años, sin embargo, solo alcanza a tener una pequeña representación sobre este indicador económico a nivel del departamento. (Alcaldía Municipal de Chía, 2020)

A pesar de la baja participación del municipio en el PIB de Cundinamarca, este logra consolidar un desarrollo económico estable y creciente en los últimos cinco años. Por lo tanto, para fines de este estudio se evaluó que el crecimiento económico del municipio ha llegado a generar un valor agregado notable principalmente debido al comercio en la zona; así pues, alcanza a ser catalogado como ciudad emergente y sostenible, ya que la alta demanda de bienes y servicios que sostiene al municipio se obtiene de manera interna, es decir no se requiere de la inversión externa de otro municipio para consolidar su estabilidad económica.

5.1.2 Caracterización municipio de Zipaquirá.

El municipio de Zipaquirá se encuentra localizado sobre la Cordillera Oriental de los Andes en el altiplano cundiboyacense; limitando al sur con los municipios de Cajicá, Sopo y Tabio, al norte con los municipios de Cogua y Nemocón, al oriente con el municipio de Tocancipá y al occidente con los municipios de Subachoque y Pacho (Ver Figura 18). De acuerdo con las estadísticas meteorológicas del IDEAM la temperatura varía entre 6°C y 18°C, así mismo se presenta una humedad relativa promedio del 60% (IDEAM, 2021).

Figura 18. Localización del municipio de Zipaquirá



Fuente.(Google Earth, 2021)

La economía de este municipio se centra en los sectores de la agricultura y la ganadería, sin embargo, otras actividades económicas que aportan al desarrollo del municipio son la minería, la industria manufacturera, el comercio y el turismo. Según un estudio realizado por la Cámara de Comercio de Bogotá (2020), en los últimos años el municipio aporta cerca del 3,89% del PIB de Cundinamarca posicionándose como la sexta economía del departamento; el acelerado crecimiento de la población en las últimas décadas ha generado que el municipio aumente su cadena de suministro de bienes y servicios con el fin de abarcar a la mayor cantidad de población tanto de la zona urbana como de la zona rural, así pues ha logrado una amplia inversión de capital para su desarrollo económico (CCB, 2020).

Si bien, Zipaquirá no es uno de los municipios con mayor tasa de crecimiento económico frente a otros municipios de Cundinamarca, el tamaño de la población y su aporte al PIB del departamento permiten clasificarlo como potencial ciudad emergente de acuerdo con la conceptualización brindada por el BID.

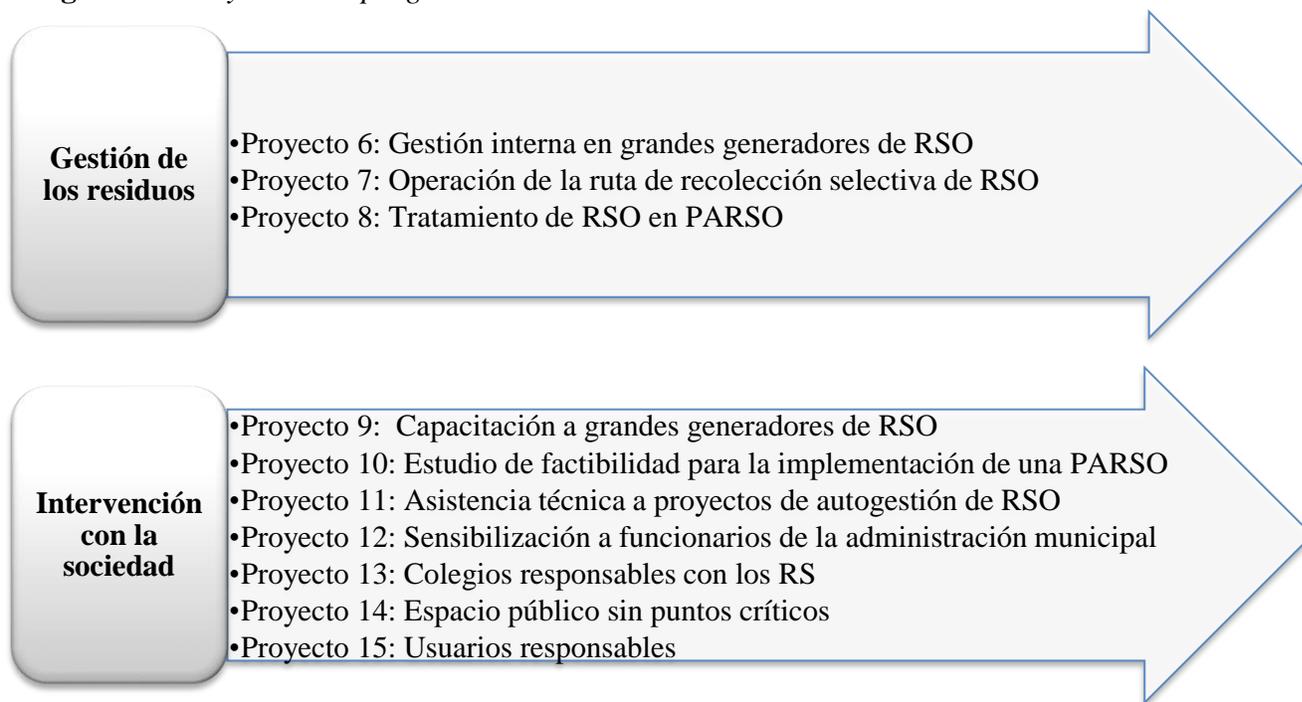
5.2 Municipio de Chía

La gestión de los residuos sólidos orgánicos fue analizada en los dos municipios previamente catalogados como ciudades emergentes (Chía y Zipaquirá). A partir de la información obtenida en los PGIRS de cada municipio se estableció una relación desde la generación del residuo hasta su tratamiento.

5.2.1 Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos orgánicos

El actual Plan de Gestión de Residuos Sólidos del municipio de Chía se estableció en el año 2016, formulando once programas para la gestión de sus residuos, sin embargo, solo uno hace referencia a los RSO. El programa 6 titulado aprovechamiento se subdivide en 10 proyectos que abarcan la generación, operación y tratamiento de los residuos sólidos orgánicos; además de la presentación de programas de asistencia, capacitación y sensibilización para la población con respecto al tema (Cydep SAS, 2016). En la Figura 19 se puede evidenciar los proyectos del programa 6.

Figura 19. *Proyectos del programa 6 del PGIRS de Chía*



Fuente. Autoría propia

Por medio del desarrollo de diferentes proyectos en el municipio se ha logrado fomentar una cultura de separación de los RSO desde la fuente. Uno de los proyectos más destacados en los últimos años, ha sido el denominado plan piloto “Circuito Verde”, lo cual significa que el PGIRS del municipio recolecta la mayor cantidad de residuos sólidos orgánicos en una zona específica dentro del municipio con el fin de fomentar sistemas de sensibilización para su población.

El proyecto “Circuito Verde” es una iniciativa de EMSERCHÍA E.S.P (Empresa de servicios públicos de Chía) junto con la Secretaria de Medio Ambiente y la Secretaria de Desarrollo Económico del municipio. Esta alianza conjunta se da con el propósito de abarcar todo el proceso

de gestión de los RSO, para ello se establecieron responsabilidades a cada actor involucrado, la Secretaria de Medio Ambiente es la encargada de apoyar las actividades de intervención con la sociedad (campañas y actividades de sensibilización), la Secretaria de Desarrollo Económico dispone un sitio específico para los residuos recolectados y EMSERCHÍA E.S.P se encarga de recolectar los RSO en el municipio de Chía, apoyando además los proyectos de sensibilización y capacitación a la población (Afanador, 2020).

De acuerdo con el Informe Integrado de Gestión del 2020, desde la implementación del proyecto en el 2017 se ha logrado cubrir una mayor cantidad de población, así mismo se han intervenido nuevos sectores en el municipio con el fin de que para la meta de vigencia del plan piloto “Circuito Verde” se logre tener una cobertura total del municipio (Ver Tabla 7).

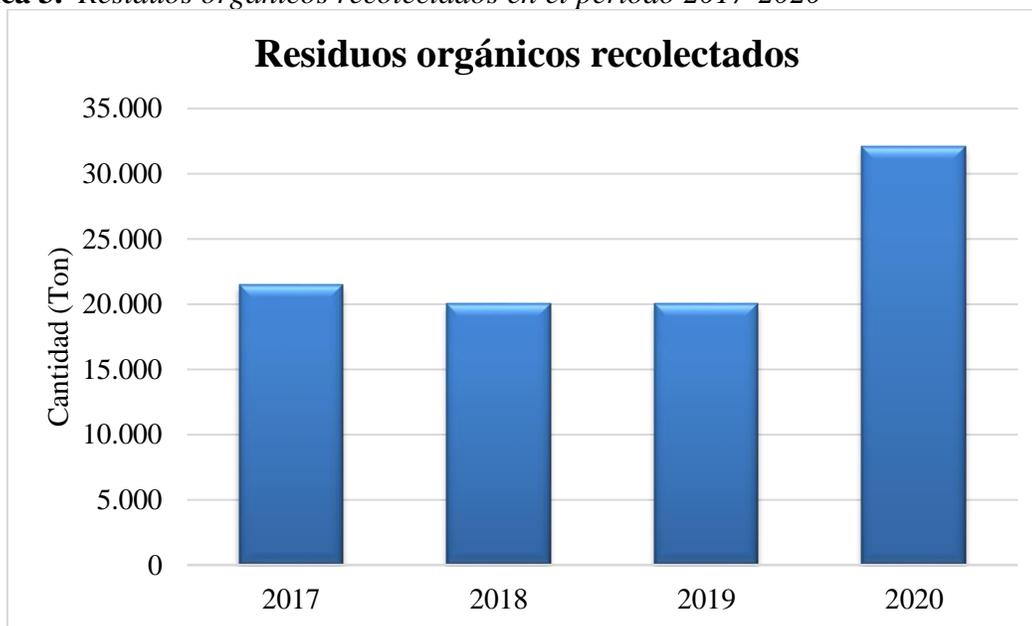
Tabla 7. *Cantidad de RSO recolectados*

AÑO	CANTIDAD DE RSO RECOLECTADOS (Ton)	PROMEDIO MENSUAL (Ton)
2017	21.475,8	1.789,65
2018	19.999,8	1.666,65
2019	19.999,8	1.666,65
2020	32.097,9	2.674,83

Fuente. Autoría propia. Adaptado de (EMSERCHÍA E.S.P, 2020).

Como se puede observar en la Tabla 7, en el año 2020 se lograron recolectar 32.097,9 Ton fortaleciendo el plan piloto de “Circuito Verde” además de dar cumplimiento a las actividades del PGIRS del municipio (EMSERCHÍA S.A.S, 2020).

Gráfica 3. *Residuos orgánicos recolectados en el periodo 2017-2020*



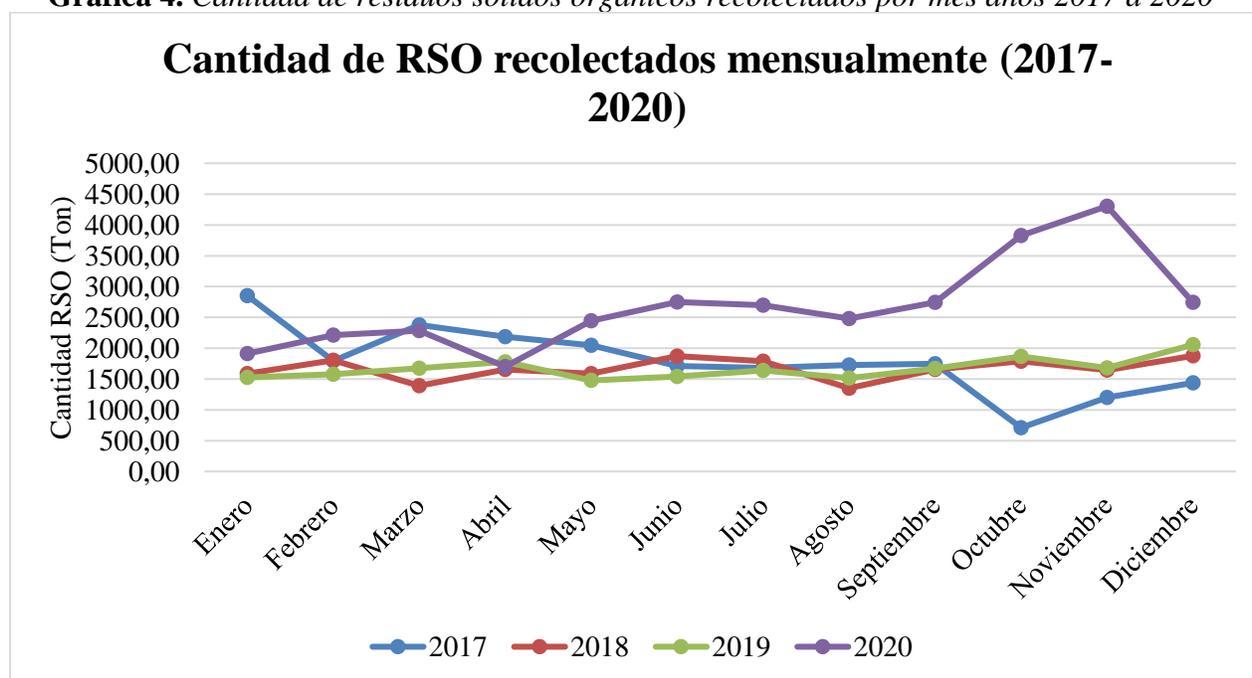
Fuente. Autoría propia

De acuerdo con la Gráfica 3, los sistemas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en el municipio de Chía han sido favorables a pesar de que llevan poco tiempo desde su implementación, además se puede observar que la cantidad de RSO recolectados ha crecido desde el 2017 con llevando a que las entidades locales fortalezcan más programas como el de “Circuito Verde”. Si este crecimiento se sigue manteniendo, en los próximos años se podría decir que el municipio de Chía alcanzaría a suplir toda la demanda por la generación de residuos orgánicos.

Ahora bien, para cada año se han dispuestos metas de cumpliendo de la gestión de los residuos, en el caso del año 2020 la Secretaria de Medio Ambiente de Chía trazo el objetivo de que para fines de este año la cantidad de RSO recolectados aumentara en un 50% con respecto a los valores

de principio de año. Tal como se puede apreciar en la Gráfica 4, la meta propuesta se cumplió ya que para el mes de noviembre se obtuvo la mayor cantidad de residuos sólidos orgánicos recolectados durante todo el año con un valor de 4.302 Ton, duplicando las cantidades de los dos primeros meses de este año.

Gráfica 4. Cantidad de residuos sólidos orgánicos recolectados por mes años 2017 a 2020



Fuente. Adaptado de (EMSERCHÍA S.A.S, 2020)

De acuerdo con la Gráfica 4, se evidencia que la línea base para la gestión de los residuos orgánicos es el año 2017, ya que años anteriores a este no se realizaba una caracterización de los residuos teniendo en cuenta su composición. Por lo cual para este primer año evaluado la cantidad de RSO recolectado es menor si se compara con los tres otros años en cuestión. De igual manera para el caso de los años 2018 y 2019 la cantidad de RSO recolectados se comporta de manera

similar, por lo cual no se presentan fluctuaciones como si es el caso del año 2020. Este último año evaluado se aprecia que las variaciones son considerables a años anteriores, debido a que se intensificaron los sistemas de gestión de los residuos en una mayor cantidad de zonas del municipio.

Finalmente, el municipio de Chía dispone alrededor del 50% sus residuos sólidos en el Relleno Sanitario “Nuevo Mondoñedo”, el cual se encuentra localizado en el municipio de Bojacá, Cundinamarca y es operado por la Empresa de Servicios Publico “Nuevo Mondoñedo” S.A.E.S.P (Ver Figura 20). De acuerdo con las proyecciones iniciales, la vida útil del relleno sanitario estaba prevista para 30 años con una capacidad de 7'102.109 m³ a razón de 650 ton/día, sin embargo, actualmente en promedio este está recibiendo cerca de 1.656 ton/día, lo cual ha reducido su vida útil. Así mismo, durante los 14 años que lleva en operación el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo ha recibido la cantidad equivalente a 21 años aproximadamente según sus proyecciones de estudio de impacto ambiental, de mantenerse la situación actual la vida útil se puede ver reducida entre 10 y 12 años del total proyectado, es decir, la capacidad remante a corte de 2021 sería de 5 años (Gobernación de Cundinamarca, 2021).

Figura 20. Recorrido de las rutas de recolección desde el municipio de Chía al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo



Fuente. (Google Earth, 2021)

La empresa de servicio de aseo EMSECHÍA E.S.P, tiene la labor de recolectar los residuos del municipio por medio de micro rutas en la zona urbana y rural, además debe clasificar y separar la mayor cantidad de residuos sólidos orgánicos que no son separados por la ciudadanía desde la fuente, con el propósito de reducir la mayor cantidad de este tipo de residuos que se disponen en el Relleno Sanitario. La ampliación de proyectos como el de “Circuito Verde” permite generar de manera gradual que diferentes sectores del casco urbano del municipio recolecten y separen los RSO, aportando a reducir y minimizar la cantidad de residuos sólidos en los rellenos sanitarios.

A continuación, se presenta un análisis DOFA del sistema de gestión actual de los residuos sólidos orgánicos en el municipio de Chía (Ver Tabla 8).

Tabla 8. *Análisis DOFA de la gestión actual de los residuos orgánicos en el municipio de Chía*

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<p>Establecimiento de programas para los residuos orgánicos en el PGIRS del municipio</p> <p>El municipio cuenta con una empresa que realiza la gestión de los residuos orgánicos (EMSERCHÍA E.S.P)</p> <p>Existen iniciativas y proyectos piloto exclusivamente para la gestión de los RSO</p>	<p>Falta de organización administrativa para la recolección de los residuos</p> <p>Baja cobertura de las rutas de recolección de los RSO en las zonas rurales del municipio</p> <p>Los residuos que no son aprovechados son dispuestos en el relleno sanitario</p> <p>Mínima cantidad de sitios que se realice el aprovechamiento de los RSO</p>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<p>Altos volúmenes de RSO que se podrán aprovechar en actividades de compostaje</p> <p>Implementación de programas de aprovechamiento de los RSO</p> <p>Establecimiento de políticas municipales para la gestión de los residuos sólidos orgánicos</p> <p>Reducción de la proliferación de vectores en zonas públicas del municipio</p>	<p>Falta de apoyo político de las administraciones futuras</p> <p>Bajo presupuesto municipal para el manejo de los residuos sólidos orgánicos</p> <p>Escaso control sobre la generación de residuos en las zonas de administración pública</p>

MUNICIPIO DE CHÍA

5.2.2 Análisis de los sistemas de tratamiento para los RSO

Por medio del proyecto de Circuito Verde, EMSERCHÍA E.S.P realiza diariamente la recolección de los residuos orgánicos en los diferentes sectores del municipio de Chía con el fin de tener una mayor cobertura. En la Tabla 9, se puede apreciar las fuentes generadoras de residuos sólidos orgánicos dentro del municipio de Chía, junto con el número de beneficiarios por la implementación del proyecto.

Tabla 9. *Fuentes generadoras de RSO en el municipio de Chía*

FUENTE	Nº DE BENEFICIARIOS
Usuarios del casco rural	3.503
Usuarios del casco urbano	38.740

Fuente. (Gobernación de Cundinamarca, 2019)

De acuerdo con la Tabla 9 las mayores fuentes de generación de los residuos orgánicos se presentan en el caso urbano del municipio, siendo 38.740 usuarios beneficiados con la implementación del proyecto, sin embargo, no todos separan adecuadamente los residuos en la fuente tal como lo solicitan las entidades municipales, generando así una gran problemática ambiental debido a que no se puede realizar en su totalidad una apropiada disposición final de los residuos.

Con respecto a las industrias, el municipio cuenta en su totalidad con 98 empresas legalmente establecidas, pero tan solo tres se encuentran dentro del programa de “Circuito Verde”, lo cual se

debe a que fue hasta el año 2019 que las entidades municipales empezaron a realizar programas de separación y aprovechamiento de los RSO para mitigar la contaminación ambiental y contribuir de alguna manera a la disminución de los residuos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo. A pesar de esto, han transcurrido 3 años desde la puesta en marcha del programa y aun son muy pocas las empresas vinculadas, algunas de ellas entregan sus residuos a personas particulares dedicadas a recolectar los RSO, sin embargo, son personas que no presentan ninguna vinculación a la empresa o alguna entidad municipal por lo cual no se tiene ningún registro de su gestión para la disposición de estos residuos.

Ruta de recolección selectiva de los RSO

Dentro de los proyectos establecidos en el PGIRS del municipio de Chía se encuentra el Proyecto 7 denominado “Operación de la ruta de recolección selectiva de RSO”, el cual tiene como propósito realizar una recolección selectiva de los residuos compostables que provienen de dos fuentes principales de generación: la plaza de mercado y los grandes generadores de RSO (residuos de fuentes domiciliarias de la zona urbana y rural del municipio).

En la actualidad EMSERCHÍA E.S.P cuenta en su totalidad con 34 rutas de recolección de los residuos sólidos en todo el municipio, las cuales brindan el servicio de lunes a sábados en jornadas mañana y tarde dependiendo del sector que abarque cada micro ruta. Todas las micro rutas realizan una recolección selectiva desde la fuente, permitiendo así facilitar la selección de los residuos por medio de los contenedores de diferentes colores, con el fin de saber qué tipo de tratamiento se le debe dar a cada tipo de residuo.

Tratamiento de los residuos orgánicos en el PARSO

El aumento de las técnicas de aprovechamiento de los residuos orgánicos reduce la cantidad de estos dispuestos en los rellenos sanitarios, contribuyendo a una mejora continua y sostenible en el municipio. Por medio del contrato PARSO, el municipio provee asegurar que la recolección de los residuos cumpliendo con los requisitos técnicos y normativos aplicables para su gestión. La elaboración de este contrato evalúa la capacidad y cumplimiento de lugares de disposición final para los residuos orgánicos, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10. *Sistemas de tratamiento de los RSO del municipio de Chía*

ESTABLECIMIENTO	TIPO DE TRATAMIENTO	DIRECCIÓN
Lombricultora de Tenjo	Lombricultura	Km 2,3 vía Tenjo-Tabio, Cundinamarca, Colombia
IBICOL	Sistema de compostaje avanzado de Midwest Bio Systems	Km 55 vía Tocancipá-Zipacquirá
RESVAL S.A.S E.S.P	Sistema de compostaje	Km 6,7 vía Cajicá – Zipacquirá

Fuente. Adaptado de (Afanador, 2020)

Como se puede apreciar en la Tabla 10 los sitios de aprovechamiento de los residuos orgánicos no se encuentran dentro del municipio, generando que los recorridos sean distantes a este (Ver Figura 21)

Figura 21. *Recorridos a sitios de aprovechamiento de los RSO*



Fuente. (Google Earth, 2021)

5.2.3 Establecimiento del estado financiero en la gestión de los RSO

EMSERCHÍA S.A.S otorga el servicio de recolección de los residuos del municipio, así pues, la organización cobra a los usuarios por conceptos de recolección, tratamiento y disposición final de cada tipo de residuo. Los porcentajes de contribuciones para las tarifas de aprovechamiento de los residuos sólidos de Chía son definidos por el Concejo Municipal mediante el Acuerdo N° 106 del 2016, el cual establece los subsidios y aportes para los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo del municipio.

Las tarifas de gestión de los residuos se definen de acuerdo con el tipo de tratamiento para cada uno de ellos y con base en el traslado a lugares de disposición final establecidos en el PGIRS. En

el caso de los residuos orgánicos las tarifas son evaluados en periodos bianuales, ya que estas dependen de los convenios vigentes que tenga el municipio para el aprovechamiento de una mayor cantidad. En la Tabla 11 se presentan los costos para la gestión de los RSO en los últimos años.

Tabla 11. *Costos por componente para la gestión de los residuos orgánicos en Chía*

COMPONENTE	COSTO POR COMPONENTE (\$/Tonelada)		
	2016-2017	2018-2019	2020-2021
Costo de disposición para el tratamiento de los residuos orgánicos (CTR)	108.073,09	117.784,90	129.885,68
Costo de disposición final (CDF)	27.594,23	29.742,57	32.113,00
Valor base de aprovechamiento (BVA)	135.667,32	147.527,47	161.998,68

Fuente. Autoría propia. Adaptado de (EMSERCHIA S.A.S, 2021)

Como se puede apreciar en la Tabla 11 el valor base de aprovechamiento depende de manera directa de la sumatoria de los costos de disposición para el tratamiento de los RSO y los costos de disposición final. De igual manera la inversión a los CTR de los residuos orgánicos es mayor a los CDF, ya que en la ciudad emergente se cuenta con distintos convenios para el tratamiento de este tipo de residuos generando que se realice una mayor inversión por parte de EMSERCHÍA S.A.S. No obstante, los valores presentados en la anterior tabla hacen referencia a los costos por tonelada tratada, por tal motivo para fines de este estudio se determinaron los valores de la gestión de los residuos orgánicos en los últimos años (Ver Tabla 12).

Tabla 12. *Costos totales anuales por la gestión de los RSO aprovechados*

AÑO	RSO APROVECHADOS (Toneladas)	COSTO (\$)
2017	65,331	8.863.281,68
2018	225,100	33.163.413,5
2019	247,473	36.459.570,98
2020	374,515	60.670.935,64
TOTAL		139.157.201,8

Fuente. Autoría propia

Como se ha venido mencionando en este estudio el municipio de Chía trata sus residuos orgánicos por medio de técnicas de compostaje y lombricultura, las cuales son actividades de aprovechamiento económicas ya que sus costos de operación son bajos por ser técnicas que utilizan medios naturales para su aplicación. Por tal motivo como se puede apreciar en la Tabla 12 los costos de aprovechamiento de los RSO han aumentado en los últimos años debido a la cantidad de residuos aprovechados; igualmente esto genera que los costos dispuestos por el municipio aumenten con el fin de dar un efectivo tratamiento a los residuos producidos en la ciudad emergente. Por otro lado, a pesar de que los costos invertidos para el aprovechamiento de estos residuos son bajos en comparación con el tratamiento de otro tipo de residuo (inorgánicos), los costos pueden ser inferiores a los presentados en la tabla anterior si dentro del mismo municipio se contara con sistemas de tratamiento para los RSO.

En cuanto a los residuos orgánicos que son llevados al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, es necesario que el municipio realice una inversión en el servicio de aseo para poder recolectar, tratar y disponer sus residuos en este sitio de disposición final. En la Tabla 13, presentan los costos del servicio para el municipio de Chía de los cuales aproximadamente el 60% son destinado para la disposición de los residuos en el relleno sanitario.

Tabla 13. *Costos operacionales para la disposición de los residuos sólidos de Chía*

DESCRPCIÓN DEL SERVICIO DE ASEO	COSTOS TOTALES 2020 (\$)
Recolección y transporte a sitio de disposición final	\$ 1.726.688.472,38
Tratamiento y disposición	\$ 647.554.209,05
Recursos de aprovechamiento	\$ 52.223.067,98
Aseo domiciliario	\$ 35.315.823,76
TOTAL	\$ 2.461.781.573,17

Fuente.(EMSERCHIA S.A.S, 2020a)

Como se puede observar en la Tabla 13, EMSERCHIA S.A.S destina cerca de 2.500 millones de pesos para la disposición final de sus residuos. Este valor tiene en cuenta las diferentes etapas desde la recolección de los residuos hasta la disposición final en los sitios establecidos en el PGIRS, tal es el caso del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo que para el año 2020 recibió cerca de 200 millones de pesos exclusivamente por permitirle al municipio disponer sus residuos en sus instalaciones. No obstante, el municipio realizó una inversión de \$ 1.477.068.943,90 aproximadamente para los procesos de recolección y transporte de los residuos orgánicos hasta el

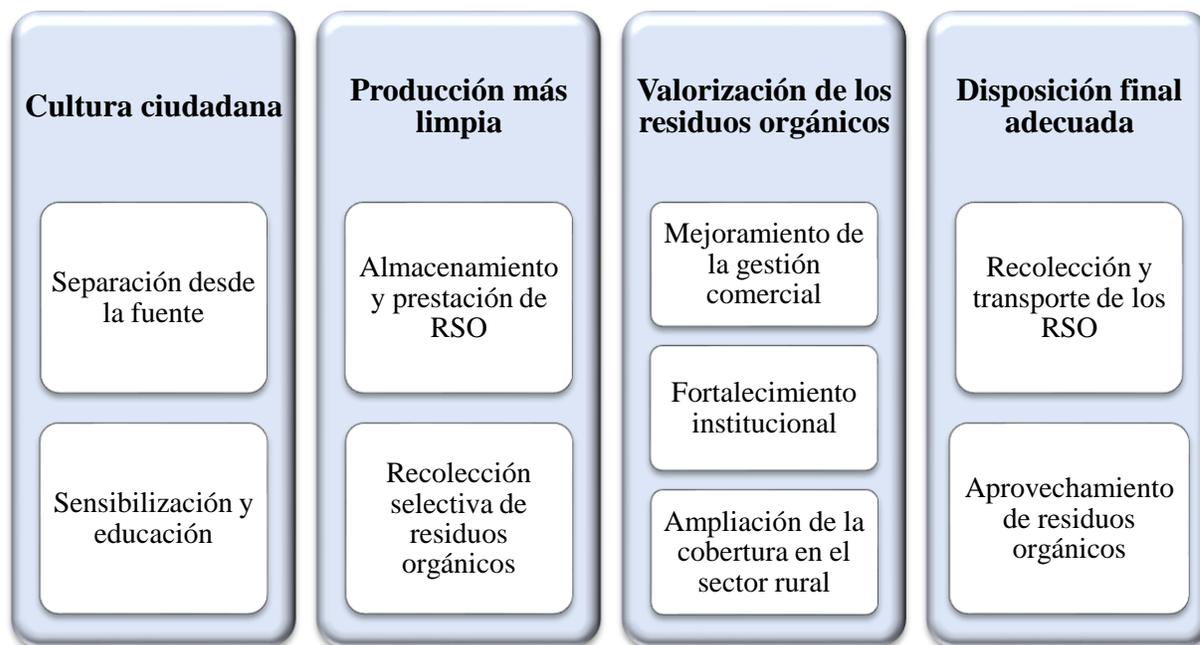
sitio de disposición previamente mencionado, es así como el costo por tonelada dispuesta equivale a \$46.017.

5.3 Municipio de Zipaquirá

5.3.1 Diagnóstico de la gestión de los residuos orgánicos

El actual Plan de Gestión de Residuos Sólidos del municipio de Zipaquirá se estableció para un periodo de actuación entre los años 2016-2027, adoptado mediante la Resolución Municipal N°. 289 del 9 de septiembre de 2005 para la empresa de servicio público de aseo EAAAZ E.S.P (Alcaldía Municipal de Zipaquirá, 2016). El PGIRS se estructura bajo cinco líneas estratégicas que su vez se subdivide en programas que plantean soluciones técnicas, económicas y sociales para la gestión de los residuos sólidos en el municipio de Zipaquirá; sin embargo, solo cuatro aspectos hacen referencia únicamente a los residuos sólidos orgánicos (Ver Figura 22).

Figura 22. Programas establecidos en el PGIRS para los residuos sólidos orgánicos



Fuente. Autoría propia

En la actualidad se está realizando un aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en el Municipio aumentando la cobertura de su recolección año tras año, por medio de la creación de alianzas con empresas para el tratamiento y comercialización de estos residuos. La empresa pública de aseo EAAAZ E.S.P ha establecido programas de aprovechamiento de los RSO, fomentando hábitos de separación y clasificación desde la fuente en los usuarios del servicio en el municipio de Zipaquirá. Desde el año 2019 se implementó un proyecto de separación de los residuos orgánicos desde la fuente en algunos sectores del municipio, el cual consistía en que la ciudadanía realizara una separación de los RSO desde sus hogares y la empresa de servicio público de aseo EAAAZ E.S.P se encargaría de crear rutas de recolección exclusivamente para la recolección de este tipo de residuos. Dicho proyecto tuvo una gran aceptación por la población del

municipio de Zipaquirá, por lo cual para el año 2020 el proyecto fue decretado para todo el municipio bajo el nombre de “Zipaquirá orgánica”.

Este tipo de proyectos se establecen con base en las proyecciones de la cantidad de residuos sólidos orgánicos que se puedan generar en los años posteriores a la creación del PGIRS. En la Tabla 14 se puede apreciar las proyecciones de los RSO generados en los últimos años, de acuerdo con la versión actualizada del plan de gestión de residuos sólidos para su periodo de vigencia (2016-2027).

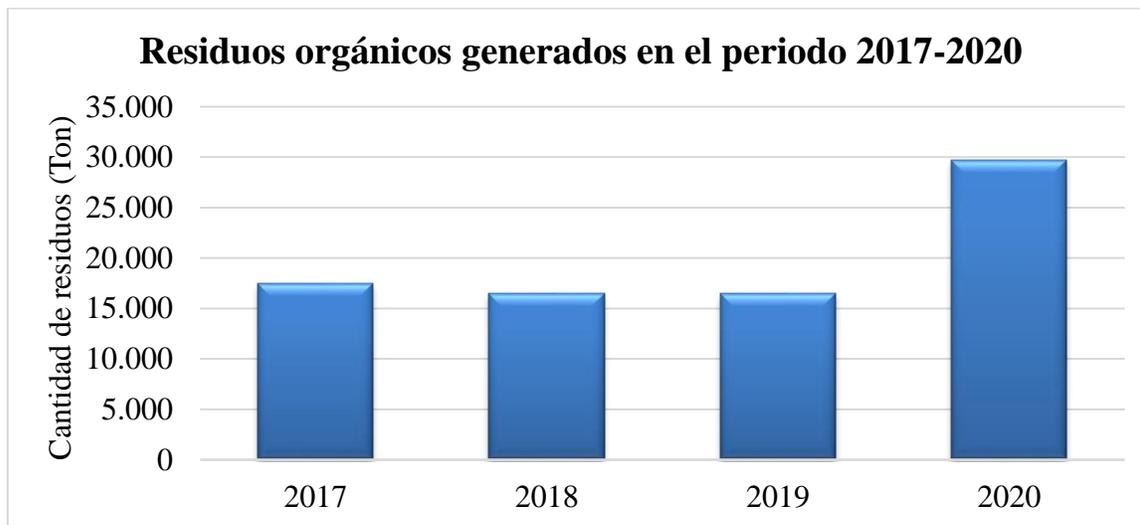
Tabla 14. *Proyecciones de RSO generados en los últimos años*

AÑO	CANTIDAD DE RSO GENERADOS (Ton)	PROMEDIO MENSUAL (Ton)
2017	17.490,6	1.457,55
2018	16.457,4	1.371,45
2019	16.457,4	1.371,45
2020	29.734,5	2.477,88

Fuente. Autoría propia. Adaptado de (Gobernación de Cundinamarca, 2019)

Así mismo como se puede observar en la Gráfica 5, que la recolección de los residuos ha venido aumentando exponencialmente entre el periodo 2017 y 2020, esto se debe principalmente a la inversión que el municipio ha hecho en temas de sostenibilidad ambiental junto con la creación de alianzas para el aprovechamiento de los residuos.

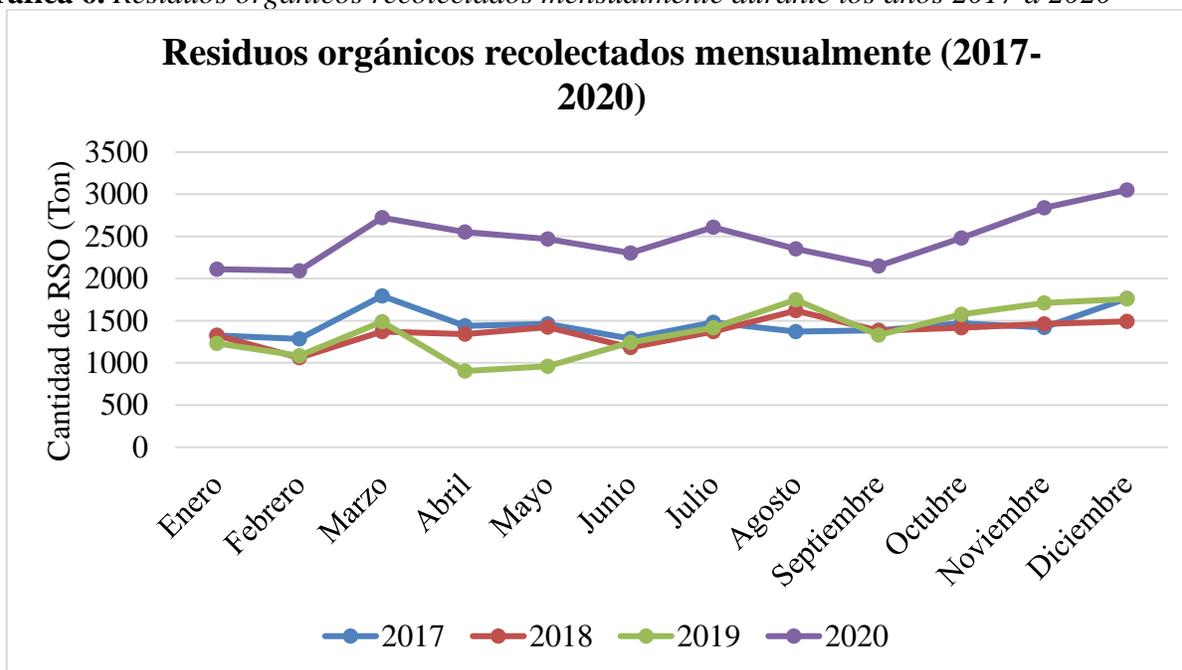
Gráfica 5. *Cantidad de residuos orgánicos generados en el municipio de Zipaquirá*



Fuente. Autoría propia

De acuerdo con la Gráfica 5, la cantidad de residuos orgánicos generados entre el periodo de 2017 a 2019 se ha mantenido constante, sin embargo, para el caso del año 2020 la cantidad de residuos orgánicos producidos creció con una tasa porcentual más alta debido a la contingencia que se ha vivido por la pandemia del COVID-19, ya que en este año se ordenó la cuarentena estricta y gran parte de la población permanecía en sus domicilios aumentando así la cantidad de residuos que se pudiesen disponer. Por consiguiente, en la Gráfica 6 se presentan una revisión de la cantidad de residuos generados de forma mensual durante los años de 2017 a 2020.

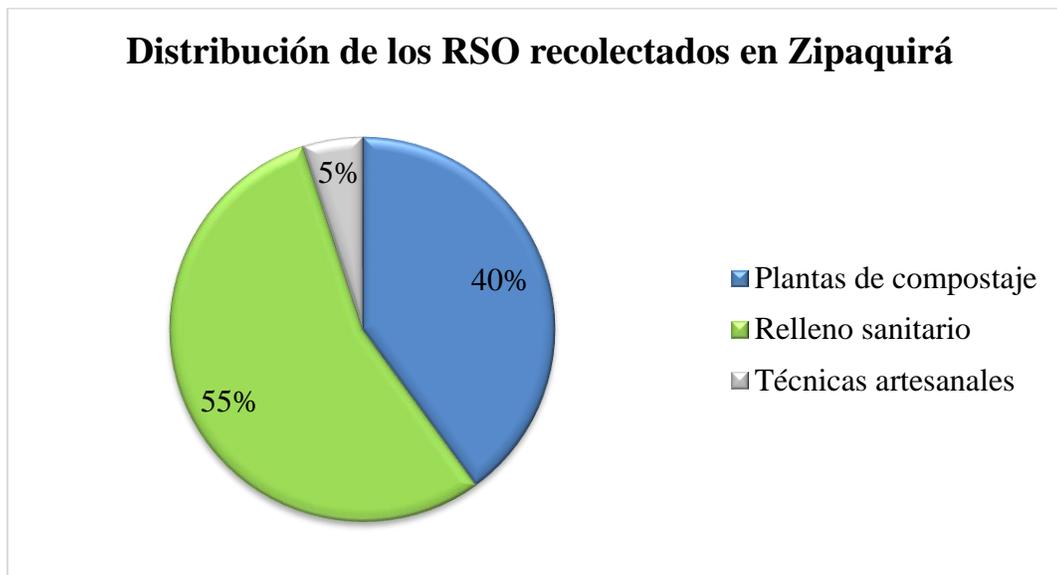
Gráfica 6. Residuos orgánicos recolectados mensualmente durante los años 2017 a 2020



Fuente. Autoría propia

De acuerdo con la Gráfica 6, la cantidad de residuos generados durante los meses de cada año presenta un comportamiento similar, en donde los meses que mayor cantidad de residuos se recolecta son los meses de marzo, agosto y diciembre. Una de las posibles causas de que esto ocurre es que, según el PGIRS del municipio es en estos meses se realizan las revisiones periódicas a la gestión de los residuos por parte de las entidades municipales; permitiéndoles saber si se están cumpliendo las metas establecidas en el PGIRS o sino poder intensificar los programas y proyectos de recolección. Por otra parte, la empresa EAAAZ E.S.P recolecta cerca de 82,596 ton/día, de las cuales cerca del 55% son llevados al relleno sanitario “Nuevo Mondoñedo”, un 40% son dispuestas en plantas de compostaje y el 5% restante son tratados por medio de técnicas artesanales (Ver Gráfica 7).

Gráfica 7. *Porcentaje de distribución de los RSO recolectado en el municipio de Zipaquirá*



Fuente. Autoría propia

Como se puede apreciar en la Gráfica 7, la mayor cantidad de residuos sólidos orgánicos en los últimos años han sido dispuestos en el relleno sanitario “Nuevo Mondoñedo” (Ver Figura 23), esto se debe a que a pesar de que el PGIRS esta actualizado desde el año 2016 tan solo hasta el año 2019 se estableció un proyecto de acción sólido para llevar a cabo una recolección selectiva de los RSO desde la fuente con la colaboración de la población en el municipio.

Figura 23. Ilustración de la distancia de Zipaquirá al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo



Fuente. (Google Earth, 2021)

Así pues, el periodo trascendido entre la actualización del PGIRS y la puesta en marcha del proyecto “Zipaquirá Orgánica”, no ha generado un tiempo de recuperación de la cantidad de residuos orgánicos que se han dispuesto en el relleno sanitario. Como consecuencia de esto no se está cumpliendo de manera adecuada con las metas establecidas en el PGIRS de disminuir el porcentaje de residuos orgánicos llevados al relleno sanitario y empezar a aprovecharlos por medio de técnicas más sostenibles que generen un valor agregado a estos residuos. A continuación, se presenta un análisis DOFA del sistema de gestión actual de los residuos sólidos orgánicos en el municipio de Zipaquirá (Ver Tabla 15)

Tabla 15. *Análisis DOFA de la gestión de residuos orgánicos en el municipio de Zipaquirá*

<p style="text-align: center;">FORTALEZAS</p> <p>Programas para los residuos orgánicos en el PGIRS del municipio</p> <p>EAAAZ es una empresa acreditada en la Gestión de Calidad</p> <p>Aceptación del plan “Zipaquirá orgánica”</p> <p>Implementación de proyectos piloto relacionados con el aprovechamiento de los RSO</p>	<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <p>Bajo porcentaje de la población separa los residuos sólidos orgánicos desde la fuente.</p> <p>Los residuos que no son aprovechados son dispuestos en el relleno sanitario</p> <p>Mínimo aprovechamiento de los residuos</p> <p>Poco vehículo para atender la demanda de la población</p>
<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <p>Establecimiento de políticas municipales para la gestión de los residuos sólidos orgánicos</p> <p>Disposición de los residuos en plantas de compostaje</p> <p>Normativa nacional para la gestión de los residuos orgánicos</p>	<p style="text-align: center;">AMENAZAS</p> <p>Falta de apoyo político de las administraciones futuras</p> <p>Falta de apoyo financiero para tender los proyectos que se requieran</p>

MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ

Fuente. Autoría propia

5.3.2 Análisis de las tecnologías utilizadas para la gestión de residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes

Para el desarrollo de este objetivo, se toma como base el programa de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos establecido en el Plan de gestión Integral del municipio, mediante el programa de Zipaquirá Orgánica que se ha mantenido hasta la fecha con éxito. Por medio de este proyecto la empresa EAAAZ ESP realiza diariamente la recolección de los residuos orgánicos en los diferentes sectores del municipio. Tal como se presenta en la Tabla 16, existen otros sitios de disposición final de los residuos sólidos orgánicos generados en el municipio de Zipaquirá.

Tabla 16. *Sitios de disposición final de los RSO del municipio de Zipaquirá*

MEDIO DE DSIPOSICIÓN FINAL	SITIO DE DISPOSICIÓN	POCENTAJE DE RSO (%)
Relleno Sanitario	Relleno Sanitario “Nuevo Mondoñedo” (Bojacá)	55
Plantas de Compostaje	Ibicol (Tocancipá) Resval SAS ESP (Vía Zipaquirá- Cajicá)	40
Tratamiento por técnicas artesanales	Fincas ganaderas y agropecuarias (Cogua, Ubaté, Nemocón y Zipaquirá)	5
	TOTAL	100

Fuente. Autoría propia

Como se puede apreciar en la Figura 24, la planta de compostaje de Ibicol se encuentra ubicada en el municipio de Tocancipá, generando un aprovechamiento de los residuos orgánico por medio de la producción de compostaje utilizando Sistemas de Compostaje Avanzado (SCA) de la firma internacional Midwest Bio Systems; para el año 2020 se entregaron cerca de 3.498 Ton de residuos

orgánicos (Ibicol, 2021). En cuanto a la planta de compostaje Resval SAS ESP, esta se encuentra localizada en la vía Cajicá- Zipaquirá y se encarga del aprovechamiento de 2.980 Ton de residuos orgánicos del municipio de Zipaquirá a través de la producción de abono por medio del proceso de Compostaje (Resval, 2021).

Figura 24. Localización de los sitios de aprovechamiento de los RSO del municipio de Zipaquirá



Fuente. (Google Earth, 2021)

La formulación de alianzas con plantas que tratan los residuos que genera el municipio le permiten no solo disminuir la alta demanda sobre el relleno sanitario “Nuevo Mondoñedo”, sino también establece la creación de alternativas para su aprovechamiento; además de que se generen

iniciativas de comercialización de productos a partir de los RSO, fomentando los sistemas de economía circular.

Aunque los procesos de compostaje y lombricultura, representan menos del 50% de las técnicas de disposición del municipio son usados con éxito para la descomposición final de los RSO, es posible que el porcentaje de operación de estos sistemas aumente en el municipio si se siguen implementando más proyectos y programas de aprovechamiento de los residuos orgánicos. Para el caso de los residuos aprovechados por compostaje las empresas de Ibicol y Resval SAS ESP, emplean la metodología de compostaje por sistema abierto el cual se recomienda para tratar grandes volúmenes de compost.

Por otra parte, se incentivan los procesos de separación de los residuos desde la fuente por medio de una recolección selectiva de los RSO en el municipio de Zipaquirá por parte de la empresa prestadora del servicio de aseo EAAAZ E.S.P. Además, se establecen equipos formadores dentro del PGIRS del municipio, con el propósito de capacitar y seguir las separaciones de los residuos desde la fuente incluyendo las zonas residenciales, comerciales industriales e institucionales, con lo cual se fortalecen los programas municipales.

5.3.3 Establecimiento del estado financiero en la gestión de los RSO en el municipio de Zipaquirá

Las tarifas del servicio de aseo son actualizadas por la EAAAZ cada año partiendo de un cargo fijo y un consumo básico, para llevar a cabo los servicios de recolección, transporte, tratamiento,

aprovechamiento y disposición final de los residuos orgánicos. Los costos de aprovechamiento varían de acuerdo con la cantidad de RSO generados en los municipios y del sitio de disposición final contemplado en el PGIRS del municipio. De este modo el municipio dispone de los recursos para el aprovechamiento de los residuos orgánicos a partir de los cobros bimensuales a su población. En la Tabla 17 se presentan las tarifas de aprovechamiento que invierte el municipio para el tratamiento de los residuos orgánicos.

Tabla 17. *Tarifas de aprovechamiento para los residuos en el municipio de Zipaquirá*

COMPONENTE	COSTO POR COMPONENTE (\$/Tonelada)				
	2016	2017	2018	2019	2020
Costo de disposición para el tratamiento de los residuos orgánicos (CTR)	115.321,86	120.182,05	126.386,88	133.131,88	138.551,06
Costo de disposición final (CDF)	27.578,21	28.030,48	28.948,57	29.560,17	30.799
Valor base de aprovechamiento (BVA)	142.900,07	148.212,53	155.335,45	162.692,05	169.350,06

Fuente. Autoría propia. Adaptado de (EAAAZ-E.S.P, 2021)

Como se puede evidenciar en la Tabla 17 el valor base de aprovechamiento es influenciado mayormente por los costos de tratamiento de los residuos orgánicos, lo cual puede ser explicado por las tarifas establecidas en la Resolución CRA 720 de 2015. De acuerdo con esa resolución para este tipo de residuos se prioriza los sistemas de tratamiento y aprovechamiento, así pues, los municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas deben generar una mayor inversión de capital con base en los residuos generados.

Por otra parte, para fines de este estudio se determinaron los costos del tratamiento de los RSO en el municipio de Zipaquirá, de acuerdo con la cantidad de residuos que se logran aprovechar (Ver Tabla 18).

Tabla 18. *Costos de aprovechamiento de los RSO en Zipaquirá*

AÑO	RSO APROVECHADOS (Toneladas)	COSTO (\$)
2016	366,912	52.431.724,8
2017	379,512	56.248.433,7
2018	392,736	61.005.823,3
2019	406,642	66.157.420,6
2020	421,284	71.344.470,7
TOTAL		307.187.873,10

Fuente. Autoría propia

De acuerdo con la Tabla 18, el municipio de Zipaquirá ha invertido aproximadamente \$61.437.574,62 por año, para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos; en donde los costos de aprovechamiento van aumentando de manera proporcional a la cantidad de residuos generados.

A pesar de que la ciudad emergente emplea técnicas como el compostaje y la lombricultura que son métodos con bajos costos económicos, los costos para el tratamiento de los RSO en el municipio son altos ya que la mayor cantidad de residuos son dispuestos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo. Como se ha mencionado a lo largo de este estudio este relleno sanitario se

encuentra distante al municipio, lo cual aumenta principalmente los costos del traslado de los residuos, por tal motivo se demanda una mayor inversión con respecto a los demás sitios de disposición final de los residuos (Ver Gráfica 8).

Gráfica 8. *Costos totales por sitios disposición de los RSO*



Fuente. Autoria propia

De acuerdo con la Gráfica 8, el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo en los últimos cinco años ha obtenido \$168.953.330 de pesos por permitir la disposición de los RSO del municipio de Zipaquirá, sin embargo, estos costos no incluyen los procesos de recolección, transporte y disposición en el relleno. Según el PGIRS del municipio debido a la lejanía de este con el relleno sanitario, la mayor cantidad de los costos corresponde al traslado de los residuos, tal como se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. *Costos operacionales para la disposición de los residuos sólidos orgánicos*

DESCRPCIÓN DEL SERVICIO DE ASEO	COSTOS TOTALES 2020 (\$)
Recolección y transporte a sitio de disposición final	\$ 1.287.121.521
Tratamiento y disposición	\$ 482.704.884
Recursos de aprovechamiento	\$ 38.928.525
Aseo domiciliario	\$ 26.325.395
TOTAL	\$ 1.835.080.325

Fuente. Adaptado de (EAAAZ-E.S.P, 2020)

De acuerdo con la Tabla 19 Zipaquirá invierte \$1.835.080.325 para la disposición de sus residuos orgánicos, de los cuales el 60% están destinados para aquellos residuos que son llevados al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo. De este modo y teniendo en cuenta la cantidad de RSO dispuestos para el año 2020, el costo de disposición por tonelada es de \$37.029, el cual debe pagar el municipio para llevar sus residuos al relleno sanitario. Por otro lado, los recursos invertidos para el aprovechamiento de los residuos orgánicos son iguales para el caso de las composteras de Ibicol y Resval SAS ESP, a pesar de que esta última se encuentra más próxima al municipio.

Finalmente, como se ha evidenciado a lo largo de este análisis de la gestión actual de los residuos sólidos orgánicos en los municipios de Chía y Zipaquirá, la mayor cantidad de sus residuos son dispuestos en el relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo el cual se encuentra distante a

los residuos, así como también se requiere empezar a utilizar alternativas de aprovechamiento que faciliten la gestión de los residuos.

5.4 Sistema de gestión estratégica para los residuos sólidos orgánicos de ciudades emergentes

A través de la implementación de un sistema de gestión estratégico como herramienta para la selección de tecnologías de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes, se busca facilitar la toma de decisiones para el desarrollo de objetivos y metas que permitan disminuir los impactos ambientales, sociales y económicos. Ahora bien, el establecimiento de un sistema para la selección de tecnologías de aprovechamiento de los RSO primero contempla las necesidades de la parte interesada y segundo busca avanzar en el desarrollo de sistemas sostenibles mediante el ciclo de vida de los productos.

5.4.1 Selección de tecnologías para el aprovechamiento de residuos orgánicos

Existen diferentes tecnologías que permiten el aprovechamiento de los residuos orgánicos a través de procesos que ofrecen un tratamiento total o parcial de los mismos.

Tabla 20. Descripción de tecnologías para el aprovechamiento de RSO

TECNOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Compostaje	Proceso de degradación de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas en presencia de microorganismos a temperaturas entre los 40°C- 75°C, con el fin de obtener compost. La temperatura es un parámetro que puede variar en el compostaje debido a las condiciones que se deben manejar en las cuatro fases del proceso: Fase mesófila, fase termófila, fase de enfriamiento y fase de maduración	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de los residuos sólidos orgánicos dispuestos en los rellenos sanitarios • Mejoramiento de la composición de los suelos por aporte de nutrientes • Reducción de la contaminación de los suelos y del recurso hídrico, por la baja producción de lixiviados • Asimilación de nutrientes para el desarrollo de las plantas • Disminuye el uso de fertilizantes • Tratamiento de residuos orgánicos a bajos costos 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión en maquinaria e instalaciones adecuadas para el proceso • Disponibilidad del terreno para manejar la amplia cantidad de RSO • Los cambios climáticos pueden afectar el proceso • Disponer de personal para llevar a cabo los procesos
Te de estiércol	Generación de abono líquido a partir del extracto acuoso de estiércol por medio de la fermentación. Las temperaturas son entre los 40°C y 70°C con tiempos de procesos de 1 a 3 meses.	<ul style="list-style-type: none"> • Producto orgánico que puede reemplazar el uso de químicos en los cultivos • Bajos costos de tratamiento • Fortalecimiento de la cantidad de nutrientes en el suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • El producto debe ser empleado 24 horas después de su fabricación • Para grandes volúmenes de materia debe hacerse uso de maquinaria

Continuación de la Tabla 20.

TECNOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Te de Compost	<p>Generación de compost líquido a partir del compost maduro y de estiércol fresco. La temperatura de tratamiento es de 40°C a 75°C, bajo condiciones aerobias. Por otro lado debido a que es un subproducto obtenido del compostaje los tiempos de producción son de 1 a 3 meses.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere de la presencia de personal para que se realice alguna fase del proceso. • Bajos costos de operación • Baja presencia de agentes patógenos e infecciosos • Fortalecimiento de la cantidad de nutrientes en el suelo • Proceso fácil y rápidos periodos de actuación 	<ul style="list-style-type: none"> • La calidad de los productos depende de la calidad de la materia prima • El producto debe ser empleado 24 horas después de su fabricación • Delimitación de equipos de riego
Digestión anaeróbica	<p>Tratamiento de los RSO por medio de un biodigestor (cámara hermética) bajo condiciones anaeróbicas, facilitando la producción de Biol como abono orgánico líquido y biogás como fuente de energía. La temperatura optima de tratamiento es de 25°C a 35°C con tiempos de producción del Biol de 1 a 3 meses.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bajos costos de producción debido a que no se requiere de energía • Producción de energía y composto liquido rico en nutrientes • El biol puede ser utilizado como fertilizante orgánico • Una fuente de tratamiento es la proteína animal • No se generan olores 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuente de proliferación de patógenos sino se trata la materia orgánica de manera optima • Susceptible a los cambios de temperatura • Requiere del suministro constante de materia orgánica • Emisiones de NO₂ y amoniaco

Continuación de la Tabla 20

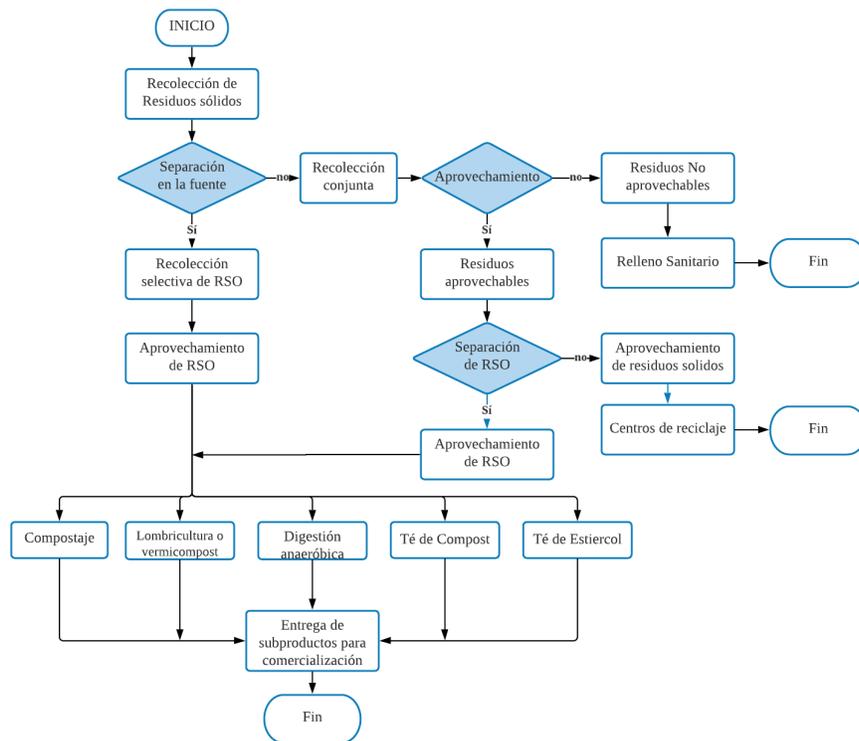
TECNOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Lombricultura o vermicompost	Proceso de ingestión de la materia orgánica por parte de lombrices y microorganismo, los cuales se encargan de transformar los residuos orgánicos en abono. Este proceso se lleva a cabo bajo condiciones aerobias a temperaturas entre los 15°C y 35°C, y tiempos de producción de aproximadamente 3 meses.	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la estabilización de los suelos • Desarrollo de subproductos que pueden ser comercializados • Asimilación de nutrientes para las plantas • No se generan olores ni proliferación de vectores • Recuperación del suelo por el aporte de materia orgánica • Bajos costos de operación 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de espacios para los procesos de aireación • Control de las lombrices, ya que deben adaptarse a los cambios climáticos • Durante el proceso las condiciones de temperatura deben estar acondicionadas para el funcionamiento de las lombrices

Fuente. Autoría propia

Como se puede apreciar en la Tabla 20 existen distintas técnicas para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, sin embargo, las más utilizadas son el tratamiento por compostaje, lombricultura y digestión anaeróbica ya que son técnicas que pueden tratar grandes volúmenes de residuos. Por otro lado, en el caso de las técnicas de té de compost y té de estiércol, son sistemas de aprovechamiento poco comunes debido a que los productos extraídos deben ser empleados en periodos cortos después de su fabricación; por tal motivo se pueden volver opciones no tan rentables en comparación a las demás.

Por otro lado, en la Figura 26 se puede apreciar el diagrama de procesos para un sistema de gestión de los residuos sólidos orgánicos.

Figura 26. Diagrama de procesos para la gestión de residuos orgánicos



Fuente. Autoría propia

Ahora bien, la mayoría de los sistemas de tratamiento para los residuos orgánicos son empleados por sus bajos costos de operación, además de que se obtienen algunos subproductos que pueden ser comercializados y generan un valor agregado a la técnica de aprovechamiento. De esta manera, la mayoría de las veces la toma de decisiones en cuanto a que tecnología emplear se ve influenciado por el esfuerzo financiero que se debe realizar para el aprovechamiento de estos. En la Tabla 21 se pueden apreciar los costos por cada uno de los tipos de tecnologías utilizadas para el aprovechamiento de estos residuos orgánicos.

Tabla 21. *Costos de producción por tipo de tecnología*

TECNOLOGIA	COSTO (\$/ 1 ton)
Compostaje	4.129,24
Lombricultura o vermicompost	12.064,84
Digestión anaeróbica	632,38
Te de compost	632,38
Te de estiércol	632,38

Fuente. (Umbarila, 2019)

De acuerdo con la Tabla 21, la tecnología que tiene un costo de producción más alto es el sistema de lombricultura o vermicompost, lo cual se debe a la utilización de lombrices para el tratamiento de los residuos orgánicos; estos organismos demandan condiciones de mayor calidad para su desarrollo en comparación con las demás técnicas, en donde la materia orgánica se transforma por acción propia. Por otro lado, la digestión anaeróbica y el té de compost requieren de abono obtenido a partir de la aplicación del proceso de compostaje en donde los costos de

producción son bajos. En cuanto al té de estiércol no se demanda de una inversión significativa debido a que su proceso de transformación se adapta a las condiciones del medio, por lo cual no hay que acondicionar los residuos a la tecnología.

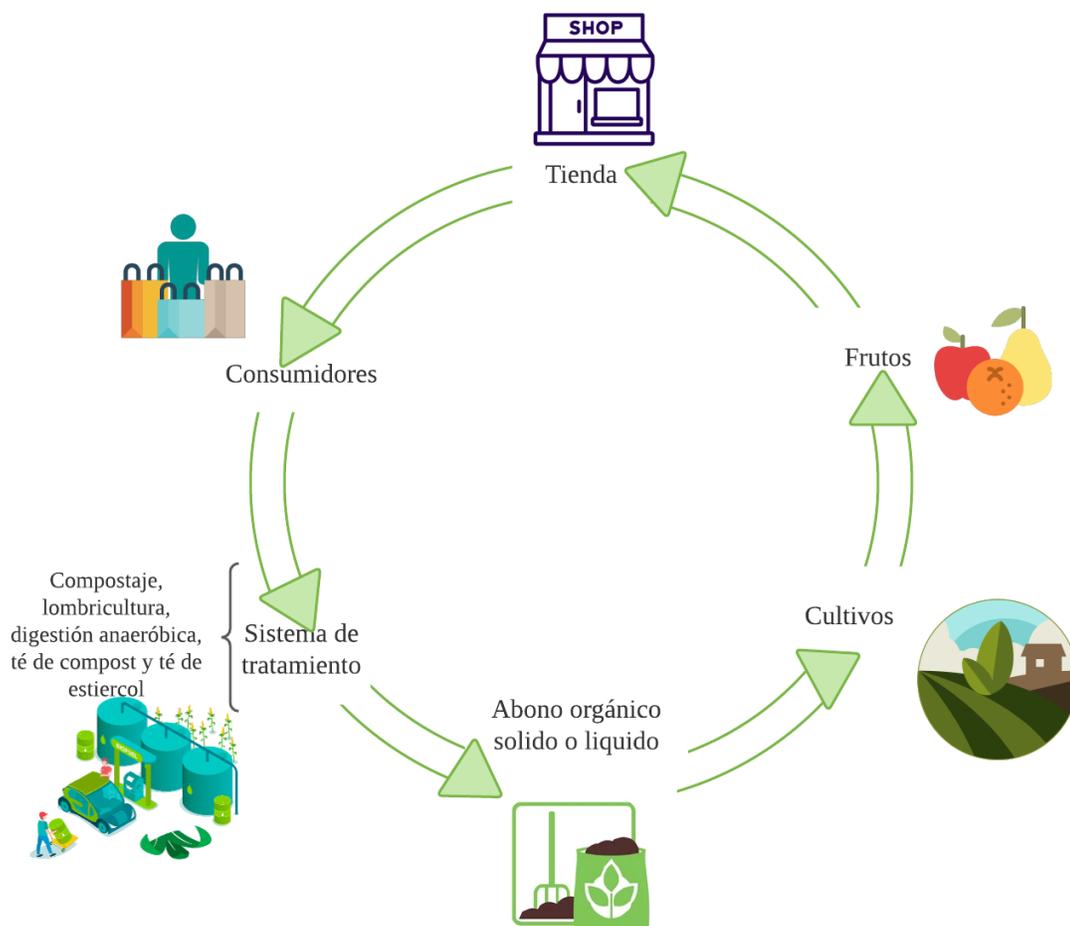
5.4.2 Presentación de un sistema innovador

La gestión de los residuos orgánicos bajo sistemas sostenibles y sustentables no solo genera impactos ambientales positivos sino también económicos y sociales para el desarrollo de los objetivos y metas de una organización, buscando hacer una transición en la forma del manejo de los residuos. De este modo, se introduce el término de economía circular como alternativa de transformación de productos, materias y recursos en un ciclo cerrado, con el fin de lograr mantener el ciclo de vida de un producto durante la mayor cantidad de tiempo posible.

La implementación de un sistema de economía circular con lleva a la obtención de beneficios económicos, ambientales y sociales, estableciendo el fortalecimiento organizacional por la puesta en marcha de tecnologías de aprovechamiento de los residuos. De esta manera, el desarrollo de proyectos basados en los principios de una economía circular para la gestión de residuos orgánicos en ciudades emergentes puede ocasionar un efecto significativo en la gestión de costos, incorporando valor agregado y ahorro de materias primas.

A continuación, se presenta de forma general el sistema para una economía circular en el aprovechamiento de los residuos orgánicos (Ver Figura 27).

Figura 27. *Proceso de economía circular para los residuos orgánicos*



Fuente. Autoría propia

La puesta en marcha de un sistema de economía circular en ciudades emergentes contribuye a la mejora de los ingresos locales, sustituyendo los sistemas de economía lineal en donde se disponen los residuos orgánicos en plantas de aprovechamiento privadas o en rellenos sanitario, este último sin ningún tipo de tratamiento. En la mayoría de los casos las plantas de aprovechamiento retribuyen económicamente a las ciudades emergentes, por la comercialización de los productos obtenidos a partir de sus residuos.

Así las cosas, el desarrollo de un sistema de gestión estratégico para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes estudiadas contempla la aplicación de los principios de la economía circular dentro de cualquiera de las tecnologías seleccionadas por la parte interesada, aportando además a la creación de una herramienta de aprovechamiento en busca de soluciones económicas y ambientales para potenciar el ciclo de vida de un producto. De igual manera se podrá dar apertura a un modelo de mercado económico circular, el cual aporta algunos beneficios como los descritos a continuación.

- Disminución de los residuos sólidos orgánicos en rellenos sanitarios
- Reducción de costos de materia prima y en gastos energéticos
- Generación de empleos para el desarrollo local de las ciudades emergentes, debido a la necesidad de implementar nuevas actividades y modelos de negocios
- Atracción de fuentes de financiación a nivel nacional e internacional, que sirvan de apoyo económico para el establecimiento de proyecto o programas a favor del ambiente.
- Disminución de los costos de tratamiento de las ciudades emergentes por parte de empresa privadas para el aprovechamiento de los residuos
- Creación de fuente de energía renovable que sustituyan la utilización de energía fósiles
- Contribución al desarrollo de zonas rurales, por medio del fortalecimiento de economías locales y regional que favorezcan el desarrollo agrícola.
- Comercialización de subproductos obtenidos de las tecnologías de aprovechamiento

5.4.3 Sistema de acopio

Los procesos de recolección y transporte de los residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes evaluadas, demanda de una gran inversión por parte de las entidades municipales. Por lo cual para la puesta en marcha de un sistema que no solo disminuya los costos de producción con nuevas tecnologías, se hace necesario la búsqueda de alternativas que también reduzcan los costos de recolección y transporte de los residuos.

De esta manera, debido a que el sistema de gestión estratégica pretende que los municipios de Chía y Zipaquirá implementen plantas de aprovechamiento de sus RSO que sean manejados directamente por sus entidades municipales, se hace una revisión a los costos de recolección y transporte de diferentes empresas de servicio de aseo como se puede apreciar en la Tabla 22, teniendo como criterio de evaluación que los residuos sean aprovechados y dispuestos dentro de sus zonas aledañas, es decir, se contemplaron tarifas por recorrido dentro de la ciudad o municipio donde se presta el servicio de aseo.

Tabla 22. *Tarifas de recolección y transporte de residuos año 2021*

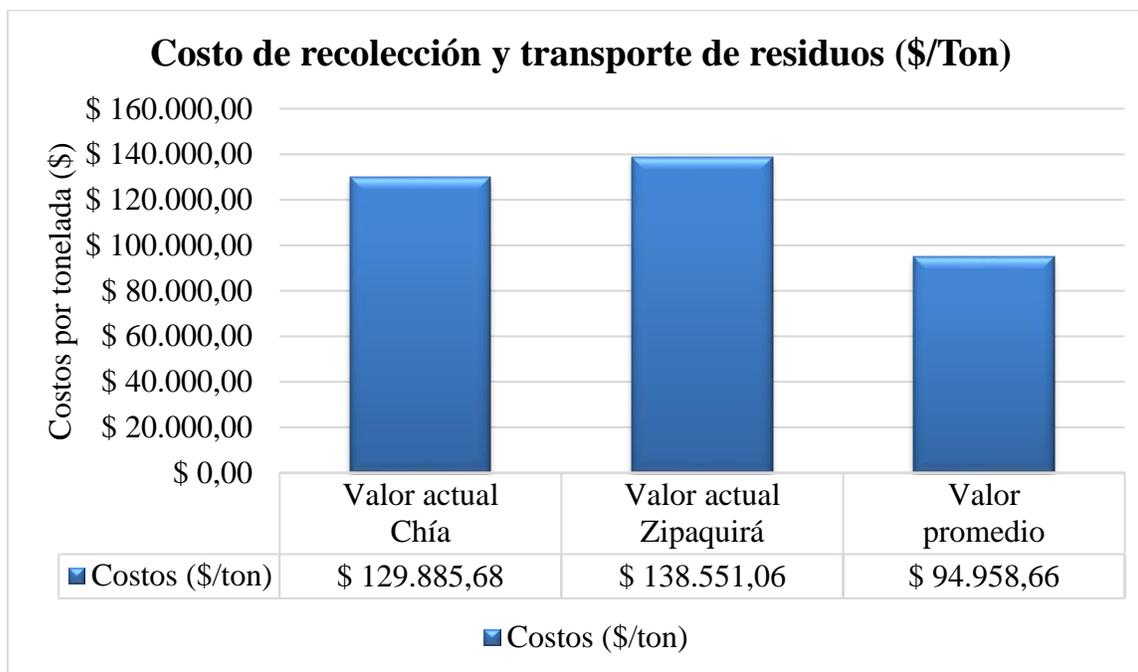
EMPRESA DE ASEO	TARIFA (\$/ 1 ton)
Lime	71.046,48
Ciudad limpia	82.113
Área limpia	104.256,70
Bogotá limpia	96.458,20
EMVARIAS	136.669,29
EMAS	59.096
EPC Cajicá	115.071
VALOR PROMEDIO	94.958,66

Fuente. Autoría propia

Como se puede apreciar en la Tabla 22 los costos de recolección varían dependiendo de las empresas prestadora de servicio de aseo para cada región del país, sin embargo, las tarifas son reguladas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), quien establece el cobro aproximado de las tarifas del servicio público de aseo de acuerdo con las resoluciones CRA 351 y 352 de 2005. Así pues, para el caso de recolección y transporte de los residuos, los costos varían dependiendo de la distancia del recorrido y los lugares para la disposición de estos. De este modo se identificó que el cobro que realiza las empresas depende de la extensión de los recorridos.

Con base en lo anterior y los datos recolectados de diferentes empresas de aseo se realizó un promedio del valor de las tarifas por los procesos de recolección y transporte, obteniendo así un valor promedio de \$94.958,66 por tonelada recolectada. En la Gráfica 9 se pueden apreciar los costos actuales en la recolección y transporte de los residuos sólidos orgánicos en los municipios de Chía y Zipaquirá, así mismo se realiza una comparación con el costo propuesto calculado anteriormente.

Gráfica 9. Costos de recolección y transporte de los residuos sólidos orgánicos



Fuente. Autoría propia

Como se puede apreciar en la Gráfica 9, el costo de la tarifa propuesta es menor a los costos actuales que manejan los municipios de Chía y Zipaquirá para los procesos de recolección y transporte de sus residuos orgánicos. Esto se debe a que los valores actuales contemplan el transporte de los residuos hasta plantas de aprovechamiento externas y distantes a los municipios, sin embargo, como la tarifa propuesta calculada tiene en cuenta la puesta en marcha de una planta de aprovechamiento dentro del área de cada uno de los municipios, los costos de transporte se reducirían, generando un ahorro de casi el 30% de los recursos que son invertidos para estos procesos en la gestión de los residuos orgánicos.

5.4.4 Procedimiento para la toma de decisiones en el sistema de gestión estratégico

A través de la implementación de una herramienta gerencial como modelo de gestión de los residuos orgánicos en las ciudades emergentes, de acuerdo con la muestra de estudio evaluadas (Chía y Zipaquirá), se podrán tomar decisiones que disminuyan los impactos ambientales, sociales y económicos.

A lo largo de esta investigación se ha podido evidenciar los sistemas de tratamiento de residuos orgánicos que manejan actualmente las ciudades emergentes de Chía y Zipaquirá, así mismo se ha identificado la gran inversión que ellos realizan para la gestión de sus residuos. De este modo con la puesta en marcha de una planta de aprovechamiento de los residuos orgánicos se prevé disminuir dichos costos, además de generar valor agregado a los residuos.

Con base en lo anterior en la Tabla 23 se presenta una proyección de los costos de producción por cada tipo de tecnología identificada en la presente investigación, teniendo en cuenta la cantidad de residuos orgánicos recolectados en el último año evaluado (2020). De igual manera se consideró el valor promedio previamente calculado de \$94.958,66 por tonelada recolectada y transportada.

Tabla 23. Costos por tecnología aplicada a las ciudades emergentes de estudio

TÉCNICA	SERVICIO DE ASEO	COSTOS DE SERVICIOS			COSTOS TOTALES PROYECTADOS	
		COSTOS POR TONELADA (\$/ton)	COSTOS PROYECTADOS		CHÍA (\$)	ZIPAQUIRÁ (\$)
			CHÍA (\$)	ZIPAQUIRÁ (\$)		
Compostaje	Transporte y recolección	94.958,66	295.342.756,34	295.342.756,34	427.878.972,6	418.114.442,34
	Tratamiento	4129,24	132.536.216,28	122.771.686		
Lombricultura o vermicompost	Transporte y recolección	94.958,66	295.342.756,34	295.342.756,34	682.560.964,3	654.053.732,34
	Tratamiento	12.064,83	387.218.208	358.710.976		
Biodigestor anaeróbico	Transporte y recolección	94.958,66	295.342.756,34	295.342.756,34	315.628.060,3	314.145.942,34
	Tratamiento	632,38	20.285.304	18.803.186		
Te de compost	Transporte y recolección	94.958,66	295.342.756,34	295.342.756,34	315.628.060,3	314.145.942,34
	Tratamiento	632,38	20.285.304	18.803.186		
Té de estiércol	Transporte y recolección	94.958,66	295.342.756,34	295.342.756,34	315.628.060,3	314.145.942,34
	Tratamiento	632,38	20.285.304	18.803.186		

Fuente. Autoría propia

De acuerdo con la proyección de los costos de inversión de la Tabla 23, la implementación de plantas de aprovechamiento disminuirá considerablemente los recursos invertidos actualmente por las ciudades emergentes. Así mismo se puede observar que para todas las tecnologías los costos de transporte son iguales, ya que únicamente se consideró el traslado de los residuos a la planta de aprovechamiento. Por otro lado, en cuanto a los costos de producción, la lombricultura requiere de una mayor inversión, mientras que las técnicas de té de compost, té de estiércol y digestión anaeróbica son sistemas que trabajan por medios propios, es decir que no requieren de organismos que traten los residuos, lo cual genera que los costos de producción sean inferiores.

En la Tabla 24 se presenta aproximadamente cuanto es el ahorro de los municipios con respecto a los sistemas de disposición final utilizados actualmente en relación con cada una de las tecnologías planteadas anteriormente. Para ello es necesario tener presente que el costo de inversión al año 2020 de Chía y Zipaquirá, fue de \$ 1.477.068.943,90 y \$ 1.101.048.195, respectivamente.

Tabla 24. *Costos ahorrados por la implementación del sistema propuesto*

TÉCNICA	AHORRO (\$)		AHORRO (%)	
	CHÍA	ZIPAQUIRÁ	CHÍA	ZIPAQUIRÁ
Compostaje	\$1.049.189.971,3	\$ 682.933.752,60	71%	62%
Lombricultura o vermicompost	\$794.507.979,6	\$ 446.994.462,60	54%	41%
Biodigestor anaeróbico	\$1.161.440.883,6	\$786.902.252,60	79%	71%
Té de compost	\$1.161.440.883,6	\$786.902.252,60	79%	71%
Té de estiércol	\$1.161.440.883,6	\$786.902.252,60	79%	71%

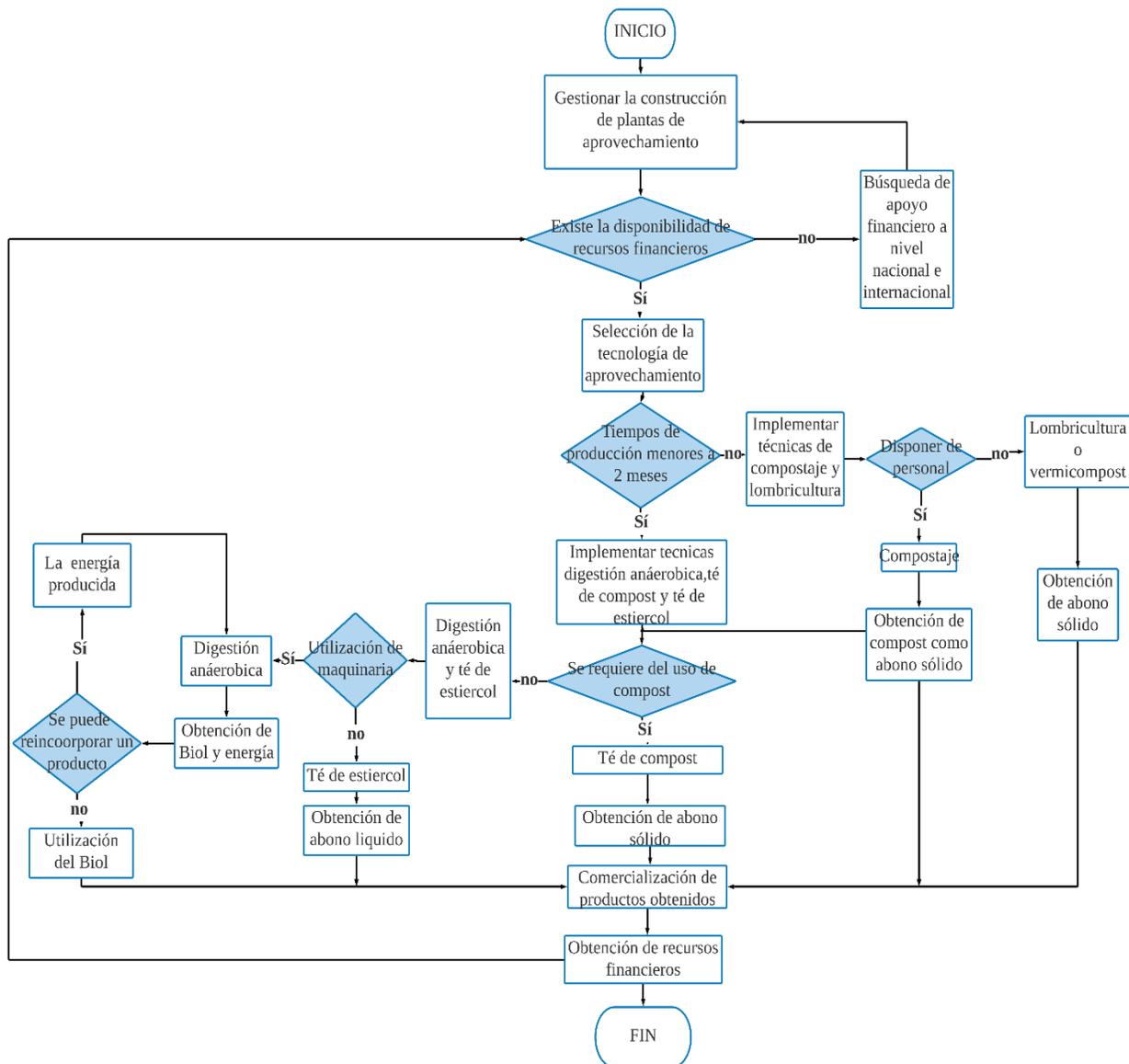
Fuente. Autoría propia

Como se puede apreciar en la Tabla 24 el ahorro en ambos municipios por la puesta en marcha de nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos orgánicos es considerablemente alto, siendo los procesos de biodigestión anaeróbica, té de compost y té de estiércol los que reducen más la inversión realizada, sin embargo como se ha mencionado a lo largo de este estudio estos tres tratamientos no pueden tratar grandes volúmenes de residuos, por ello ya dependería de las necesidades de los municipios para su aplicación. Por otro lado, las tecnologías de compostaje y lombricultura son dos alternativas que también reducen los costos en un menor porcentaje, pero a pesar de esto son sistemas de aprovechamiento con capacidad de tratar grandes volúmenes de residuos, así pues, se puede considerar que, por la cantidad de residuos generados en las dos ciudades emergentes estudiadas, serían sistemas con una mayor eficiencia frente a los demás.

La puesta en marcha de estas tecnologías contempla un sistema de gestión basado en un modelo economía circular en donde los residuos son aprovechados y comercializados. Este nuevo sistema se basa en una recolección selectiva desde la fuente de los residuos, para ello es necesario que se lleven a cabo campañas que capaciten y concienticen a los habitantes de los municipios en el correcto manejo de los RSO. En el caso del transporte, será necesario reorganizar las rutas actuales con el fin de cubrir al 100% las zonas rurales y urbanas de cada uno de los municipios, así mismo se requiere que las empresas del servicio público de aseo trasladen los residuos a las plantas de aprovechamiento en horarios específicos para evitar generar la proliferación de vectores.

Con el fin de facilitar la toma de decisiones a las entidades territoriales encargadas de la gestión de residuos en lo que respecta a la selección de la tecnología a utilizarse en el aprovechamiento de los RSO, se ha diseñado siguiente procedimiento como se ilustra en la Figura 28.

Figura 28. Diagrama de procesos para la toma de decisiones de las alternativas de tratamiento de residuos orgánicos



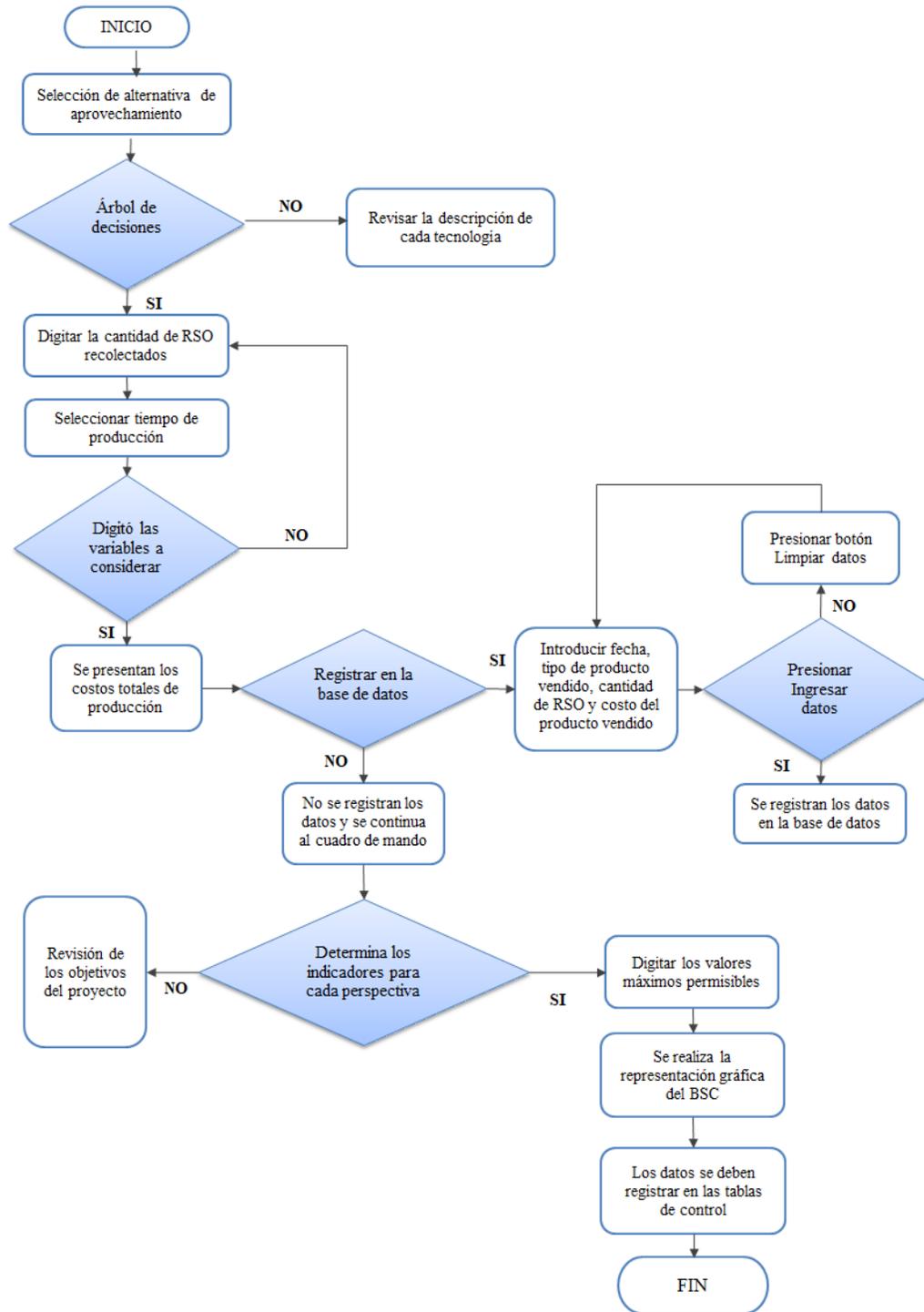
Fuente. Autoría propia

Con base en la Figura 28, se puede denotar que para la toma de decisiones se debe tener en cuenta dos factores, el primero la disponibilidad de recursos para invertir en sistemas de aprovechamiento de los RSO, de no ser así es necesario que se busquen fuentes de financiación a nivel nacional e internacional que permitan la implementación de programas y proyectos en búsqueda de gestionar sistemas estratégicos. El segundo factor relevante es el tiempo, la obtención de algunos productos varía dependiendo de la tecnología seleccionada; la mayoría de estas alternativas obtiene compost sin embargo este producto obtenido a partir del compostaje y lombricultura es un producto que demanda de mayores tiempos de producción, a pesar es el de mejor calidad con respecto a las demás técnicas en donde los tiempos son menores.

Una vez identificados esos dos factores, la parte interesada podrá seleccionar una de las tecnologías propuestas con base en sus necesidades. Para ello en el ANEXO 1 se desarrolló una herramienta para la toma de decisiones evaluando las diferentes tecnologías que se podrían emplear de acuerdo con la disponibilidad de los recursos a invertir, en la Figura 29 se puede apreciar un explicativo de cuáles son los pasos para seguir para el adecuado uso de la herramienta.

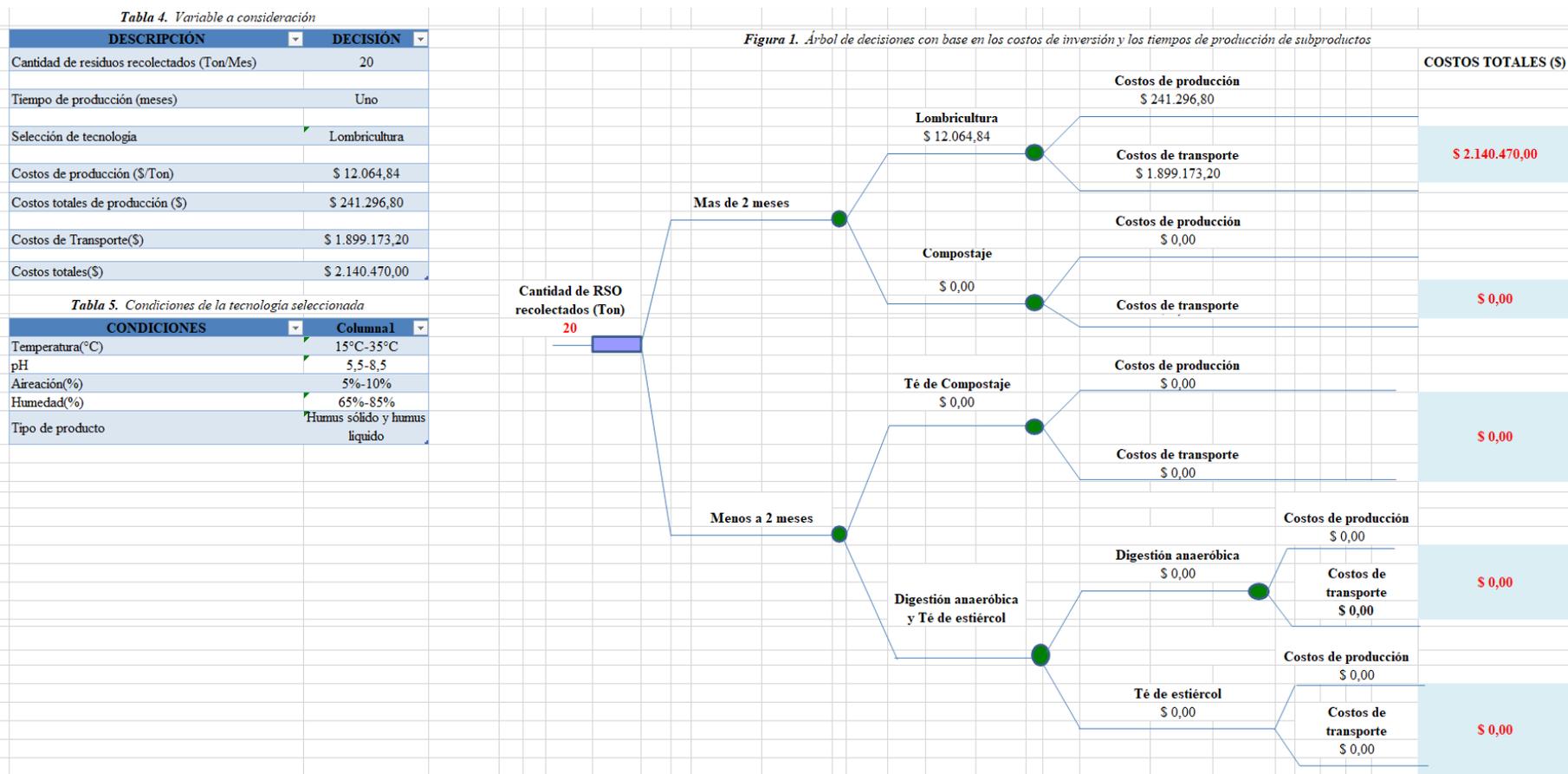
Este modelo consta primero de un árbol de decisiones basado en los costos de inversión y los tiempos de producción de los subproductos, para lo cual es necesario que la parte interesada seleccione una tecnología de aprovechamiento, así mismo el modelo presenta las condiciones óptimas para el buen desarrollo de la técnica empleada.

Figura 29. Flujograma instructivo para el uso de la herramienta



En la Figura 30 se presenta una simulación de la herramienta desarrollada para la toma de decisiones.

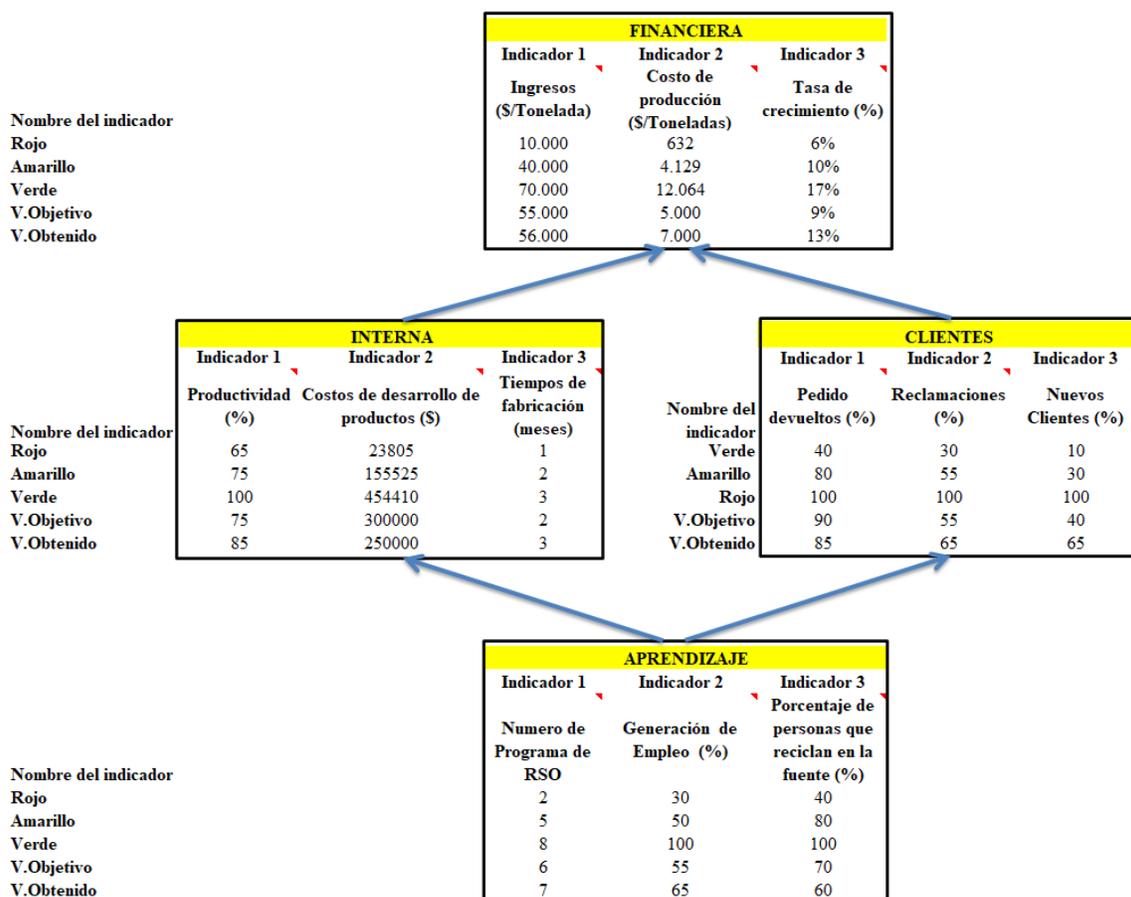
Figura 30. Visualización de la herramienta para la toma de decisiones



Fuente. Autoría propia

De igual manera una vez desarrollado el proyecto es importante que la administración de la organización en cabeza por el gerente evalúe el desarrollo de las plantas de aprovechamiento para los residuos orgánicos. Pensando en esto, la herramienta también consta de la metodología del Balanced Scorecard a partir del cumplimiento de la dinámica integral en las cuatro perspectivas (Financiera, cliente, procesos internos y aprendizaje). En la Figura 24 se presenta una simulación de la herramienta desarrollada, cabe mencionar que los valores que se presentan a continuación pueden variar dependiendo de las necesidades de cumplimiento de la parte interesada.

Figura 31. Visualización del Balanced Scorecard



Fuente. Autoría propia

Como se puede apreciar en la Figura 24 cada una de las cuatro perspectivas comprende unos indicadores de cumplimiento los cuales son definidos por la parte interesada. Para esta visualización se contemplaron tres indicadores por cada perspectiva, los cuales fueron definidos con base en los objetivos estratégicos asociados al proyecto. Así mismo para facilitar el seguimiento del sistema de gestión se desarrolló un dashboard permitiendo cuestionar los valores obtenidos de acuerdo con un valor objetivo. Este dashboard permite evaluar el grado de cumplimiento de las metas del proyecto, generando un monitoreo constante y frecuente para de cada uno de los indicadores.

Para ello el dashboard, emplea la serie de colores de un semáforo los cuales indican los rangos máximos permisibles de cumplimiento, cada color tiene un significado diferente, en el caso del color verde el indicador presenta un nivel de aceptación alto lo cual indica que el valor obtenido es igual o superior al valor objetivo, el color amarillo representa que el indicador tiene un nivel de aceptación medio con lo que se quiere decir que el valor obtenido es igual al valor máximo permisible pero inferior al valor objetivo y finalmente el color rojo representa que el indicador tiene un nivel de aceptación bajo es decir el valor obtenido es inferior al valor objetivo.

En la Figura 32 se presenta la representación gráfica del Balanced Scorecard como herramienta para la evaluación de las metas establecidas por cada uno de los indicadores considerados.

Figura 32. Graficas del BSC por cada perspectiva



Fuente. Autoría propia

Finalmente, en la Tabla 25 se puede apreciar diferentes fuentes de financiación a nivel nacional e internacional para la implementación de proyectos y programas piloto a favor del desarrollo de la sociedad y del ambiente. Las líneas de crédito de las siguientes entidades brindan apoyo para la ejecución de iniciativas que mitiguen principalmente los impactos sobre el cambio climático, sin descuidar las necesidades de la sociedad; siendo una herramienta de trámite para la construcción de sistemas estables y duraderos en relación con las acciones propias de la gerencia de proyectos.

Tabla 25. *Fuentes de financiación para proyecto en materia ambiental y social*

	NOMBRE DE LA ENTIDAD FINANCIERA	DESCRIPCIÓN
1	Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	“Es la principal fuente de financiamiento para el desarrollo de América Latina y el Caribe” (BID, 2021)
2	Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO)	“Es un mecanismo de cooperación para promover ciencia, desarrollo e innovación en la agricultura y alimentación para América Latina y el Caribe” (FONTAGRO, 2021)
3	Fondo de inversión noruego para países en desarrollo (Norfund)	“Es un fondo de inversión de Noruega para países en vía de desarrollo”(Norfund, 2021)
4	Alianza global contra el cambio climático para estados insulares en desarrollo y países menos desarrollados (GCCA)	“Apoya los esfuerzos de adaptación, mitigación y reducción del riesgo de desastres para desarrollar la resiliencia al cambio climático” (GCCA, 2021)
5	Red de conocimiento sobre clima y desarrollo (CDKN)	“Es un programa global que trabaja en África, Asia y América Latina para mejorar la calidad de vida de los

		más pobres y vulnerables al cambio climático” (CDKN, 2021)
6	Fondo PNUD	“Fuentes de financiación del sistema de las Naciones Unidas para el desarrollo a nivel mundial, regional y, en su mayor parte, a nivel nacional a favor de la sociedad y el medio ambiente” (PNUMA, 2021)
7	Fondo Colombia sostenible	“Es un programa que apoyará la implementación de proyectos productivos sostenibles y proyectos de conservación ambiental en las zonas afectadas por la violencia” (Colombia sostenible, 2021)

Fuente. Autoría propia

5.4.5 Ganancias del proyecto

La implementación de plantas de aprovechamiento de RSO en las ciudades emergentes estudiadas generara un valor agregado a los residuos orgánicos a través de la obtención de subproductos que pueden ser comercializados en el mercado. En tal sentido se debe considerar productos innovadores que logren posicionarse en un mercado competitivo, en donde la comercialización permita que los municipios generen recursos para satisfacer las necesidades de la población. Así mismo es necesario la creación de alianzas con empresas que pueden comercializar los productos obtenidos en la planta.

En la Figura 33 se puede apreciar la cadena de distribución propuesta para la comercialización de los productos obtenidos en la planta de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en cada uno de los municipios de Chía y Zipaquirá.

Figura 33. *Cadena de distribución*



Fuente. Autoría propia

Para la venta del abono orgánico obtenido en las plantas de aprovechamiento de cada una de las ciudades emergentes, se proponen un canal de distribución que consistirá en entregar la mayor cantidad de fertilizante a diferentes distribuidores con los que se creen alianzas para que ellos mismos sean los encargados de comercializar el producto a los agricultores como clientes finales de esta cadena. Así mismo se establece que la misma planta de aprovechamiento cuente con vehículos para prestar el servicio de traslado de los productos a los centros de comercialización. Para los sistemas de marketing, se deben promocionar los diferentes productos obtenidos por medio de páginas en línea dando a conocer que los residuos orgánicos pueden tener un valor agregado.

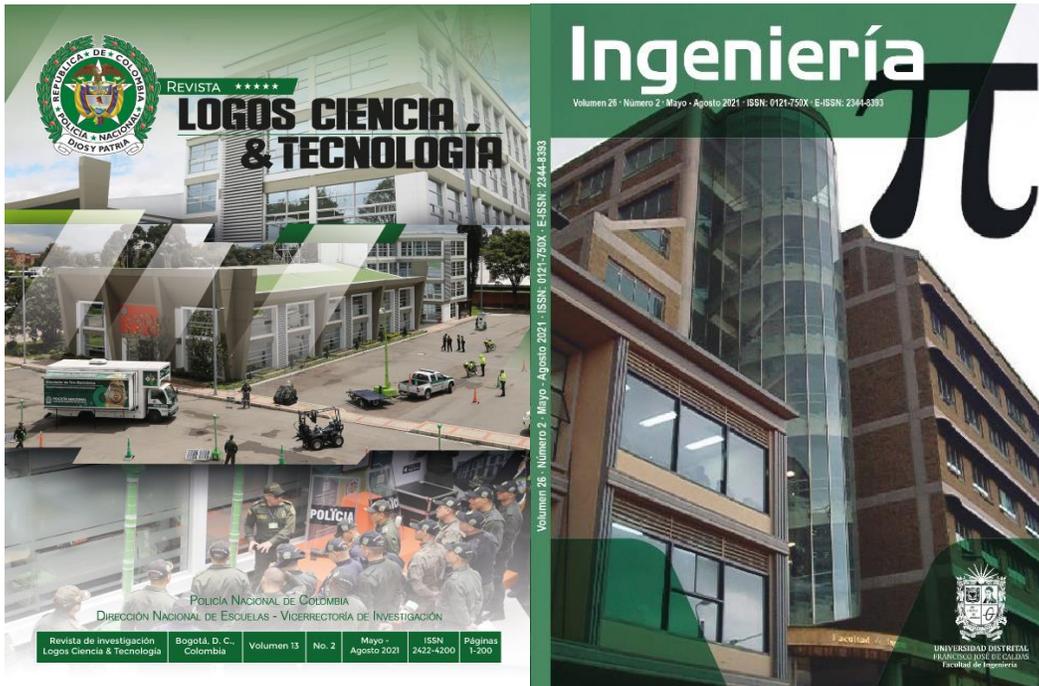
En cuanto a los precios que se ofrecerán por los productos, se deberá realizar un estudio de mercado más a fondo, en donde se tenga en cuenta a la competencia y las necesidades de los clientes. Además, se plantea que, en el caso de las ciudades emergentes estudiadas, se tome como referencia los valores comerciales de las actuales empresas que tratan y comercializan los residuos orgánicos que se mencionan anteriormente.

5.5 Aportes de la investigación

Es pertinente señalar que, en el desarrollo de esta investigación de maestría se llevaron a cabo importantes aportes en divulgación académica para el fortalecimiento de la gestión de residuos sólidos orgánicos, estableciendo en primer lugar el sometimiento de dos (2) artículos derivados de la investigación en revistas de interés científico como se describe a continuación el primer artículo

titulado “ Incidencia del crecimiento demográfico y económico en la gestión de residuos sólidos” sometido en la ISSN Impreso 2145-549X y e-ISSN 2422-4200 con clasificación en Publindex en categoría C y el segundo artículo titulado “Gestión de residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes bajo un enfoque gerencial estratégico” sometido en la revista de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con ISSN Impreso 0121-750X y e-ISSN 2344-8393 con clasificación en Publindex en categoría B. En la Figura 34 se contextualizan las revistas donde se realizaron los sometimientos de los artículos.

Figura 34. Portadas de las revistas donde se realizaron los sometimientos de los artículos.



Fuente. (Policia Nacional de Colombia, 2021) &

(Universidad Distrital, 2021)

Los cuales aportan a promover la creación de publicaciones de cooperación, intercambio y comunicación acerca de la problemática en estudio, mediante procesos de información, formación, investigación, participación y gestión de los residuos orgánicos en Colombia, con el propósito de contribuir al desarrollo científico y tecnológico.

Finalmente se participó con una ponencia en el 5° Congreso Nacional y 1° Congreso Internacional de Ciencias Ambientales celebrado el pasado 22 al 24 de septiembre de 2021, la participación se realizó en el eje temático de Territorio el cual tuvo como objetivo el conocer los avances para enfrentar la inadecuada distribución de la tierra, el acceso inequitativo a los recursos naturales, el efecto que genera el desarrollo de grandes proyectos de infraestructura, el centralismo y la globalización en las comunidades sociales y ecosistemas, donde se realizó la ponencia titulada “Gestión de residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes bajo un enfoque gerencial estratégico”. A continuación, se muestra en la Figura 35 evidencias de la participación en la ponencia y memorias del evento.

Figura 35. Evidencias de participación en el 5 Congreso Nacional y 1 Congreso Internacional de ciencias ambientales





“GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN CIUDADES EMERGENTES BAJO UN ENFOQUE GERENCIAL ESTRATÉGICO”

1. Ing. Julián Andrés Afanador Rivera
2. Ing. Oscar Javier Bernal López

1 Ingeniero Industrial, Estudiante Maestría en Gerencia de Proyectos, est.julian.afanador@unimilitar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2444-5077> Facultad de Ingeniería Campus, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Grupo de Investigación GREST

2 Magister en Ciencias Ambientales, Docente Planta Facultad de Ingeniería Campus, oscar.bernal@unimilitar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-9752-1835> Facultad de Ingeniería Campus, Universidad Militar Nueva Granada, Colombia. Grupo de Investigación GREST

Eje temático Territorio – 22 de septiembre de 2021




GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN CIUDADES EMERGENTES BAJO UN ENFOQUE GERENCIAL ESTRATÉGICO

Eje Temático Territorio

La evaluación de la gestión de residuos sólidos urbanos genera graves consecuencias ambientales, sociales y de salud pública, que son una gran barrera para el crecimiento y el desarrollo de las ciudades. La gestión de residuos sólidos, se hace más compleja en aquellos gobiernos de ciudades en constante crecimiento demográfico y económico. Se denominan “ciudades emergentes” las cuales, se caracterizan por tener una población de entre 100 mil y 2 millones de habitantes. Ellos son aún producto de un urbanismo flexible, que responde a condiciones cambiantes y son vulnerablemente débiles, como para albergar economías verticales y ecologías multidimensionales. Debido a su crecimiento exponencial son percibidos como ciudades en movimiento, como construcciones tridimensionales de desarrollo incremental. Son ciudades que, constantemente, se modifican y se reinventan a sí mismas, ansiosas por desplegar su potencial. El mayor desafío que enfrentan los sistemas municipales de gestión de residuos es la falta de recursos técnicos y financieros, dedicados crítica y exclusivamente a mejorar la gestión de los residuos. Claramente, la falta de fondos gubernamentales, los tarifas bajas que no cubren completamente los costos, los tarifas que no se hacen cumplir y la escasez de datos sobre el costo real de aplicar nuevas tecnologías, conduce al deficiente tratamiento de los residuos. El objetivo de esta investigación es analizar el impacto de la gestión de residuos sólidos en ciudades emergentes y comparar los diferentes sistemas utilizados para el tratamiento de los residuos, partiendo del análisis documental y la descripción analítica de los sistemas aplicados, se generarán espacios de discusión, con el fin de consolidar y promover la implementación de técnicas y sistemas estratégicos de gestión de residuos, que contribuyan a la diversificación de los impactos que genera la gestión de los residuos sólidos urbanos.

Julián Andrés Afanador Rivera,
Oscar Javier Bernal López

Palabras Clave: Residuos orgánicos, Ciudades emergentes, Estratégico

Institución: Universidad Militar Nueva Granada

País: Colombia

E-mail: est.julian.afanador@unimilitar.edu.co, oscar.bernal@unimilitar.edu.co

SUMMARY

Inadequate municipal solid waste management generates serious environmental, social and public health consequences that are a major barrier to the growth and development of cities. Solid waste management becomes more complex in those governments of cities in constant demographic and economic growth called “emerging cities”, which are characterized by a population of between 100,000 and 2 million inhabitants. They are still the product of flexible urbanism, responsive to changing conditions, weak enough to accommodate vertical economies and multidimensional ecologies. Because of their exponential growth, they are perceived as cities in motion, as three-dimensional constructs of incremental development. They are cities that are constantly modifying and reinventing themselves, eager to unfold their potential. The biggest challenge facing municipal waste management systems is the lack of technical and financial resources dedicated solely and exclusively to improving waste management. Clearly a lack of government funding, low tariffs that do not fully cover costs, tariffs that are not enforced, and a paucity of data on the real cost of applying new technologies all lead to poor waste management. The objective of this research is to analyze the impact of solid waste management in emerging cities and to compare the different systems used for waste treatment. Based on the documentary analysis and the analytical description of the systems used, spaces for discussion will be generated in order to raise awareness and promote the implementation of strategic waste management techniques and systems that contribute to the reduction of the impacts generated by urban solid waste management.

REFERENCIAS

Abarrca Cuervo, L., Mass, C., Hogland, W. (2015). Desafíos de la gestión de residuos sólidos para las ciudades de los países en desarrollo. *Revista Tecnología en Marcha*, vol.28 n.2. Cartago Apr./Jun. On-line version ISSN 0379-3962/Print version ISSN 0379-3962

Banco Interamericano de Desarrollo. (2016). De ciudades emergentes a ciudades sostenibles. Santiago de Chile: Escuela de Arquitectura Pontificia Universidad Católica de Chile.

Dier, F. L. (2017). Waste management in developing countries and the circular Economy. *Waste Management & Research*, 1. *Economist Intelligence Unit*. (2011). Índice de ciudades verdes de EE. UU. Y Canadá. Munich: Jason Sumner, Vanessa Benschfeld, Lopez, J. J., Castro, A. G. (2021). Sustainability and resilience in smart city planning: A review. *Sustainability*(Switzerland), 13(1), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su13030101>

Molina, Luis, PH. (2018). La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos desde una perspectiva territorial en el estado de Hidalgo y sus municipios. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL, A.C. *Centros*.

Timin, J. (2014). San Francisco prohíbe la venta de botellas de agua de plástico en propiedad de la ciudad. *MSNBC*.

What a Waste. (2018). A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank Group, 141.

Fuente. Autoría propia

Finalmente, y gracias a la experiencia profesional, el desarrollo de esta investigación ha permitido realizar algunos aportes en el ámbito laboral en donde se ha participado de un gran proyecto de aprovechamiento de residuos sólidos en su fase de prefactibilidad, denominado “Planta de tratamiento de residuos urbanos para el norte del departamento de Cundinamarca”. En este proyecto se pretendía analizar las diferentes tecnologías, metodologías y modelos de negocio propuestos por entidades privadas que contaran con la capacidad técnica, administrativa y financiera, para llevar a cabo la operación de una planta con capacidad de aproximadamente 264 Toneladas/día; sin embargo debido a su alto grado de complejidad, difícil articulación con todos los stakeholders del proyecto, altos costos tanto financieros como políticos, falta de voluntad de los municipios en participar del proyecto y por supuesto la cierta resistencia que existe al realizar alianzas público-privadas, no permitió que el proyecto prosperara.

Gracias a los resultados de la investigación se pudo participar en el proyecto aportando el cómo se comporta la gestión de residuos sólidos orgánicos en ciudades emergentes y como el enfoque gerencial estratégico facilita la toma de decisiones, el seguimiento de indicadores y la ejecución del proyecto. Así mismo se pudo compartir los casos de éxito y fracaso en cuanto a la gestión de RSO, permitiéndole al equipo de trabajo explorar las diferentes opciones metodológicas para el aprovechamiento de RSO y la disminución del impacto ambiental a través de los principios de economía circular.

Sin duda alguna a lo largo del proceso de aprendizaje durante la maestría en gerencia de proyectos me ha permitido adquirir las habilidades gerenciales necesarias para analizar, controlar y gestionar todas las variables que componen un proyecto desde su fase de planeación hasta su fase de cierre y/o liquidación.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo de este estudio se ha podido evidenciar que los sistemas de gestión estratégica son un mecanismo de planificación, dirección y control para lograr el crecimiento sostenible de una organización. Así pues, uno de los objetivos planteados en la presente investigación, era el establecimiento de un sistema estratégico para la gestión de los residuos sólidos orgánicos de una muestra de ciudades emergentes, introduciendo técnicas que le permitieran a diferentes municipios adoptar para mejorar el aprovechamiento y disposición final de sus residuos.

Debido a que los reportes para la gestión de los residuos sólidos son evaluados en periodos anuales, los datos se tomaron con base en los informes de gestión en los últimos años y los Planes de Gestión Integral de los Residuos de las dos ciudades emergentes evaluadas de la provincia de Sabana Centro (Chía y Zipaquirá). A partir de esto se pudo evidenciar que ninguno cuenta con plantas de aprovechamiento y solamente las entidades del servicio de aseo se encargan de recolectar, transportar y disponer sus residuos orgánicos en organizaciones externas para el tratamiento de estos. De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que:

1. Con base en el diagnóstico realizado para los municipios de Chía y Zipaquirá, se determinó que ambos municipios han establecido planes para el aprovechamiento de sus residuos orgánicos, sin embargo, estos son dispuestos en empresas externas al municipio las cuales emplean técnicas como el compostaje y la lombricultura para el tratamiento de los residuos entregados. Por tal motivo ninguno de las ciudades emergentes evaluadas recibe

retribuciones económicas por la comercialización de los subproductos obtenidos por medio del aprovechamiento de los RSO.

2. Las empresas de aseo de los municipios de Chía y Zipaquirá son EMSERCHÍA E.P.S y EAAAZ respectivamente, las cuales se encargan de realizar los procesos de recolección, transporte y disposición de los residuos en las zonas urbanas y rurales. Así mismo son las encargadas de la implementación de planes y proyectos de separación selectiva en la fuente como también de realizar acercamientos con la comunidad con el fin de llevar cabo actividades de sensibilización.
3. De acuerdo con los PGIRS de los municipios de Chía y Zipaquirá, la inversión económica por parte de estas dos ciudades emergentes para el aprovechamiento de sus RSO es considerablemente alta con respecto a las técnicas que se emplean (Compostaje y lombricultura), ya que ambas son mecanismos de tratamiento con bajos costos de operación. Lo anterior se debe a que el transporte de los residuos hacia sitios de aprovechamiento demanda casi el 50% de los recursos dispuestos por cada municipio para el tratamiento de sus residuos orgánicos. Por otro lado, en el caso de Zipaquirá el 50% de sus residuos orgánicos no son aprovechados sino son directamente dispuestos en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, el cual se encuentra distante al municipio aumentando así las tarifas de transporte.
4. Por otro lado, se pudo percibir que un sistema de gestión estratégico para los residuos sólidos orgánicos en las ciudades emergentes evaluadas es una oportunidad de mejora para

el establecimiento de una economía circular en donde los residuos se conviertan en una fuente que genere beneficios ambientales y económicos por medio del aprovechamiento de estos. Por tanto, la propuesta de construir plantas de aprovechamiento de los RSO dirigidas y gerenciadas directamente por las entidades municipales les permitirá a estas ciudades emergentes crear sistemas sostenibles y sustentables que beneficien al ambiente y a la sociedad.

La puesta en marcha de proyectos para el aprovechamiento de los RSO es un trabajo entre la comunidad y las entidades gubernamentales, en donde más haya de lograr la generación de ingresos se logra obtener beneficios ambientales y sociales, mejorando la calidad de vida y la conciencia de la población. Igualmente existen actores sociales que financian proyectos o programas con objeto de contribuir al desarrollo de mecanismos sostenibles y sustentables, por tal motivo las ciudades emergentes buscan formular, ejecutar, modelar y controlar proyectos garantizando la mejora continua.

Con respecto a las plantas de aprovechamiento dirigidas y gerenciadas directamente por los municipios permitirán no solo que cada uno de ellos aproveche de manera propia sus residuos orgánicos, sino que también se disminuirán los costos de inversión actuales para la disposición de este tipo de residuos. De esta manera, la implementación de este sistema de gestión para cada uno de los municipios les generara no solo beneficios económicos sino también ambientales debido a la adopción de sistemas sostenibles, permitiendo un desarrollo en armonía con el ambiente y basados en los principios de economía circular.

El sistema de gestión estratégico propuesto pretende ser una herramienta que permita facilitar la toma de decisiones y la gestión de los residuos sólidos orgánicos, a las administraciones municipales a través de la aplicación sistemática de cada uno de los pasos planteados en el modelo. Digitando la información requerida en cada paso, permitirá dar una perspectiva de la tecnología más adecuada, tiempos de producción y costos de operación, con el fin de analizar las condiciones necesarias para llevar a cabo cada uno de los procesos, dependiendo de las necesidades y expectativas de la parte interesada. De la misma manera la aplicación del Balanced Scorecard o cuadro de mando integral planteado permitirá realizar la planificación y dirección de cada uno de los componentes del proceso con el objetivo de articular las estrategias y/o metas con los objetivos esperados, garantizando una planeación estratégica.

A través de la comercialización de los subproductos obtenidos en las tecnologías como abono sólido, abono líquido, energía, té de compost y té de estiércol se pueden generar ingresos que generen una disminución a los presupuestos dispuestos para la gestión de los residuos sólidos orgánicos y a su vez se conviertan en proyectos sostenibles con el tiempo.

Así mismo se concluye que en Colombia la disposición de los residuos sólidos orgánicos requiere de una mayor atención por parte de las entidades gubernamentales, ya que no existe una participación por parte de todos los actores involucrados en el proceso. De ahí que los proyectos implementados a nivel municipal presentan falencias internas en donde no se da una visión clara de los objetivos y metas establecidas en programas de aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Como resultado de la revisión bibliográfica y estadística de cada una de las entidades estudiadas, se logró identificar que la información y datos registrados en los planes de gestión integral de residuos sólidos están desactualizados, lo cual no permite tener proyecciones claras e impide que la toma de decisiones y esfuerzos sean acertados.

En definitiva, las entidades municipales deberían priorizar la gestión adecuada de los residuos sólidos orgánicos reduciendo la cantidad de toneladas dispuestas en rellenos sanitarios los cuales generan impactos ambientales. De este modo con la implementación de las tecnologías mencionadas a lo largo de este estudio, se ofrece una solución beneficiando la calidad de vida y el ambiente por medio del uso responsable de recursos de aprovechamiento obteniendo un costo beneficio para las ciudades emergentes evaluadas.

Ahora bien y conforme a la pregunta de investigación realizada al principio de este estudio las administraciones municipales pueden implementar un sistema de gestión estratégico para las ciudades emergentes en el manejo de los residuos sólidos orgánicos adaptando la herramienta diseñada de acuerdo con sus necesidades, cantidad de residuos y disponibilidad de recursos, con el fin optimizar procesos, recursos, establecer roles y responsabilidades de los involucrados en la gestión de residuos al interior de las entidades encargadas de los mismos. Así mismo permitirá generar ingresos por la comercialización de cada uno de los subproductos obtenidos en la aplicación de los diferentes procesos y/o tecnologías para la gestión de los RSO.

RECOMENDACIONES

Se sugiere que las entidades municipales adopten esta herramienta como el primer insumo para la puesta en marcha de plantas de aprovechamiento de los residuos orgánicos, con el objetivo de que en futuros años dejen de ser ciudades emergentes y puedan convertirse en ciudades inteligentes. Por otra parte, se recomienda a estas entidades la actualización de los PGIRS ya que algunos datos se encuentran erróneos con relación a los reportados por la gobernación de Cundinamarca.

De acuerdo con la revisión en la literatura y conforme a los resultados obtenidos en el presente estudio, evidentemente es importante establecer y promover políticas públicas más rigurosas que determinen las reglas de juego claras para cada uno de los involucrados en la gestión de los residuos y generen incentivos a los actores por el adecuado manejo de estos. Así mismo se recomienda explorar alternativas como alianzas público- privadas, que permitan el financiamiento y puesta en marcha de plantas de tratamiento a gran escala, con el fin de generar un mayor porcentaje de aprovechamiento de RSO, mayores ingresos por su comercialización, oportunidades de empleo y lo más importante la disminución del impacto ambiental.

Por otra parte, se aconseja que se realice un plan de acción que tenga en cuenta los procesos de la planta de aprovechamiento en donde se evalué el sistema una vez implementado, con el fin de saber si las metas y objetivos trazados se están cumpliendo.

Analizar los diferentes canales de comercialización y estudios de mercado de los subproductos obtenidos en cada una de las tecnologías estudiadas, es importante ya que permite establecer los sistemas de venta más efectivos de acuerdo con el área geográfica y las metas para que el sistema sea sostenible.

De igual manera se recomienda optar por estrategias que involucren más a la comunidad de las ciudades emergentes en temas de sostenibilidad; ya que según la información recolectada la participación ciudadana es baja e inclusive se puede denotar que en algunos casos no se evalúan algunas zonas de los municipios sino únicamente se contempla los lugares de mayor concentración de habitantes.

Es importante establecer y promover programas que estén dirigidos a la población en general en temas relacionados con la cultura ciudadana específicamente la gestión de los residuos sólidos; ya que si un mayor número de la población conoce la importancia del reciclaje y la separación en la fuente, permitiría a las administraciones municipales implementar rutas de recolección selectiva más estrictas y destinar los esfuerzos al aprovechamiento continuo y no solo centrarse en las técnicas convencionales de disposición.

Se sugiere que los resultados obtenidos en la presente investigación sean la base principal para futuros estudios en donde se pretenda establecer un sistema de gestión estratégico, a través de la aplicación sistemática de las herramientas planteadas en el modelo.

Referencias

Resolución 3152 de 2004, (2004).

Afanador, J. (2020). Chia organica. *Gestión de Proyectos Chia*.

Alcaldía Municipal de Chia. (2020). Documento de diagnóstico. *Secretaria de Planeación*, 2, 46.

Alcaldía Municipal de Zipaquirá. (2016). “ *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS – PGIRS , DEL MUNICIPIO DE* Contrato de Consultoría No . 188 de 2015 *Entre : Municipio de Zipaquirá- Cundinamarca y P & P Gestión Integral Compañía Limitada Objeto : “ CONSULTORÍA PARA REALIZAR EL EST. 188, 1–419.*

Alzamora, B. R., & Barros, R. T. de V. (2020). Review of municipal waste management charging methods in different countries. *Waste Management*, 115, 47–55.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.020>

Babu, R., Prieto Veramendi, P. M., & Rene, E. R. (2021). Strategies for resource recovery from the organic fraction of municipal solid waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 3(March), 100098. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100098>

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2015). *Informe sobre Sostenibilidad de 2015*. 43.
<https://publications.iadb.org/handle/11319/7532>

Bedoya, N. (2019). *Gestión Estratégica en los Sistemas de Gestión de la Calidad*. Escuela Europea de Excelencia. scuelaeuropeaexcelencia.com/2018/01/gestion-estrategica-sistemas-gestion-calidad/

BID. (2016). Guía Metodológica. Iniciativa ciudades emergentes y sostenibles. *Banco Interamericano de Desarrollo*.

BID. (2021). *Financiamiento y donaciones*. <https://www.iadb.org/es/acerca-del-bid/financiamiento-del-bid/financiamiento-del-bid%2C6028.html>

Castañeda Torres, S., & Rodriguez Miranda, J. P. (2017). Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. *Universidad y*

Salud, 19(1), 116. <https://doi.org/10.22267/rus.171901.75>

Castro, O. (2021). *El Estado De Los Residuos Sólidos En Antioquia Análisis Del Estado Actual En El Manejo De Residuos Sólidos En Antioquia*. 1–88. <http://hdl.handle.net/10784/29682>

Castro, P. (2014). Toma de decisiones asertivas para una gerencia efectiva. *Universidad Militar Nueva Granada*.

<http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127>

CCB. (2020). *BALANCE DE LA ECONOMÍA DE LA REGIÓN BOGOTÁ – CUNDINAMARCA*.

CDKN. (2021). *Sobre CDKN*. https://cdkn.org/introduccion-2/?loclang=es_es

Colombia sostenible. (2021). *Financiamiento*. <https://colombiasostenible.gov.co/financiamiento>

Congreso de Colombia. (2008). Ley No. 1259. *República de Colombia*, 1–8.

http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2008/ley_1259_2008.pdf

Congreso de Colombia. (2014). Decreto 2041 del 2014 . In *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible* (pp. 1–48). https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/7b-decreto_2041_oct_2014.pdf

Congreso de la Republica. (1994). Ley 142 de 1994. *Diario Oficial*, 1994(41.433), 597.

<http://www.acueducto.com.co>

Congreso de la Republica. (2011). LEY 1450 DE 2011, “Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014”. *Diario Oficial de La República de Colombia*, N° 48.102, 16 de junio, 1–198.

https://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/docs/ddr/CompiladoNormativo_Parte3.pdf

Corredor, Y. R., Mercado, M. M., Pérez, G. A., & Campos, C. (2004). Incidencia de microorganismos mesófilos en la producción del agua de bebida envasada. *Revista Biomedica*.

CRA. (2019). ANALISIS DE IMPACTO NORMATIVO. *Ministerio de Vivienda*, 57(1).

CRQ. (2021). *¿Qué es un plan de gestión integral de residuos sólidos -PGIRS?* Corporación Autónoma Regional Del Quindío. <https://crq.gov.co/preguntas-frecuentes/#:~:text=El>

PGIRS es un conjunto, de Gestión Integral de Residuos

Cydep SAS. (2016). ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (PGIRS) PARA EL MUNICIPIO DE CHÍA. *Consultoría de Dirección de Proyectos SAS*.

DANE. (2021). *Crecimiento demográfico en el departamento de Cundinamarca*.

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

De Medina-Salaj, L., Castilio-Gonzalez, E., & Omar jamed-Boza, L. (2013). A glance at the world. *Waste Management*, 33(1), 251–254. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.10.011>

Diario Oficial de la Unión Europea. (2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. *Parlamento Europeo*, 22, 59 pags. (43 artículos). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:01:ES:HTML>

Díaz, F. (2020). Evaluación de la pirólisis como un método para la obtención de combustibles. *Sustainability (Switzerland)*, 4(1), 1–9. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/mdl-20203177951%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0887-9%0Ahttp://dx.doi.org/10.1038/s41562-020-0884-z%0Ahttps://doi.org/10.1080/13669877.2020.1758193%0Ahttp://serisc.org/journals/index.php/IJAST/article>

Diaz, G. (2012). Climate change. *Scielo*, 37(2).

Diaz, L., & Bakken, P. (2005). *Solid waste management*.

Ding, Y., Zhao, J., Liu, J. W., Zhou, J., Cheng, L., Zhao, J., Shao, Z., Iris, Ç., Pan, B., Li, X., & Hu, Z. T. (2021). A review of China's municipal solid waste (MSW) and comparison with international regions: Management and technologies in treatment and resource utilization. *Journal of Cleaner Production*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126144>

DNP. (2016a). Documento CONPES 3874. Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Sólidos. *Consejo Nacional de Política Económica y Social República De Colombia. Departamento Nacional De Planeación (DNP)*, 1–73.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>

- DNP. (2016b). *Rellenos sanitarios de 321 municipios colapsarán en cinco años, advierte el DNP*. Departamento Nacional de Planeación. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Rellenos-sanitarios-de-321-municipios-colapsarán-en-cinco-años,-advier-te-el-DNP--.aspx>
- DNP. (2020). *INFORME NACIONAL DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*. EAAAZ-E.S.P. (2020). *RESOLUCIONPRESUPUES-O2020.pdf*.
- EAAAZ-E.S.P. (2021). *Tarifas de aseo Zipaquira*. <https://eaaaz.com.co/wps/la-empresa/servicios/tarifas/>
- Economist Intelligence Unit. (2011). *Study: US and Canada Green City Index*. [papers2://publication/uuid/DAA0BB03-9093-44D8-9EE8-06689340CE55](https://publications.eiu.com/publication/uuid/DAA0BB03-9093-44D8-9EE8-06689340CE55)
- EMSERCHIA S.A.S. (2020a). *ACUERDO_No011Aprobacion_presupuesto_2020.pdf*.
- EMSERCHIA S.A.S. (2020b). *Informe integrado de gestión del 2020 emserchia e.s.p.*
- EMSERCHIA S.A.S. (2021). *Tarifas de aseo Chia*. <https://emserchia.gov.co/wordem/tarifas/>
- Estrada, A., Gallo, M., & Nuñez, E. (2016). Contaminación ambiental. *Scielo*, 80–86.
- FAO. (2019). *Uso Y Manejo De Fertilizantes*. <http://www.fao.org/3/ca5253es/CA5253ES.pdf>
- FEC. (2016). *Economía circular*. Fundación Economía Circular. <https://economiacircular.org/>
- FONTAGRO. (2021). *¿Quién es FONTAGRO?* <https://www.fontagro.org/es/>
- GCCA. (2021). *¿Cómo funciona la financiación EU GCCA +?* <https://www.gcca.eu/funding/how-does-gcca-funding-work>
- Gobernación de Cundinamarca. (2015). *Estadísticas Básicas Provincia de Sabana Centro*. 1–19. <http://www.cundinamarca.gov.co/wcm/connect/d8ad5b02-be5f-451f-bc31-6198e32bdae4/Sabana+centro.pdf?MOD=AJPERES&CVID=14W0Us0>
- Gobernación de Cundinamarca. (2019). *Gestión Integral de los residuos sólidos en el departamento de Cundinamarca*. 1, 105–112.
- Gobernación de Cundinamarca. (2021). *¿Cuál es la proyección de vida del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo?* Servicio Al Ciudadano de La Gobernación de Cundinamarca. <https://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeambiente/Sec>

ambientesdespliegue/servicio_al_ciudadano/preguntas_frecuentes

Google Earth. (2021). Ubicación geográfica. *Google Earth Pro*.

Graziani, P. (2018). *Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos Oportunidades en América Latina* (Vol. 148). Banco de Desarrollo de América Latina.

Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>

Ibicol. (2021). *Gestión de los residuos orgánicos en Zipaquirá*. Ibicol Agua, Pecuaria, Agro, Maquinaria. <https://www.ibicol.com.co/>

ICONTE. (1998). GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 53-3. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, 1–8.

ICONTEC. (1999a). GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 53-5. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, 1–20.

ICONTEC. (1999b). GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 53-6. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, 1–9.

ICONTEC. (2003). GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 53-4. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, 1–10.

ICONTEC. (2004). GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 53-2. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, 1–10.

ICONTEC. (2006). GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 53-7. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, 1–10.

ICONTEC. (2007). GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 53-8. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, 1–19.

ICONTEC. (2009a). GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC 24. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*.

ICONTEC. (2009b). Norma técnica Colombiana GTC 24: Gestión ambiental. Residuos Sólidos y

- guía para la separación en la fuente. *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, 571, 1–18.
[http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC 24 DE 2009.pdf](http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC_24_DE_2009.pdf)
- IDEAM. (2015). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) Colombia* (p. 36).
- IDEAM. (2021). *Pronostico del tiempo +*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/>
- Ilaris, Y. (2013). Impacto ambiental. *Universidad Los Angeles de Cimbote*, 1–12.
- Inda, C., & Vargas, J. (2012). Ecoeficiencia y ecocompetitividad. *Ingeniería de Recursos y Medio Ambiente*.
- Instituto Técnico Agropecuario - ICA. (2015). *Cartilla práctica para la Elaboración de Abono orgánico líquido fermentado en producción ecológica*. 8. www.ica.gov.co
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA , IMPORTANCIA Y EXPERIENCIAS. *IDESIA*, 49–61.
- K.Pinto, J. (2015). *Gerencia proyectos Cómo lograr la ventaja competitiva*.
- Kaplan, R. S., Norton, D. P., & Megonck, R. (2007). Usar el Balanced Scorecard como un sistema de gestión estratégica Gestionar para el larGo plazo | lo mejor de HBr. *Harvard Business School Publishing Corporation*.
https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38474747/BalancedScorecard.pdf?response-content-disposition=inline%3B filename%3DBalanced_Scorecard.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190922%2Fus-east-1%2Fs3%2F
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: una instantánea global de la gestión de residuos sólidos hasta 2050*.
- Lam, L. M. M., Bernal, M. A. P., & Acosta, G. T. (2018). *La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos desde una perspectiva territorial en el estado de Hidalgo y sus municipios*. 29. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/281/1/78-2018-Tesis->

MarstrosenPlaneacionEspacial.pdf

Mallart, C. (2019). *Upcycling y soberanía textil: metodologías de investigación y prácticas contemporáneas*. <https://www.ecologiapolitica.info/?p=11753>

Mamoun, R. (2021). Organic Waste Sorting Proposed System in Mecca City. *Sefet*, 5–10.

MINAMBIENTE. (1974). DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974. Por. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 2(1), 258–263.

<https://doi.org/10.1109/JSAC.1984.1146039>

MINAMBIENTE. (1995). Decreto 948 de 1995. Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire. *Decreto*, 1995(41), 57.

[http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/54-dec_0948_1995.pdf%5Cnhttp://www.fedepanela.org.co/files/DECRETO_948_DE_1995.pdf)

[dec_0948_1995.pdf%5Cnhttp://www.fedepanela.org.co/files/DECRETO_948_DE_1995.pdf](http://www.fedepanela.org.co/files/DECRETO_948_DE_1995.pdf)
f

MINAMBIENTE. (2002). DECRETO 1713. *MINAMBIENTE*, Agosto 6.

MINAMBIENTE. (2005). Decreto 0838 de 2005. 45862, 0838, 17.

[http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Decretos/dec_0838_230305.pdf)
[/Normativa/Decretos/dec_0838_230305.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Decretos/dec_0838_230305.pdf)

RESOLUCIÓN 1890 DE 2011, (2011).

MINAMBIENTE. (2014). *Resolución 0754 del 2014.pdf* (p. 60).

[http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Gestión ambiental/Residuos/Anexo](http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Gestión%20ambiental/Residuos/Anexo%20residuos%20ordinarios/Resolución%200754%20del%202014.pdf)
[residuos ordinarios/Resolución 0754 del 2014.pdf](http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Gestión ambiental/Residuos/Anexo residuos ordinarios/Resolución 0754 del 2014.pdf)

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. (2000). REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO República de Colombia Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. *Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico*, 22 De Novi, 45. [http://cra.gov.co/apc-aa-](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf)
[files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf)

MINVIVIENDA. (2015). *Resolución CRA 720 de 2015*.

MINVIVIENDA. (2017). *Guía de Planeación Estratégica para el Manejo de Residuos Sólidos de*

- Pequeños Municipios en Colombia. *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio*, 107.
<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/Guía de Manejo de Residuos 2017.pdf>
- Mir, I. S., Cheema, P. P. S., & Singh, S. P. (2021). Implementation analysis of solid waste management in Ludhiana city of Punjab. *Environmental Challenges*, 2(January), 100023.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100023>
- Mora, R. (2006). *lunazul . ucaldas . edu . co - LA ACTIVIDAD MICROBIANA : UN INDICADOR INT ...* Página 1 de 6 *LA ACTIVIDAD MICROBIANA : UN INDICADOR INTEGRAL DE LA CALIDAD DEL SUELO (1)*. 1, 1–6.
- Morales, F. R., & Maldonado, J. R. (2017). Gestión de residuos en la Provincia de Ñuble, Chile. El relleno sanitario Cita Ecobio en Chillán Viejo. *Tiempo y Espacio*, 0867(37), 24–41.
- Moreno, N., Sánchez, L., & Velosa, J. (2016). Introducción a la gerencia de proyectos: conceptos y aplicación. In *Introducción a la gerencia de proyectos: conceptos y aplicación*.
<https://doi.org/10.21158/9789587564501>
- Navarro, T. (2013). *Gestión integral*.
- Norfund. (2021). *NORFUND*. <https://www.norfund.no/>
- ONU. (2015). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Organización de Las Naciones Unidas.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- ONUAA. (2013). CLIMATE-SMART AGRICULTURE. In *Culture(s) in International Relations*. <https://doi.org/10.3726/b11522>
- Paes, L. A. B., Bezerra, B. S., Deus, R. M., Jugend, D., & Battistelle, R. A. G. (2019). Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis. *Journal of Cleaner Production*, 239.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118086>
- Pascual, P., & Venegas, S. (2011). La materia orgánica del suelo. papel de los microorganismos. *Ciencias Ambientales*.

PMI. (2021). *PMBOK Guide* (Septima).

PNUMA. (2007). Informe Anual Del PNUMA 2007. In *Environment* (Issue 0).

PNUMA. (2013). Informe Anual de 2013. In *PNUMA, Informe Anual 2013*.

PNUMA. (2021). *Fondos de Financiación*.

<https://www1.undp.org/content/undp/es/home/funding/funding-channels.html>

Policia Nacional de Colombia. (2021). *La Revista Logos Ciencia & Tecnología y su permanencia en Publiindex*. <https://revistalogos.policia.edu.co:8443/index.php/rlct>

Quintanilla, N. (2012). Manejo de la basura y su clasificación. *Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Humanidades Antonio Benjamín Say Chamán*.

Resval. (2021). *Convenio municipales en la gestión de residuos organicos*. Resval Valoración de Residuos. <http://www.resval.co/>

Rodriguez, L., & Bolaños, I. (2015). Aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de energía renovable en una ciudad colombiana. *Energética*, 0(46), 23–28.

Roman, P., Pantoja, A., & Van Wanbeke, J. (2013). Manual de compostaje del agricultor. In *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*.

Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A. (2013). Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz. *Informacion Tecnologica*, 24(2), 47–56.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200007>

Sánchez-Muñoz, M. del P., Cruz-Cerón, J. G., & Maldonado-Espinel, P. C. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación. *Revista Finanzas y Política Económica*, 11(2), 321–336.
<https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2019.11.2.6>

Segura, A., Rojas, L., & Pulido, Y. (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos Global references in solid waste management systems. *Revista Espacios*, 41(17), 22.

Tello, P., Campani, D., & Sarafin, D. (2018). *GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS*. AIDIS.

- Terraza, H., Blanco, D. R., & Vera, F. (2014). De ciudades emergentes a ciudades sostenibles. *Educatio Siglo XXI*, 32(1), 287–290.
- Tocabens, B. E. (2011). *Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones Definitions on the risk and its implications*. 49(3), 470–481.
- UAESP. (n.d.). *Relleno sanitario*. 2021. <https://www.uaesp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/relleno-sanitario>
- Umbarila, M. (2019). Sistema Multicriterio para la Selección de Tecnologías de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos. *Universidad Militar Nueva Granada*, 1–153.
- UNEP. (2005). Closing of an Open Dumpsite and Shifting from Open Dumping to Controlled Dumping and to Sanitary Landfilling. *Training Modules*, 92.
- UNEP. (2010). ABC of SCP: Clarifying Concepts on Sustainable Consumption and Production. *United Nations Environment Programme*, 1–59.
[http://www.uneptie.org/scp/marrakech/pdf/ABC of SCP - Clarifying Concepts on SCP.pdf](http://www.uneptie.org/scp/marrakech/pdf/ABC%20of%20SCP%20-%20Clarifying%20Concepts%20on%20SCP.pdf)
<https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=945&menu=1515>
- UNEP. (2017). *Domestic Extraction of world in 1970-2017*. The Material Flow Analysis Portal.
http://www.materialflows.net/visualisation-centre/data-visualisations/?_inputs_&sidebar=%22bar_chart_1%22
- Universidad Distrital. (2021). *Revista de ingeniería Universidad Distrital*.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/issue/view/1064>
- Varon, L. (2013). La producción más limpia como estrategia de gestión ambiental. *Cooperación Universitaria Lasallista*.
- Vasquez, C. M. P. (2013). Centro de Acopio - Recreativo Reciclable. *Centro de Acopio Rural*, 140. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_3641.pdf
- Vasquez, E., & Guadalupe, T. (2016). *pH: Teoría y 232 problemas*. Revista de la universidad autónoma metropolitana.
- Vega, V., & Lluglla, D. (2019). *Vista de El Balanced Scorecard como herramienta de gestión*

organizacional.

Zhang, J., Qin, Q., Li, G., & Tseng, C. H. (2021). Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. *Journal of Environmental Management*, 287(February). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112238>

Anexos

Anexo 1. Herramienta para la toma de decisiones del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

En el presente Anexo se encontrará un archivo Excel donde se evidenciará la información recolectada para la puesta en marcha de un sistema de gestión estratégico en ciudades emergentes a partir del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Además, se presenta una herramienta que permitirá la toma de decisiones y el seguimiento del proyecto gerencial que se propuso en la presente investigación. Finalmente, para una mejor visualización del modelo, se estableció un ejemplo del cuadro de mando integral con los beneficios obtenidos una vez ejecutado el sistema establecido.