

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Maestría en Gestión Ambiental



TESIS

**REGIONALIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE TRANSPORTE, TRANSFERENCIA
Y APROVECHAMIENTO MEDIANTE EL USO DE LÍNEAS FERREAS PARA LA
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CUNDINAMARCA**

PRESENTADA POR:
RENÉ RICARDO CUÉLLAR RODRÍGUEZ
Ing. Ambiental y Sanitario

TRABAJO DE TESIS

Presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Gestión Ambiental

DIRECTOR

MARTHA EMPERATRIZ PARDO PARRA
Ing. Recursos hídricos y gestión ambiental –MSc en Ingeniería Civil

Bogotá D.C.
Mayo, 2017

NOTA DE ADVERTENCIA

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velara por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por qué las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Artículo 23 de la Resolución N°13 de julio de 1946

**REGIONALIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE TRANSPORTE, TRANSFERENCIA
Y APROVECHAMIENTO MEDIANTE EL USO DE LÍNEAS FERREAS PARA LA
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CUNDINAMARCA**

RENÉ RICARDO CUÉLLAR RODRÍGUEZ

APROBADO

<hr/>		<hr/>	
	Firma:		Firma:
Nombre	Jurado 1	Nombre.	Jurado 2

MARTHA EMPERATRIZ PARDO PARRA
Ing. Recursos hídricos y gestión ambiental – MSc en
Ingeniería Civil
Director

**REGIONALIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE TRANSPORTE, TRANSFERENCIA
Y APROVECHAMIENTO MEDIANTE EL USO DE LÍNEAS FERREAS PARA LA
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CUNDINAMARCA**

RENÉ RICARDO CUÉLLAR RODRÍGUEZ

APROBADO

MARÍA ADELAIDA FARAH QUIJANO
Economista. MSc. PhD.
Decana de la Facultad de Estudios
Ambientales y Rurales

JOSÉ MARÍA CASTILLO ARIZA
Ing. Ambiental y Sanitario. MSc.
Director de Maestría en Gestión Ambiental

Índice de contenidos

RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
1. Generalidades	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Justificación.....	8
1.4. Problema técnico	10
1.5. Enfoque metodológico.....	13
1.6. Objeto de estudio	13
1.7. Objetivo general.....	14
1.8. Objetivos específicos	14
2. Marco Teórico	15
2.1. Teoría de la localización.....	15
2.2. Teoría de la conectividad.....	17
2.3. Importancia conectora del sistema ferroviario.	19
2.4. Sistema ferroviario colombiano.....	20
2.5. Gestión integral de residuos sólidos (GIRS).....	26
2.6. Actividades del servicio público de aseo.....	27
2.7. Estaciones de transferencia.....	29
2.8. Tipos de estaciones de transferencia.....	30
2.8.1. Estaciones de transferencia según el volumen de operación.....	31
2.8.2. Estaciones de transferencia según el tipo de transporte empleado.....	31
2.8.3. Estaciones de transferencia según las condiciones de operación.....	32
2.8.3.1. Estaciones de transferencia con descarga directa.....	33
2.8.3.2. Estaciones de transferencia con descarga indirecta.....	34
2.8.4. Estaciones de transferencia con recuperación y acondicionamiento de materiales aprovechables.....	36
2.8.4.1. Compactación.....	36
2.8.4.2. Trituración.....	37
2.8.4.3. Enfardamiento.....	37
2.9. Consideraciones para la localización de estaciones de transferencia.....	38
2.10. Costos y tarifas asociadas al transporte y transferencia de residuos.....	41

3.	Materiales y Métodos.....	47
3.1.	Priorización y asociación de variables para la localización de sitios potenciales para estaciones de transferencia férreas en el Departamento de Cundinamarca.....	47
3.1.1.	Proyección de población.....	47
3.1.2.	Proyección de generación de residuos sólidos.....	47
3.1.3.	Criterios de uso de suelo.....	48
3.1.4.	Criterios viales.....	49
3.1.5.	Centro de gravedad (centroide).....	49
3.1.6.	Distancia de localización de la transferencia respecto al municipio y el relleno sanitario.....	50
3.1.7.	Pendiente del terreno.....	50
3.1.8.	Criterios de área de la planta de transferencia.....	50
3.1.9.	Criterios sociales.....	51
3.1.10.	Asociación de las variables a un Sistema de Información Geográfico con el software ArcGIS.....	51
3.2.	Evaluación la bondad del sistema regional de transferencia férreo de residuos sólidos.....	52
3.2.1.	Evaluación de los costos asociados al transporte de residuos sólidos mediante la Resolución CRA 720 de 2015.....	52
3.2.2.	Evaluación de los tiempos de transferencia de residuos sólidos al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo.....	53
4.	Resultados y discusión de resultados.....	54
4.1.	Proyecciones de población.....	54
4.2.	Proyección de generación de residuos sólidos.....	56
4.3.	Localización de la estación de transferencia respecto al municipio y el relleno sanitario.....	58
4.4.	Centro de gravedad (centroide).....	59
4.5.	Asociación de la generación diaria de residuos en toneladas al SIG.....	61
4.6.	Priorización de vías por municipio.....	63
4.7.	Resultados de priorización de variables.....	67
4.8.	Asociación de las variables a un Sistema de Información Geográfico (SIG).....	69
4.9.	Evaluación de los costos asociados al transporte de residuos sólidos mediante la Resolución CRA 720 de 2015.....	72
4.10.	Análisis de la propuesta entorno a la economía circular.....	78
5.	Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones.....	79
5.1.	Conclusiones.....	79
5.2.	Recomendaciones.....	80
6.	Capítulo 5. Referencias.....	83

Capítulo 6. Anexos	86
6.1. Anexo 1. Datos base para la proyección de la población	86
6.2. Anexo 2. Determinación de la producción per cápita (PPC) de residuos sólidos por municipio	88
6.3. Anexo3. Tiempos y distancias de cada componente del sistema de transferencia	90
6.4. Anexo 4. Rutas vehículos compactadores a Estación 1	92
6.5. Anexo 5. Rutas vehículos compactadores a Estación 2	93
6.6. Anexo 6. Rutas vehículos compactadores a Estación 3	94
6.7. Anexo 7. Rutas vehículos compactadores a Relleno Sanitario.	95
6.8. Anexo 8. Vías priorizadas para el transporte de residuos desde cada municipio a su respectiva planta de transferencia	95
6.9. Anexo 9. Distancias totalizadas por tipo de vía priorizada para el transporte de residuos a la planta de transferencia	102
6.10. Anexo 10. Mapa de elevación para el departamento de Cundinamarca	104
6.11. Anexo 11. Mapa de pendientes para el departamento de Cundinamarca.....	105
6.12. Anexo 12. Uso de Suelo propuesto para el departamento de Cundinamarca	106
6.13. Anexo 13. Áreas de protección del departamento de Cundinamarca.....	107
6.14. Anexo 14. Zonas de reserva del departamento de Cundinamarca.....	108
6.15. Anexo 15. Malla vial y férrea del departamento de Cundinamarca	109
6.16. Anexo 16. Peajes y sitios de interés al SIG	110
6.17. Anexo 17. Asociación del criterio de operación de más de 50 toneladas al día al SIG	111
6.18. Anexo 18. Imagen Satelital. Estación 1	112
6.19. Anexo 19. Imagen Satelital. Estación 2	113
6.20. Anexo 20. Imagen Satelital. Estación 3	114
6.21. Anexo 21. Costos sin transferencia entre 2018 y 2048.....	115
6.22. Anexo 21 Costos mensuales con transferencia sin separación entre 2018 y 2048	116
6.23. Anexo 23. Costos mensuales con transferencia con separación entre 2018 y 2048.....	117
6.24. Anexo 24. Costos totales sin transferencia entre 2018 y 2048	118
6.25. Anexo 26. Costos totales anuales con transferencia sin separación	119
6.26. Anexo 27 Costos totales anuales con transferencia con separación	120

Índice de tablas

<i>Tabla 1</i> Proyección de residuos sólidos dispuestos hasta la vida útil del relleno sanitario _____	10
<i>Tabla 2</i> Distancia de los municipios al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo _____	12
<i>Tabla 3</i> Tipo de estaciones de transferencia según las condiciones de operación _____	33
<i>Tabla 4</i> Criterios para la localización y operación de estaciones de transferencia _____	39
<i>Tabla 5</i> Capacidad media de vehículos compactadores en Colombia Capacidad vehículo (Y3) _____	42
<i>Tabla 6</i> Velocidades de recolección y transporte de residuos sólidos _____	44
<i>Tabla 7</i> Costos variables por vehículo del sistema de aseo (\$/Km) _____	44
<i>Tabla 8</i> Costos fijos mensuales por vehículo del sistema de aseo _____	45
<i>Tabla 9</i> Costos de inversión por vehículo del sistema de aseo _____	46
<i>Tabla 10</i> Costos de transferencia por capacidad media de estación. _____	46
<i>Tabla 11</i> Costos de transferencia por capacidad media de estación _____	50
<i>Tabla 12</i> Costos de transferencia por capacidad media de estación _____	50
<i>Tabla 13</i> Proyección de la población de los municipios que disponen sus residuos sólidos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo _____	54
Tabla 14 Proyección de la generación de los residuos sólidos de los municipios que disponen sus residuos sólidos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo _____	56
Tabla 15 Coordenadas planas y geográficas del centroide de generación de residuos por municipio _____	59
Tabla 16 Total de la distancia recorrida por el sistema de transferencia férreo y sin transferencia _____	67
Tabla 17 Resultados de la priorización de variables para la localización de estaciones de transferencia _____	68
Tabla 18 Determinación de una composición promedio de las fracciones de residuos _____	73
Tabla 19 Residuos esperados sin separación _____	73
Tabla 20 Residuos esperados con separación _____	74
Tabla 21 Costos para el periodo de diseño en el año 2048 _____	76
Tabla 22 Costos totales en (\$/Año para el año de inicio y fin del proyecto de regionalización _____	76
Tabla 23 Relación de los residuos recuperados y la vida útil del relleno sanitario _____	78

Índice de figuras

Figura 1 Resultados del modelo matemático para la ubicación de estaciones de transferencia de residuos sólidos urbanos. Palmira (PA), Pradera (PR), El Castillo (EC), Vives (VI), Ginebra (GI), Guacarí (GU), Buga (BU), Río frío (RF) Tuluá (TU), Buga la Grande (BG), Zarzal (ZA), y La Unión (LU).	4
Figura 2 Exclusión de áreas no potenciales para el establecimiento de estaciones de transferencia	5
Figura 3 Ubicación de estaciones de transferencia según la cobertura	6
Figura 4 Ubicación de estaciones de transferencia según la distancia al sitio de disposición final	6
Figura 5 Ubicación de estaciones de transferencia	8
Figura 6 Determinación de la necesidad de contar con una estación de transferencia	30
Figura 7 Estación de transferencia de residuos sólidos por tractocamiones en Belmonte (España)	31
Figura 8 Estación de transferencia de residuos sólidos por ferrocarriles en New Jersey (Estados Unidos)	32
Figura 9 Estación de transferencia directa de residuos por gravedad	33
Figura 10 Proceso de transferencia para estaciones de transferencia directa	34
Figura 11 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en foso cargue con cinta transportadora	34
Figura 12 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en playa y cargue con maquinaria pesada	34
Figura 13 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en foso cargue con maquinaria pesada	35
Figura 14 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en foso con compactación y cargue por empuje	35
Figura 15 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en contenedores y con compactación en forma horizontal	35
Figura 16 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en contenedores y con compactación de forma vertical	35
Figura 17 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en contenedores y con compactación previa en forma horizontal	35
Figura 18 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en foso y con compactación en forma de fardos	35
Figura 19 Proceso de transferencia para estaciones de transferencia indirecta	36
Figura 20 Función de distancia al perímetro urbano en función de la cantidad de residuos	43
Figura 21 Punto de equilibrio (Pe) donde la transferencia por vía férrea es más económica que la recolección y transporte (transporte directo de residuos del municipio al relleno sanitario)	59
Figura 22 Distribución de municipios por planta de transferencia	62
Figura 23 Rutas de disposición final sin transferencia	64
Figura 24 Rutas de disposición final sin transferencias según la menor distancia recorrida y tiempo empleado	65
Figura 25 Rutas de disposición final sin transferencias según la menor distancia recorrida y tiempo empleado	66
Figura 26 Áreas aptas para la localización de la estación de transferencia férrea. (Áreas en azul)	69
Figura 27 Localización de la estación de transferencia 1	70
Figura 28 Localización de la estación de transferencia 2	71
Figura 29 Localización de la estación de transferencia 3	72

Índice de siglas, sigloides y acrónimos

BM:	Banco Mundial
CC:	Congreso de Colombia
CCI:	Cámara Colombiana de Infraestructura
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
CONPES:	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CRSNM:	Consortio Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo
ICA:	Informe de Cumplimiento Ambiental
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DNP:	Departamento Nacional de Planeación y Banco Mundial
EPA:	United States Environmental Protection Agency
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
GIRS:	Gestión Integral de Residuos Sólidos
ICA:	Informe de Cumplimiento Ambiental
MVCT:	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio,
MAVDT:	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: MADS)
MOP:	Ministerio de Obras Públicas (Hoy Ministerio de Transporte)
MT:	Ministerio de Transporte
PGIRS:	Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos
PDM:	Plan de Desarrollo Municipal
POT:	Plan de Ordenamiento Territorial
PR:	Presidencia de la Republica
RAS:	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
RAE:	Real Academia Española
SIG:	Sistema de Información Geográfica
SPA:	Servicio Público de Aseo
UAESP:	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos

RESUMEN

Dadas las tendencias de crecimiento poblacional y debido al manejo actual que se le da a los residuos sólidos en los municipios del Departamento de Cundinamarca, surge la presente investigación cuyo propósito fundamental es el de fortalecer la GIRS mediante la ubicación de estaciones de transferencia multipropósito que garanticen la recuperación de residuos aprovechables, la disminución de los residuos sólidos llevados a disposición final, el aumento de la vida útil del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo y la reducción de costos de transporte pagados por las empresas prestadoras del servicio público y que son transferidas vía tarifa a los usuarios.

Para obtener la óptima localización de las estaciones de transferencia se llevó a cabo el estudio de correlación de variables de tipo económico y técnico, entre las que se pueden mencionar: geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, entre otras, del departamento. Se analizó el entorno al corredor férreo de Cundinamarca, tasas de generación de residuos sólidos de las poblaciones involucradas, posibilidades de aprovechamiento de materiales y costos asociados a la prestación del servicio de transporte y todo esto mediante la aplicación del software ArcGIS.

Se localizaron tres áreas potenciales para la ubicación de estaciones de transferencia de residuos sólidos ordinarios en el Departamento de Cundinamarca, situadas en los municipios de Villeta, Nemocón y Madrid para prestar sus servicios a 68 municipios de los 80 municipios que disponen en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo. La propuesta para la localización de estaciones de transferencia de tipo férreo reduce el recorrido de transporte de residuos sólidos realizado por los municipios en 3.028,49 Km y una reducción de costos para el 2048 de 84,1% es decir 9.498.506.517 \$/día.

ABSTRACT

Given the trends of population growth and due to the current of solid waste management in the municipalities of the Department of Cundinamarca, the principal purpose of the study is to strengthen the GIRS through the location of multipurpose solid wastes transfer stations that guarantee The recovery of waste, the reduction of solid waste disposed of, the increase in the useful life of Nuevo Mondoñedo Landfill and the reduction of transportation costs paid by companies providing the public service and which are transferred via tariff to the users.

In order to obtain the optimum location of the transfer stations, the research will be carried out, which will allow to correlate variables of an economic and technical type, such as: geology, geomorphology, hydrology, among others, in the surroundings of the railroad corridor of Cundinamarca, The solid waste generation of the populations involved, the possibility of taking advantage of materials and costs associated with the provision of the transport service and all this through the application of ArcGIS software.

Three potential areas for the location of municipal solid waste railroad transfer stations in the Department of Cundinamarca, located in the municipalities of Villeta, Nemocón and Madrid, were located to provide services to 68 municipalities in the 80 municipalities that have the Nuevo Sanitary Landfill Mondoñedo. The proposal for the location of railroad-type transfer stations reduced the transportation of solid waste carried out by the municipalities in 3.028,49 Km and a cost reduction for 2048 of 84,1%, ie 9.498.506.517 \$ / day.

1. Generalidades

1.1. Introducción

Actualmente, en Colombia la Gestión Integral de Residuos Sólidos-GIRS sigue el modelo de producción y consumo lineal de la sociedad donde los bienes producidos a partir de materias primas son vendidos al consumidor final, quien los descarta cuando ya no sirven para el propósito por el cual fueron adquiridos. Este modelo es insostenible ante el crecimiento poblacional y la creciente generación de residuos, implica pérdidas de recursos en las diferentes etapas del ciclo de vida de los productos y marca una tendencia extractiva con la consecuente escasez de las materias primas y de suelos necesarios para la disposición de los residuos en rellenos sanitarios.

Parte del origen de la problemática se debe a la ausencia de incentivos económicos, normativos y regulatorios para minimizar la generación de residuos sólidos, la escasa separación en la fuente para garantizar un mayor aprovechamiento y tratamiento de residuos, y la insuficiencia de una infraestructura para realizar dicho manejo de acuerdo a las cantidades generadas a escala municipal y regional. Como consecuencia inmediata, está el alcance de la capacidad física de los rellenos sanitarios y la necesidad de nuevos terrenos para llevar a cabo la disposición de los residuos sólidos.

En este sentido, se puede decir que el 83% de los residuos sólidos domiciliarios que se generan van a los rellenos sanitarios y solo el 17% es recuperado (DNP y BM, 2015), el 38% (71) del total de sitios de disposición final cuentan con una vida útil menor a 3 años de acuerdo con su licencia ambiental (SSPD, 2015) y la regionalización de la disposición final de los residuos se ha ido consolidando pasando de 2009, con 92 sitios de disposición final que atendían 573 municipios, a 2014 con 65 sitios de disposición final que atendían 803 municipios (SSPD, 2015).

Por otro lado, en el 2008 se encontraban en operación de 34 plantas de aprovechamiento de residuos sólidos (dato que no diferencia entre plantas de aprovechamiento y plantas integrales, y donde estas últimas se diferencian de las primeras en que los residuos que no son reciclables se disponen en una celda o relleno que generalmente se ubica en el mismo predio) (SSPD, 2008). Posteriormente, para el 2011 el uso de plantas integrales para el tratamiento de los residuos sólidos disminuyó en un 20% (donde los municipios atendidos pasaron de 83 a 67) (SSPD, 2011). Luego en el 2014 solo se manejaba el 0,5% de los residuos generados a nivel nacional (126.6 ton/día de 26528 ton/día) por medio de plantas integrales (SSPD, 2015). Esta disminución en el número de plantas de aprovechamiento se puede atribuir al resultado de las acciones de vigilancia adelantadas por la SSPD y la consolidación de un sistema regional de aprovechamiento minimizando los costos ambientales y maximizando la rentabilidad operativa al manejar un volumen mayor de residuos sólidos.

En este sentido, a nivel nacional la responsabilidad de planificar la GIRS en el país es de los municipios y distritos y sus Alcaldes, con apoyo de los departamentos, quienes en cumplimiento de la normatividad vigente tienen la obligación de formular los PGIRS con visión regional cuando sea viable, los cuales deben articularse con los PDM y los POT. Para la consolidación de la prestación regional del Servicio Público de Aseo-SPA se requiere fortalecer, desde el punto de vista técnico y tarifario, la creación de infraestructura asociada a estaciones de transferencia y aprovechamiento. Así mismo, desde el punto de vista técnico, el MVCT impulsará procesos de regionalización entre 2017 y 2019 para acceder a fondos del Gobierno Nacional para financiar el desarrollo de infraestructura para la GIRS.

El presente documento tiene como finalidad analizar la regionalización del servicio de transporte de residuos a través de un sistema de transferencia usando como corredor de conexión el sistema

ferroviario para los municipios que disponen sus residuos sólidos en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo. Adicionalmente, se evalúa la posibilidad de emplear estaciones de transferencia multipropósito (transferencia / aprovechamiento). Esto con el fin de dar un valor agregado al sistema regional planteado y en concordancia con la política nacional para la gestión integral de residuos sólidos respecto el avance hacia una economía circular, donde el valor de los productos y materiales se mantengan durante el mayor tiempo posible en el ciclo productivo.

1.2. Antecedentes

Para estudiar la viabilidad de los sitios para localización de estaciones de transferencia-ET, es necesario evaluar una serie de variable técnicas y socioeconómicas. De acuerdo a esto, se han realizado estudios para la localización de estaciones de transferencia, tanto en el área urbana como en la rural, considerando en cada ubicación diferentes variables y herramientas de análisis de acuerdo con especificidades de cada proyecto.

De acuerdo con lo anterior, a nivel nacional se tiene como referencia el estudio realizado en el Valle del Cauca “*Modelo matemático para la ubicación de estaciones de transferencia de residuos sólidos urbanos*” en el cual se buscó reducir los costos asociados a la gestión integral de residuos sólidos, minimizando costos de apertura, transporte y de operación. Para ello se consideró la relación entre los municipios generadores de residuos, los rellenos sanitarios en los cuales se lleva a cabo la disposición final y las características propias de las estaciones de transferencia, para así plantear un modelo que definió una función objetivo, la cual determinará el costo mínimo para un horizonte de planeación preestablecido de 20 años. Toda la información se introdujo en el modelo de programación lineal en lenguaje de programación AMPL bajo el solver Gurobi 5.5.0. Los resultados se conjugaron en la siguiente Figura 1, donde, de igual forma, se presentó la región de

estudio compuesta por los municipios Palmira (PA), Pradera (PR), El Castillo (EC), Vijes (VI), Ginebra (GI), y Guacarí (GU).

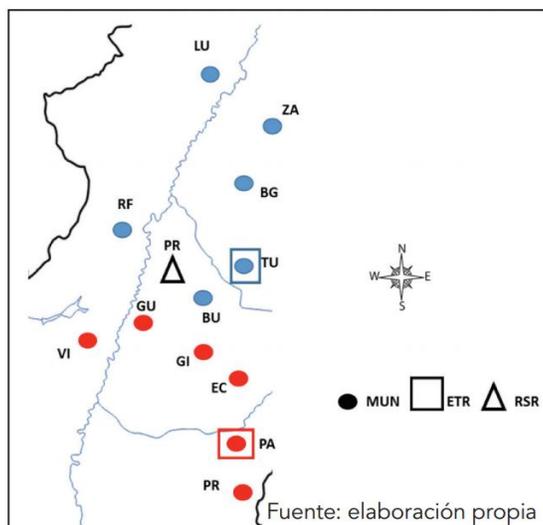


Figura 1 Resultados del modelo matemático para la ubicación de estaciones de transferencia de residuos sólidos urbanos. Palmira (PA), Pradera (PR), El Castillo (EC), Vijes (VI), Ginebra (GI), Guacarí (GU), Buga (BU), Rio frío (RF), Tuluá (TU), Buga la Grande (BG), Zarzal (ZA), y La Unión (LU).
Fuente: Varón, Orejuela, & Manyoma, (2015)

En el estudio se representó el relleno sanitario con un triángulo negro (PR), obteniendo la ubicación de dos estaciones de transferencia en el municipio PA y TU, que reciben más del 80% de residuos, dejando al municipio BU como el único municipio que lleva sus residuos directamente al relleno sanitario, exceptuando el periodo entre 17 y 20 años. De acuerdo con lo anterior, se obtuvo un sistema donde los municipios en rojo envían sus residuos a la estación de transferencia del municipio PA y los municipios en azul envían sus residuos a la estación de transferencia del municipio TU. En cuanto a costos, se logró una disminución del 71,67%, compuesta por el costo de transporte con participación del 47%, el costo de operación con participación del 44% y el costo de apertura con participación del 8% (Varón, Orejuela, & Manyoma, 2015).

Internacionalmente, se tiene un estudio similar denominado “*A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming*” teniendo como área de influencia de estudio el este de Macedonia y Tracia (Grecia). En el estudio se empleó una función

de programación no lineal para definir la función objetivo enfocada en la disminución de costos totales de recolección de residuos, considerando costos de capital y operación de las estaciones de transferencia, los vehículos recolectores y los tráileres y tractores, en conjunto con los costos para llevar los residuos a los rellenos sanitarios. Las variables de decisión para el establecimiento de estaciones de transferencia fueron binarias con dos nodos relacionados a si se emplaza la estación (respuesta positiva) o no (respuesta negativa). La metodología consistió en la exclusión secuencial de áreas carentes de potencial para el establecimiento de estaciones de transferencia evaluando diferentes criterios, obteniendo así áreas factibles para el establecimiento de estaciones de transferencia representadas con color rosa en la Figura 2.

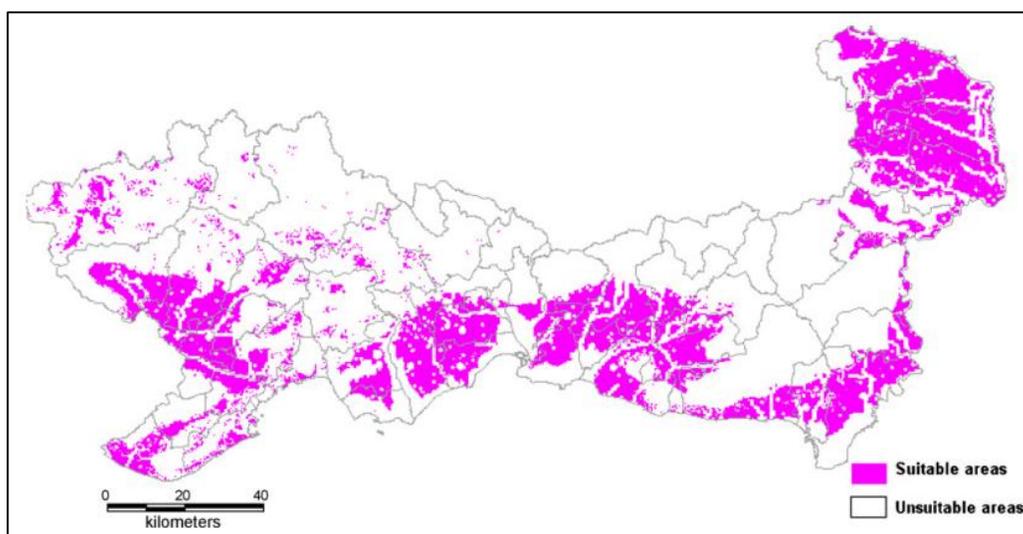


Figura 2 Exclusión de áreas no potenciales para el establecimiento de estaciones de transferencia
Fuente: Chatzouridis & Komilis, (2012)

Posteriormente, se seleccionaron sitios para estaciones de transferencia teniendo en cuenta criterios como la distancia entre la estación y el relleno sanitario. Se establecieron intersecciones de zonas de influencia de los lugares generadores de residuos como se muestra en la Figura 3, obteniendo superposiciones de color oscuro que presentan los lugares más factibles para la ubicación de estaciones de transferencia en cuanto al criterio de cobertura.

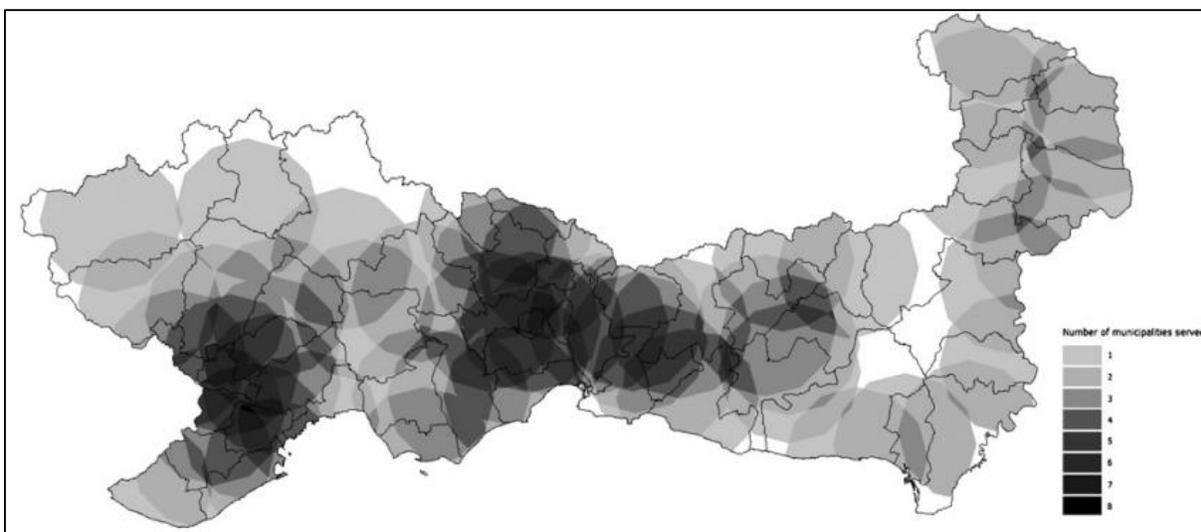


Figura 3 Ubicación de estaciones de transferencia según la cobertura
Fuente: Chatzouridis & Komilis, (2012)

De acuerdo a esto, se aplicó la función objetivo que disminuye los costos asociados. Por último, se corrió el modelo para la ubicación ambientalmente conveniente de las estaciones en una hoja de Excel. Tanto en la metodología como en la representación de resultados se emplearon herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). El resultado del estudio, fueron dos alternativas (A y B) que a pesar de ser similares presentaban variaciones de costos teniendo como mejor alternativa técnica y económica la alternativa A presentada en la Figura 4.

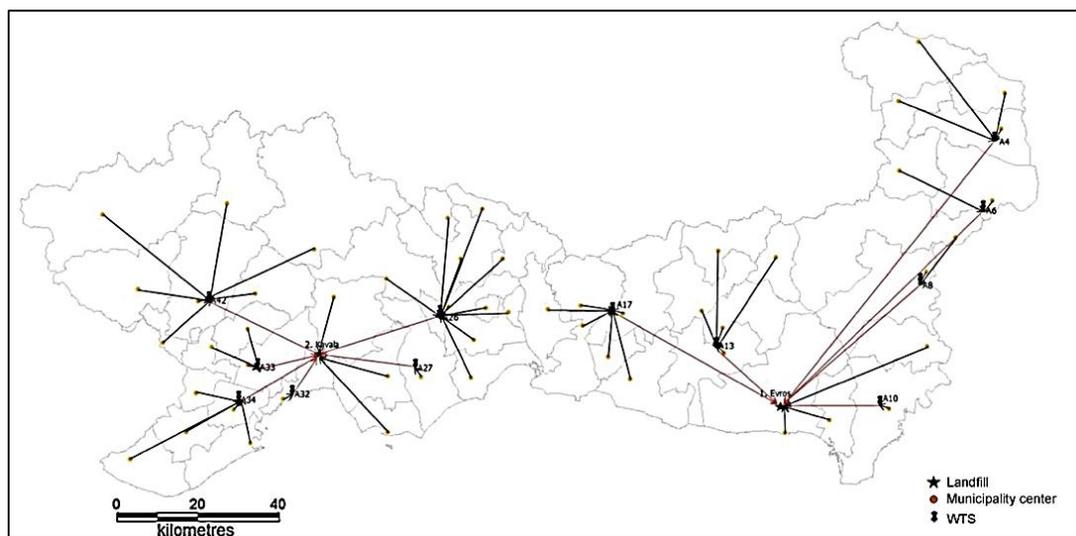


Figura 4 Ubicación de estaciones de transferencia según la distancia al sitio de disposición final
Fuente: Chatzouridis & Komilis, (2012)

Se evidencia la presencia de dos rellenos sanitarios (Evos y Kovala) hacia los cuales se dirigen las flechas de color rojo vino tinto teniendo como punto de partida las estaciones de transferencia y algunas cabeceras municipales en las cuales resultó más conveniente la disposición final directa de residuos. Dado lo anterior, se tienen 10 estaciones de transferencia a lo largo de los 47 municipios y 2 estaciones cerca a los rellenos sanitarios para la clasificación y separación de residuos, que redujeron los costos asociados al sistema (Chatzouridis & Komilis, 2012).

Los anteriores estudios se realizaron a nivel municipal, pero teniendo en cuenta que la aplicación del presente trabajo de grado es a nivel urbano, el referente más relacionado fue el trabajo denominado "*A feasibility study for the locations of waste transfer stations in urban centers: a case study on the city of Nashik, India*" (Yadav, Karmajar, Dikshit, & Vanjari, 2016) en donde, al igual que los otros estudios, se trabajó un modelo matemático para optimizar todos los costos asociados a la gestión de residuos sólidos y un SIG mediante el cual se obtuvo información para la alimentación del modelo.

Algo importante del estudio, fue considerar el territorio como un sistema heterogéneo para la obtención de información, teniendo así mejores criterios de ubicación de las estaciones de transferencia. Como punto de partida se identificaron potenciales áreas para el establecimiento de las estaciones de transferencia, y así poder posteriormente elegir las mejores bajo el criterio económico.

A continuación, se aplicó el modelo TSS que consideró las distancias de recorrido, la heterogeneidad de los datos y la ubicación estratégica de las estaciones considerando una serie de restricciones del territorio.

Por último, se realizó el análisis mediante la herramienta SIG teniendo en cuenta tres casos posibles: en el caso A, se tienen centroides que abarcan toda la generación de residuos de cada

distrito, en el caso B, se asumió un centroide cada 500 m de red vial con generación de residuos uniforme y por último el caso C, donde se asumen las mismas condiciones del caso B, pero modificando la generación de residuos de acuerdo con la densidad de población en los distritos. El resultado de todo el proceso se presenta en la Figura 5, que muestra el número y la ubicación de las estaciones en los tres casos:

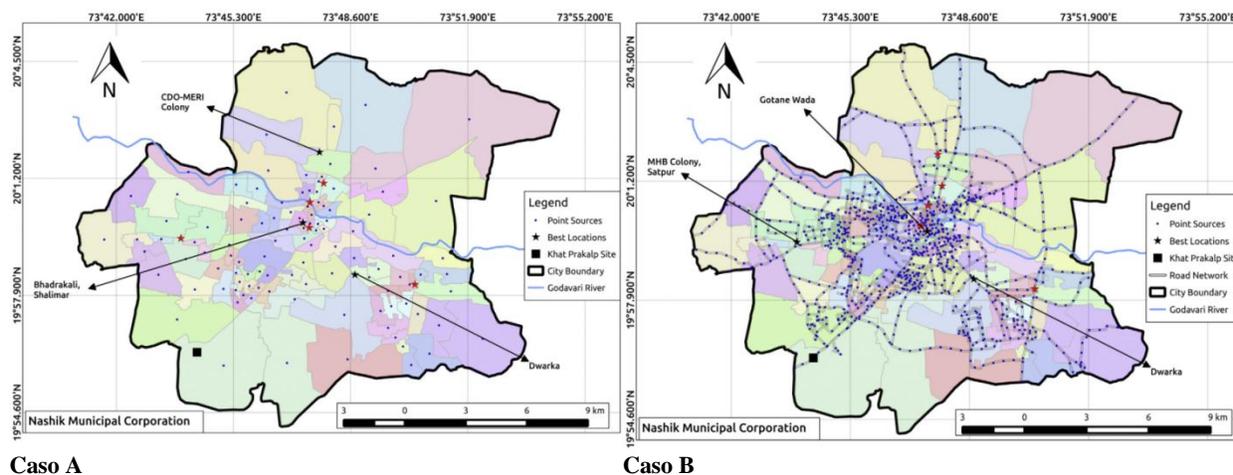


Figura 5 Ubicación de estaciones de transferencia
Fuente: Yadav, Karmajar, Dikshit, & Vanjari, (2016)

Consecuente con lo anterior, se obtuvieron los mismos resultados para el caso B y C, teniendo en los tres casos un total de 5 estaciones de transferencia distribuidas de diferente forma en el territorio y representadas con una estrella en la ilustración, obteniendo una reducción de costos asociados a la gestión de residuos sólidos en toda la ciudad. (Yadav, Karmajar, Dikshit, & Vanjari, 2016)

1.3. Justificación

El relleno sanitario Nuevo Mondoñedo presenta un descenso creciente en cuanto a capacidad, teniendo en cuenta el análisis realizado con respecto a la capacidad del vaso y el periodo de diseño, donde el inició operaciones fue en el 2.007 y para el año 2.016 su capacidad ya era la mitad; lo anterior implica que al termino de 7 años más se cumpliría con el llenado total. Consecuente con

lo anterior, es importante formular alternativas de manejo técnicas y sanitarias que prolonguen la vida útil del relleno, todo esto tendiente al cumplimiento del GIRS generado en el departamento de Cundinamarca.

Adicionalmente, según las directrices de la CRA, siempre es necesario buscar alternativas que minimicen costos al usuario en la prestación del servicio de aseo. Adicionalmente, según los criterios de eficiencia establecidos para la prestación del SPA, debe garantizarse de calidad, continuidad y cobertura, por ello es importante que se busquen alternativas viables desde el aspecto técnico y económico.

Entre los aspectos a tener en cuenta, son los niveles de segregación, ya que estos son escasos de acuerdo a las metas planteadas aunque importantes según la cantidad de residuos que se manejan en el contexto colombiano: el 40% de los hogares segregan los residuos generados lo que representa un 20% del aprovechamiento de los residuos a nivel nacional, no obstante, éstos valores no alcanzan el 10% efectivo debido a: falta de información de cómo realizar la actividad, ausencia de infraestructura que garantice la cadena de segregación y evite contaminación cruzada desde el generador hasta el sitio aprovechamiento y la falta de consolidación de mercados para la transformación de materiales y reincorporación en el ciclo productivo. En este sentido, se percibe la pérdida de valor del reuso que conlleva a un detrimento del valor económico de los materiales y finalmente el llenado acelerado de los rellenos sanitarios.

Los costos de transporte son una variable de gran importancia a analizar, ya que, para los municipios más distantes del relleno se incrementa notoriamente y estos deben asumidos por los municipios, que en algunos casos se transfieren vía tarifa a los usuarios; en otros casos esto no siempre sucede debido a la problemática social que puede generarse con el incremento de un valor ya establecido.

1.4. Problema técnico

El Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo se encuentra localizado en el Departamento de Cundinamarca, en la Región Sabana Occidente, jurisdicción del Municipio de Bojacá, Vereda El Fute, en el sector conocido como Mondoñedo, lote ubicado en el costado oriental de la carretera que conduce de Mosquera a la Mesa, a 11,6 Km de Mosquera y a 27,5 Km de Bojacá.

El diseño del relleno sanitario contempló capacidad para 7.102.190 T, que debía cumplir con los requerimientos normativos RAS 2000 y resolución 2320 de 2.009, es decir vida útil de 30 años. De acuerdo con esto y la fecha de inicio de operación (17 de enero de 2007) éste debería suplir las necesidades de disposición final hasta diciembre de 2.036. Es importante resaltar que la disposición a septiembre de 2016 ha sido de 3.590.488,64 T (45,8% de la capacidad de diseño en 10 años), lo que conlleva a un remanente útil de 4.252.287,28 T.

Según la proyección de los datos reportados en el Informe de Cumplimiento Ambiental del 2016 del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo para los residuos dispuestos entre enero del 2007 y septiembre del 2016, se puede observar que se la generación creciente de residuos y disposición llevan a que la actividad de disposición finalice hacia el año 2023; es decir, en siete años incluyendo 2017, terminando la vida útil del proyecto (Tabla 1).

Tabla 1 Proyección de residuos sólidos dispuestos hasta la vida útil del relleno sanitario

Año	Residuos sólidos dispuestos (T)			Vida útil (T)	Llenado (%)
	Diarios	Anuales	Acumulados		
2006	0	0	0	7842775,92	0
2007	712	247.778,31	247.778,31	7.594.997,61	3,2
2008	821	299.978,95	547.757,26	7.295.018,66	7
2009	959	225.443,40	773.200,66	7.069.575,26	9,9
2010	893,4	326.281,91	1.099.482,57	6.743.293,35	14
2011	954,9	348.514,02	1.447.996,59	6.394.779,33	18,5

Año	Residuos sólidos dispuestos (T)			Vida útil (T)	Llenado (%)
	Diarios	Anuales	Acumulados		
2012	1.027,7	376.239,10	1.824.235,69	6.018.540,23	23,3
2013	1.155,7	421.842,78	2.246.078,47	5.596.697,45	28,6
2014	1.227,9	448.176,14	2.694.254,61	5.148.521,31	34,4
2015	1.259,3	459.640,65	3.153.895,26	4.688.880,66	40,2
2016	1.329,3	494.999,21	3.648.894,47	4.193.881,45	46,5
2017	1.395,0	523.912,49	4.172.806,97	3.669.968,95	53,2
2018	1.460,6	552.825,78	4.725.632,74	3.117.143,18	60,3
2019	1.526,2	581.739,06	5.307.371,80	2.535.404,12	67,7
2020	1.591,9	610.652,34	5.918.024,14	1.924.751,78	75,5
2021	1.657,5	639.565,62	6.557.589,76	1.285.186,16	83,6
2022	1.723,1	668.478,90	7.226.068,66	616.707,26	92,1
2023	1.788,7	697.392,18	7.923.460,84	-80.684,92	101

Fuente: Modificado por el Autor - Informe de Cumplimiento Ambiental del 2016 del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo

Adicionalmente, el relleno sanitario presta sus servicios a 104 usuarios, de los cuales 82 son municipios y 22 usuarios privados. De los municipios que disponen en el relleno sanitario 81 son del Departamento de Cundinamarca y 1 del Departamento de Boyacá. Estos llevan sus residuos hasta el relleno sanitario por medio de vehículos compactadores, aun cuando se ha determinado que alrededor de los 30 kilómetros en adelante se debe emplear estaciones de transferencia para reducir costos mediante el paso de compactadores de poco volumen a vehículo con mucha más capacidad, aumentando el volumen de residuos transportados por unidad de transporte y kilometraje recorrido.

Sin embargo, según la Resolución CRA 720 del 2015, el sistema de costos de transporte de residuos sólidos por los cuales debe optar un municipio obedece a una función de mínimo costo, donde se compara el transporte por medio de solo compactadores o el paso a través de estaciones de transferencia. No obstante, solo 8 municipios de los 82 que disponen en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo se encuentra a menos de 30 Kilómetros; lo que abre la posibilidad de la localización de plantas de transferencia al relleno sanitario (Tabla2).

Tabla 2 Distancia de los municipios al Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo

Municipio	Km	Municipio	Km	Municipio	Km	Municipio	Km
Albán	40,2	Gachalá	160	Nocaima	92,8	Tausa	80,6
Anolaima	52,9	Gachancipá	61	Pacho	92,1	Tena	34,9
Bituima	64,9	Gacheta	124	Paime	139	Tenjo	29
Bojacá	22,7	Gama	138	Quebradanegra	102	Tibirita	117
Cachipay	55,5	Guachetá	116	Quipile	70,9	Tocancipá	56,4
Cajicá	39,3	Guasca	74,9	San Antonio del Tequendama	32,5	Topaipí	140
Carmen de Carupa	110	Guatavita	89,6	San Francisco	59,5	Ubaté	96,6
Chaguaní	90,5	Guayabal de Siquima	51,2	San Cayetano	135	Utica	113
Chía	33,1	Granada	36,9	Sasaima	58	Vergara	106
Chocontá	94,6	Junín	129	Sesquilé	73,9	Vianí	70,1
Cogua	61,1	La mesa	46	Sibaté	30,6	Villa Gómez	122
Cota	22,4	La palma	149	Silvania	58,7	Villeta	89,7
El Peñón	122	La peña	122	Simijaca	135	Yacopí	175
El Rosal	32,4	La vega	64,1	Soacha	23,6	Zipacón	28,7
El colegio	56,5	Lenguazaque	113	Sopo	53,5	Zipaquirá	57,6
La calera)	46,9	Madrid	9,4	Subachoque	39,1	Ráquira	146
Facatativá	23,4	Machetá	99,6	Suesca	77,5	Villapinzón	106
Fómeque	86,3	Manta	120	Supatá	78,4	Pandi	102
Funza	6,5	Mosquera	3,8	Susa	128	Ubalá	148
Fúquene	114	Nemocón	69,6	Sutatausa	87,6		
Fusagasugá	64,6	Nimaima	102	Tabio	36,7		

Fuente: Autor.

En este sentido, el uso de estaciones de transferencia multipropósito puede ser una alternativa para las dos problemáticas presentadas, ya que las estaciones multipropósito realizarían la segregación y acopio de materiales aprovechables, reduciendo los residuos que son llevados a disposición final y siendo un punto estratégico de envío de materiales en gran cantidad a centros donde sean transformados e incorporados al ciclo productivo.

Por otro lado, el transporte de residuos es la actividad más costosa del servicio de aseo y con valores del 60% al 80% del costo total de aseo; la recolección y transporte se ve afectada por el tamaño de la población (es decir la producción per cápita de residuos), la frecuencia de recolección, el número de hombres en la cuadrilla, los métodos de recolección, las características de la vía, las características de las manzanas, las condiciones topográficas, el flujo vehicular, el tipo de vehículo, el mantenimiento del vehículo, y el pago de peajes.

Por lo tanto, tener un corredor por el cual se movilicen los residuos con una menor incidencia de las variables mencionadas reduciría los costos de transporte. En este sentido, las líneas férreas pueden ser una alternativa para el movimiento de materiales ya que atraviesan la sabana de Bogotá de norte a sur y de occidente a oriente, de forma ininterrumpida, sin mayor incidencia del tráfico vial, con preferencia vial en las ciudades y sin el pago de peajes.

1.5. Enfoque metodológico

Se realizará investigación cuantitativa de tipo correlacional, debido a que se va a definir una serie de variables para una posterior correlación entre ellas y así obtener la mejor ubicación de estaciones de transferencia en el Departamento de Cundinamarca. Se tiene en cuenta que, en los estudios correlacionales se deben medir cada una de las variables y realizar un análisis de su vinculación, con la ventaja de que integra un carácter explicativo parcial como resultado de la obtención y síntesis de los resultados conseguidos.

En este sentido, dado que se aborda un campo de estudio amplio y con características heterogéneas a lo largo del territorio, no hay una metodología previamente formulada que sea totalmente aplicable para este caso particular, por lo que se tomaron las características técnicas aceptables para la ubicación de estaciones de transferencia de acuerdo con los requerimientos normativos.

1.6. Objeto de estudio

El objeto de estudio está definido por los 82 municipios que disponen en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, las características físicas, ambientales y sociales del departamento de Cundinamarca y para las cuales existe información en la Gobernación de Cundinamarca que

permitan el análisis de localización de estaciones de transferencia, teniendo en cuenta el marco normativo dado por la Resolución CRA 720 para el sistema tarifario del SPA y Resolución 184 de 2009.

El estudio se basará en los datos del ICA del 2016 del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo y las proyecciones de población para cada municipio del DANE, para así analizar la problemática con un horizonte de 30 años (2048) según lo dictado por el RAS Título F.

1.7. Objetivo general

Determinar zonas potenciales para la ubicación de estaciones de transferencia de residuos sólidos ordinarios en el Departamento de Cundinamarca y que puedan conectarse al sistema férreo; mediante la aplicación de sistemas de información geográfica, buscando la cobertura de la prestación del servicio de transferencia de residuos y la reducción de los costos de transporte.

1.8. Objetivos específicos

- Establecer las variables que determinen una metodología para la localización de sitios potenciales para estaciones de transferencia en el Departamento de Cundinamarca.
- Asociar las variables establecidas para el área del Departamento de Cundinamarca en inmediaciones de los sistemas férreos, a un Sistema de Información Geográfico con el software ArcGIS.
- Identificar las áreas potenciales para la posible ubicación de estaciones de transferencia que garanticen la cobertura de la prestación del servicio de recolección, la distribución de cargas similares de operación y la reducción de los costos de transporte, determinado por medio de las funciones establecidas por la CRA en la resolución 720 de 2015.

2. Marco Teórico

2.1. Teoría de la localización.

El término localizar está definido como “determinar o señalar el emplazamiento que debe tener alguien o algo” (RAE, 2017). Es por ello que mucho antes que se concibiera los términos y fenómenos que explican la localización de asentamientos, de actividades productivas, o de infraestructura de soporte, la localización de los asentamientos humanos primitivos se realizó de acuerdo a la oferta de recursos y la posible satisfacción de sus necesidades vitales tales como: sitios con condiciones climáticas que permitieran la vida, lugares que permitiera la protección ante los depredadores y la intemperie, áreas con oferta de alimento y de suelos para realizar actividades agrícolas, lugares para el aprovisionamiento de materiales para la manufactura de distintos elementos y una fuente de agua para su dotación entre muchos elementos (Maestre, Hernández, & Atiénzar, 2008)

Luego, en 1755 se planteaba que el desarrollo de una sociedad dependía de la mano de obra y del trabajo dedicado a la fertilidad de la tierra y su cercanía a ella (Cantillon, 2010); de éste modo se reconoció la relación gasto - consumo con la localización, que junto con un “efecto multiplicador” se podría determinar la naturaleza de una extensión espacial, de una actividad y la población asociada (Brown, 2011).

Hacia el año de 1776, Adam Smith, padre de la economía, definió la importancia de la división y destreza del trabajo, las rutas de transporte, y las dificultades de traslado de mercancías según la extensión de la tierra; no obstante, según sus definiciones de valor, toma como inherente la importancia de la fertilidad del suelo para reducir el costo total de producción (Brown, 2011).

Según los anteriores principios, la distribución económica en el espacio dio origen a la teoría de la localización, la cual presentó dos clases de corrientes, una agraria que se basó en la visión de Johann Heinrich Von Thünen, y una industrial desarrollada por Alfred Weber.

Respecto a la primera en 1820, para la consolidación de la explotación del suelo era determinante la ubicación del mercado; a medida que el valor del transporte hasta el mercado aumentaba, debía ser menor el precio de mano de obra o trabajo invertido (Stavenhagen, 1960), de éste modo se logró concluir que la mejor ubicación de un mercado (empresa) debe considerar el mayor beneficio económico, con un mínimo valor operacional (Gisbert, 1993). Como complemento a la teoría de Von Thünen el alemán Theodor Brinkmann propuso que además de tener en cuenta las condiciones de rendimiento del suelo se debería tener en cuenta la situación personal del empleador para la movilización de sus productos, la selección de las rutas que presenten un menor tráfico; en este sentido se reducen los costos de transporte , se nivelan los precios locales de los productos comercializados, y crea un efecto en cadena que determina la localización de una actividad de acuerdo a que se tenga el mayor margen de utilidad (Stavenhagen, 1960).

Según la teoría de la localización desde un punto de vista industrial, Alfred Weber, estableció que la localización de actividades económicas dependía de la localización de un punto donde se minimizará el valor promedio de transporte, de manera que se redujera el valor de producción (Weber & Friedrich, 1929); para ello se plantearon cuatro factores fundamentales para el desarrollo de cualquier planta industrial, la distancia a los recursos naturales, la distancia al mercado, los costos de mano de obra y las economías de aglomeración, los últimos dos, dependientes de decisiones políticas, además predice si la proximidad de la industria será respecto al mercado o al recurso. (Gisbert, 1993).

Posteriormente, el geógrafo Alemán Walter Christaller, en su teoría de los lugares centrales, dijo que los asentamientos urbanos son situados en espacios isotrópicos, de modo que cada lugar central que ofrece una mayor cantidad de bienes y servicios, siendo el factor más importante para la distribución de asentamientos (Quezada, Olivera, & García, 2009); en este sentido, las empresas tienen un umbral de demanda mínimo que permita llegar a un punto de equilibrio empresarial entre ingresos y egresos, contando con una delimitación espacial basado en la demanda de bienes y servicios por parte de la población (Valbuena, 2013).

Finalmente, en la década de los años cincuenta, Fetter y Hotelling plantearon que la localización de las actividades debería considerar el hecho de abarcar la mayor cantidad de demandantes posibles y de acuerdo al volumen de oferta, y con el fin de reducir los tiempos en que se tienen consumen o los productos o servicios (Brown, 2011).

2.2. Teoría de la conectividad.

En un principio, la planificación estuvo dirigida a satisfacer necesidades físicas específicas y por tal razón estaba limitada a dichas necesidades. No obstante, con el tiempo la forma de concebir la planificación asumió que esta no debería tener fronteras y estaba sujeta a la demanda de bienes y servicios en expansión. Por lo tanto, la nueva forma de concebir la planificación regional se basó en dos dimensiones, la primera, partiendo desde la organización espacial (enfocada en el urbanismo, la localización de los centros productivos y la creación de relaciones entre las ciudades) y la segunda, destinada al desarrollo de las regiones atrasadas. (Friedmann & Weaver, 1979)

La doctrina inicial de la planificación regional tuvo origen en las problemáticas de la industrialización urbana, el agotamiento de los recursos en su territorio, la necesidad de abrir sus fronteras para buscar nuevos sitios de producción con una mayor oferta de bienes y servicios con un menor valor de adquisición, y el alivio de los males derivados de la congestión mediante la

expansión planificada de la ciudad; en este sentido, los regionalistas pretendían dispersar la población y las actividades económicas sobre una zona geográfica más amplia. (Friedmann & Weaver, 1979)

Por lo tanto, la sociedad fue entendida como un todo orgánico, donde la ubicación de las ciudades dependía de los medios de transporte como la fuerza detrás de la expansión metropolitana. Así mismo, se estableció que las relaciones ecológicas en un entorno urbano estaban determinadas por las interacciones espaciales entre distintos grupos, la generación de bienes y la prestación de servicios. (Friedmann & Weaver, 1979)

El proceso ordenamiento del territorio en función de la generación de bienes y servicios se estructura a partir de una red constituida por nodos, conexiones y una jerarquía de organización. Los nodos son los puntos en donde se encuentra la oferta de bienes y servicios, y donde se desarrolla la actividad humana. Las interconexiones entre las actividades humanas (nodos) constituyen la red, donde sus trayectorias son definidas en función de minimizar la sobrecarga del sistema para conectar y facilitar el flujo de los elementos hasta los nodos o el borde de la región. Finalmente, la red urbana se autoregula creando una jerarquía ordenada de conexiones, se conecta a diferentes niveles de escala desde lo local hasta lo regional, se vuelve múltiplemente conectada pero no caótica al permitir llegar fácilmente a cualquier punto, y preferentemente por muchas y distintas trayectorias (Salingaros, 2007).

Para lograr la máxima estabilidad se requiere que cada elemento de la red fortalezca a todos y cada uno de los otros elementos, repartiendo las cargas sobre la demanda y oferta de bienes y servicios. Adicionalmente, sólo deben establecerse aquellas conexiones que funcionen, sean verdaderamente necesarias para la conectividad múltiple y donde se eviten las conexiones que no han de ser empleadas (Salingaros, 2007).

En este sentido, el tránsito vehicular está diseñado para facilitar la actividad humana y organizado jerárquicamente, organizado de escala pequeña a grande y donde cada tipo de calle sirve a diferentes densidades de tráfico, y un solo tamaño no puede satisfacer las necesidades de la red. Muchas redes de conexión independientes tendrán que intersectarse en puntos diferentes, donde cada intersección presenta un problema especial a resolver para que se dé una circulación sería interrumpida (Greenberg, 1995).

2.3. Importancia conectora del sistema ferroviario.

El concepto de ferrocarril surgió a partir de que una antigua civilización abrió surcos paralelos en un camino, y a través de ellos guiaron un vehículo, lo que resultó bastante útil para el transporte de cargas pesadas (Rincón, 2007).

Los ferrocarriles han sido una parte importante en el desarrollo de las regiones, permitiendo la expansión de la conexión entre nodos, constituyendo una fuerza de crecimiento diferencial de las ciudades y generador de ventajas comparativas entre los sectores productivos de algunas ciudades que hicieron uso de este respecto a los que no. En Gran Bretaña la primera línea para mercancías y pasajeros (Manchester-Liverpool) entró en servicio en 1.830 con una velocidad media de 40-50 Km/hora, siendo el doble que la alcanzada por las diligencias más veloces, el precio del transporte era de la mitad, y la capacidad de carga era del cuádruple. En Estados Unidos el coste de transporte en ferrocarril por tonelada/milla bajó de 3,31 dólares estadounidenses a 0,70 céntimos de dólar estadounidense entre 1.865 y 1.892 (Capel, 2007).

La construcción de líneas férreas hizo posible la conexión de regiones alejadas y les dio la accesibilidad a diferentes bienes y servicios ofertados en lugares distantes. En países nuevos, la instalación de líneas locales centradas en una ciudad permitió ampliar el área de cultivo regional, colonizando tierras relativamente alejadas como la explotación de nuevas áreas agrícolas como es

el caso de la producción de cereales en las grandes praderas de Estados Unidos, del café en el planalto paulista en Brasil, el azúcar en Tucumán en la Argentina, los viñedos en el Valle de Limarí, Maipo, Maule, Curicó, Rapel, Aconcagua, Colchagua en Chile, o los cítricos en Valencia en España (Capel, 2007).

En este sentido, las primeras líneas ferroviarias construidas se pensaron de forma individual y sin conexión entre sí. Solo posteriormente se produciría su conversión en redes, con estructuras topológicas distintas y diferentes niveles de conectividad. Usualmente, el diseño y construcción de las líneas fue seguir rutas terrestres ya existentes o los cursos de agua por donde se comunicaban las ciudades antiguamente, aunque con un trazado que se adaptaba a las exigencias propias del sistema de transporte (Capel, 2007).

El diseño final de la red se vio también afectado por otros factores, tales como las consideraciones estratégicas (en particular, la necesidad de conectar con los puertos y los fuertes militares), la existencia de áreas productivas de especial interés (minas, sectores agrícolas para la exportación), o las necesidades de la conexión con otros países, y también de acuerdo al tamaño y el dinamismo económico de las poblaciones existentes (Capel, 2007).

2.4. Sistema ferroviario colombiano.

El transporte ferroviario en Colombia se puede categorizar como uno de los sectores fundamentales, sobre el cual se encuentra soportada la economía de una región o del país (SENA, 2006). A través de los corredores férreos, se logra la conexión de las zonas de producción con los centros de consumo y los centros estratégicos de exportación e importación, movilizandovolumenes significativos de carga y mejorando sustancialmente la competitividad (CCI, 2012).

En el caso colombiano, la primera idea de un Ferrocarril fue propuesta por Simón Bolívar, en donde se planteó la posibilidad de comunicar dos océanos (Atlántico y Pacífico) a partir del uso de trenes (CCI, 2012); además de complementar el transporte fluvial que era el principal modo de transporte a mediados del siglo XIX (SENA, 2006).

En 1.850, y luego de la aprobación por el Congreso Colombiano de la primera Ley referente a las concesiones ferrocarrileras, se inició la construcción del Ferrocarril de Panamá, la cual se inauguró de manera oficial el 28 de enero de 1855 (Rincón, 2007) y presentó un alto interés mundial; esto debido a la comunicación y enlace interoceánico entre los océanos Atlántico y Pacífico, así como la necesidad de superar la divisoria de aguas entre ambos mares. La obra fue llevada a cabo por los ingenieros Totten y Tratwine a través de la compañía Panamá Railroad, con una construcción final de 77 Kilómetros desde Panamá hasta Colón (Arias de Greiff, J., 2011).

Una vez llevada a cabo la primera obra ferroviaria, en la segunda mitad del siglo XIX, Colombia mantuvo una preferencia marcada por los ferrocarriles con respecto a otros modos de comunicación, por lo que a partir de 1.869 se inicia la construcción de nuevas líneas férreas destinadas a conectar ciudades con vías fluviales o puertos, y de esta manera facilitar el comercio (CCI, 2012).

En 1869 se da origen al Ferrocarril de Bolívar, el cual se caracterizó por ser el segundo ferrocarril después del de Panamá, e inicialmente estar denominado como el Ferrocarril de Barranquilla; la ruta inicialmente cubierta correspondía a la conexión entre Barranquilla y Puerto Colombia y extendida hasta Puerto Salgar (MOP, 1916). La iniciativa del Ferrocarril de Bolívar, surge a partir de la necesidad de comunicación entre Barranquilla y un puerto marítimo más eficiente, especialmente, sin los problemas de navegabilidad generados a partir de la presencia de sedimentos en Bocas de Ceniza; por lo que la Convención Constituyente del Estado Soberano de Bolívar

promulgó la Ley del 4 de Mayo de 1.865 y dio atribuciones para contratar una concesión que conectara a través de una línea férrea la ciudad de Barranquilla con el Puerto de Sabanilla o Estación Montoya (Correa & Santiago, 2012), la cual fue inaugurada en 1.871 y debe su nombre al pionero de la navegación por el Río Magdalena, Francisco Montoya Zapata (MOP, 1916).

En 1.871 a través de la Ley 69, el gobierno quiso destacar la importancia que tenía para el país la agilización del transporte en la actividad comercial, por lo que el 1.872 durante el gobierno de Manuel Murillo Toro y por medio de la Ley 52 se buscó la integración de una red ferroviaria interoceánica que partiendo de Buenaventura y comunicara con Córdoba, Dagua, Yumbo, Cali, Buga, Tuluá, Bugalagrande, Zarzal, Cartago, Jamundí y Popayán, a la que denominarían Ferrocarril del Pacífico (1.872 – 1.927) (SENA, 2006); luego de diversos inconvenientes con las empresas concesionarias The Cauca Walley Mining y Contrucción Company, se inició su construcción en 1.878; por medio de esta se pretendía interconectar Cali con el Océano Pacífico a la altura de Buenaventura (Gutiérrez, 1921); en 1882 se inauguró el tramo Buenaventura- Córdoba; en 1.899 fue necesaria la suspensión de la obras debido a la Guerra de los mil días, sin embargo en 1.909 se amplió el tramo férreo hasta Dagua, tres años después hasta Yumbo y en 1.915 hasta Cali. Pasaron los años, el ferrocarril continuó en expansión hasta Palmira (1.917), Tuluá (1.920), Bugalagrande (1.922), Cartago (1.923), hasta que finalmente llegó a Popayán (1.925) (MOP, 1.916).

El Ferrocarril de Antioquia inició su construcción con el Ingeniero Francisco Cisneros en 1.874; esta comunicaría Medellín con el Río Magdalena, donde posteriormente se fundaría Puerto Berrio, para cubrir la ruta Puerto Berrio, Pavas y Medellín. Como resultado de la guerra civil, las obras de construcción fueron suspendidas durante 29 años y sólo hasta 1.914 se inauguró la línea. En 1.927 el Ferrocarril de Antioquia absorbió el Ferrocarril de Amagá, el cual estaba en construcción del

tramo hasta el Río Cauca. El Ferrocarril de Antioquia fue empalmado en 1.942 con el Ferrocarril del Pacífico (Rincón, 2007).

El Ferrocarril de Cúcuta, estuvo dividido en cuatro tramos; el del Norte, que inició su construcción en 1.878 y comunicó Cúcuta con Puerto Santander, logró comunicación con Venezuela (Rincón, 2007); salía de la estación de Cúcuta, a la estación Rosetal, con una extensión de 16 Km, la cual fue habilitada para el transporte de carga y de pasajeros (Ramírez, G., n.d). El del Oriente, construido en 1.893 extendiéndose hasta el Río Táchira; el del Sur en 1921, que conducía a Pamplona, y el del occidente que estaba proyectado hasta Tamalameque, pero no fue concluida su construcción (Rincón, 2007).

El Ferrocarril de la Dorada cubrió la ruta Arrancaplumas, Yeguas, Girardot y Ambalema; su construcción se llevó a cabo en 1.881 bajo la supervisión del Ingeniero Francisco Cisneros. En 1.894 los rieles alcanzaron Arrancaplumas y Yeguas, cinco años después hacia Girardot y hasta 1.907 llegaron a Ambalema, después de una interrupción de las obras debido a la guerra civil (Rincón, 2007).

El Ferrocarril de Girardot nace a partir de la iniciativa de comunicar Bogotá con el Río Magdalena, se inicia su construcción en 1.881 por el Ingeniero Francisco Javier Cisneros. En 1.888 la línea llega hasta Apulo, posteriormente las obras fueron considerablemente retrasadas debido a la carencia de recursos económicos. Finalmente, en 1909 llegó al Municipio de Facatativá y allí empalmó con el Ferrocarril de la Sabana (Rincón, 2007).

El Ferrocarril de Puerto Wilches cubrió la ruta Bucaramanga, Puerto Wilches, nace a partir de la idea de comunicar Bucaramanga con el Río Magdalena. Su construcción se inició en 1.908 y allí el Ingeniero Abelardo Ramos determinó las orillas del Río Magdalena como lugar de llegada del Ferrocarril, siendo así como surge la Población de Puerto Wilches (Rincón, 2007).

El Ferrocarril de Santa Marta comunicaría a Santa Marta con el Río Magdalena; su construcción se inició en 1.882 y cinco años después llegó a Ciénaga. En 1.906 se prolongó hasta Fundación, pasando por Aracataca a través de la Zona Bananera. (Rincón, 2007).

El Ferrocarril de la Sabana comunicó a Bogotá con el Río Magdalena a la altura de Puerto Salgar, obra que estuvo a cargo de los Ingenieros Colombianos Indalecio Liévano y Juan Nepomuceno González Vásquez en 1.882; esta llegó a Facatativá en 1.889, pero sólo hasta 1.925 se prolongó hasta el bajo Magdalena y se logró un empalme con el Ferrocarril de Girardot. En 1.936 se prolongó hasta Puerto Salgar (Rincón, 2007).

El Ferrocarril de Cartagena consistió en la construcción de un ferrocarril que comunicara Cartagena con Calamar, sobre el Río Magdalena. La obra se llevó a cabo en cinco años y trajo consigo la construcción del Muelle La Machina, el cual se incendió en agosto de 1.930. Después de la administración a través del Concejo Administrativo de Ferrocarriles Nacionales, en 1.951 se suspendió el servicio debido a la regularización del servicio por el canal del Dique (Rincón, 2007).

El Ferrocarril del Norte cubre la ruta Bogotá, Puente del Común, Cajicá, Zipaquirá, Chiquinquirá y Barbosa; en 1.889 se inició la construcción del tramo Bogotá, Zipaquirá, que posteriormente se extendería en 1.894 hasta el Puente del Común, dos años después Cajicá y en 1.898 hasta Zipaquirá. En 1.906 se contrató la prolongación hasta Bucaramanga, sin embargo, sólo en 1.926 llegó hasta Chiquinquirá y hasta Barbosa en 1.935 (Rincón, 2007).

Posterior a la construcción de las principales líneas férreas del país, en 1.954 a través del Decreto 3129 se creó la empresa Ferrocarriles Nacionales de Colombia FCN adscrita al Ministerio de Obras Públicas, con el fin de unificar en un solo ente estatal el sistema de transporte férreo; sin embargo, la creación de esta empresa no influyó dentro de la operación y pésimas condiciones físicas que para ese entonces presentaban las redes ferroviarias (SENA, 2006).

En 1.961 fue posible integrar las líneas que habían sido construidas, uniendo las principales ciudades con los puertos de Santa Marta y Buenaventura, por lo que se alcanza una longitud total de línea construida de 3.431 Km (SENA, 2006); pero la decaída de este modo de transporte, el desbordamiento del río Cauca en 1.972 y con él la destrucción de la línea de comunicación entre Medellín y el Pacífico, la ausencia de un plan estratégico de transporte, la crisis financiera de los Ferrocarriles, el sobredimensionamiento y la mala distribución de la planta de personal y el alto porcentaje de pensionados, respecto al personal activo, influyeron representativamente sobre la operación del transporte férreo (CCI, 2012). Sin embargo, en 1989, después de analizar la situación financiera de la empresa y para promover el resurgimiento de la empresa; se inició la modificación de la estructura institucional, razón por la cual se liquidó Ferrocarriles Nacionales de Colombia y se creó la Empresa Colombiana de vías Férreas (FERROVÍAS), empresa industrial y comercial del estado encargada de mantener, mejorar, rehabilitar, extender, modernizar, explotar, dirigir y administrar la red férrea nacional, y se autorizó la creación de empresas de transporte ferroviario de carácter mixto o enteramente privado, para la explotación y comercialización del sistema (PR, 1989).

En el año 1.995 y con el fin de continuar con el rescate del transporte férreo en el país surgió el documento CONPES 2775 el cual trataba acerca de la participación del sector privado en la infraestructura física y allí se recomendó concesionar 1.880 Km de la red férrea nacional. Por otro lado, el documento CONPES 2776 de 1995 recomendó la estrategia para la modernización de la red férrea nacional y la implementación del sistema de concesiones (CCI, 2012), en donde participaron el Departamento Nacional de Planeación, el Ministerio de Hacienda, Ferrovías y los consultores internacionales (SENA, 2006).

La figura de concesión en el transporte férreo, consistió en el aporte por parte del estado a los concesionarios de unas determinadas cifras de dinero regulando la incorporación de terceros operadores mediante el pago de unos derechos de entrada y de utilización de la vía. Los postulados tenidos en cuenta fueron los relacionados con un tiempo de concesión de 30, cesión al sector privado de toda la infraestructura del transporte ferroviario, aportes máximos del gobierno nacional y el sector privado asumiría los costos referentes a los excedentes de la rehabilitación y a los necesarios para el mantenimiento, operación y explotación del servicio (SENA, 2006).

Con base en lo anterior, en 1.998 Ferrovías estructuró y adjudicó la concesión de la red Férrea del Pacífico y posteriormente en 1.999, la Concesión de la red Férrea del Atlántico; sin embargo, no se logró la recuperación de 1.991 Km de línea Férrea (CCI, 2012). En el 2.003, se suprimió la empresa Ferrovías y se creó el Instituto Nacional de Concesiones (INCO), el cual creado con el objeto de planear, estructurar, contratar, ejecutar y administrar los negocios los negocios de infraestructura de transporte que se desarrollaban con capital privado y en especial las concesiones, en los modos carretero, fluvial, marítimo, férreo y portuario (SENA, 2006), entidad que operó hasta el 2.011; pues a través del Decreto 4165 de 2.011, se decretó el cambio de naturaleza jurídica del Instituto Nacional de Concesiones (INCO) de establecimiento público a Agencia Nacional Estatal de Naturaleza Especial, con personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, financiera y técnica, que se denominará Agencia Nacional de Infraestructura, adscrita al Ministerio de Transporte (MT, 2011).

2.5. Gestión integral de residuos sólidos (GIRS).

La política pública nacional para la GIRS articula la visión ambiental con el componente de SPA, para ello plantea encaminar los esfuerzos de los distintos actores involucrados en la gestión para consolidar una economía circular, basada en que el valor de los productos y materiales se

mantengan durante el mayor tiempo posible en el ciclo productivo; para ello se plantean la adopción de medidas para la prevención en la generación de residuos, la reducción de los residuos que son llevados a disposición final; el fortalecimiento de la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos y finalmente evitar la generación de GEI (CONPES, 2016).

En este sentido, la GIRS implica la responsabilidad de todos los actores de la gestión en la generación, separación en la fuente, recolección, transporte, transferencia, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos y con el fin de prevenir, reducir y mitigar las afectaciones al ambiente y la salud humana. Para ello es fundamental minimizar la generación de residuos sólidos, teniendo en cuenta la generación relacionada a la producción de bienes y servicios y al consumo responsable de los usuarios. Posteriormente, se debe aumentar la reutilización y el reciclaje de los residuos sólidos. Y finalmente, mejorar las tecnologías y sistemas de eliminación, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos. (CONPES, 2016).

2.6. Actividades del servicio público de aseo.

El servicio público de aseo está definido como: el servicio de recolección municipal de residuos principalmente sólidos y comprende las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos. Además, incluye las actividades complementarias de corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas; de lavado de estas áreas, transferencia, tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos (CC, 1994).

La recolección y transporte de residuos tanto aprovechables como no aprovechables son las actividades que realiza la persona prestadora del servicio público de aseo, que consiste en recoger y transportar los residuos hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento en el primer caso o hasta los sitios de disposición final en el segundo caso. En el caso de los residuos ordinarios y cuando el PGIRS establezca programas de aprovechamiento, la recolección de residuos con

destino a disposición final deberá realizarse de forma separada de aquellos con posibilidad de aprovechamiento, implementando procesos de separación en la fuente, presentación diferenciada de residuos y el uso de rutas de recolección separadas (MVCT, 2013).

El barrido, limpieza de vías y áreas públicas es la actividad del servicio público de aseo que consiste en el conjunto de acciones tendientes a dejar las áreas y las vías públicas libres de todo residuo sólido, esparcido o acumulado, de manera que dichas áreas queden libres de papeles, hojas, arenilla y similares y de cualquier otro objeto o material susceptible de ser removido manualmente o mediante el uso de equipos mecánicos. (MVCT, 2013).

El corte de césped y poda de árboles en las vías y áreas públicas es la actividad del servicio público de aseo que consiste en cortar el pasto y la poda de árboles ubicados en áreas verdes públicas sin restricción de acceso, mediante el uso de equipos manuales o mecánicos que incluye el bordeado y plateo. Comprende la recolección y transporte del material obtenido hasta los sitios de aprovechamiento prioritariamente o de disposición final (MVCT, 2013).

La transferencia es la actividad complementaria del servicio público de aseo que se realiza en el interior de una estación de transferencia, la cual consiste en trasladar los residuos sólidos de un vehículo recolector de menor capacidad a un vehículo de transporte a granel por medios mecánicos, previniendo el contacto manual y el esparcimiento de los mismos, con una mínima exposición al aire libre de los residuos (MVCT, 2013).

El tratamiento son los procedimientos a los que se someten los diferentes tipos de residuos con el fin de acondicionar y dar un valor agregado al residuo con fines de aprovechamiento o para su eliminación con el mínimo impacto operacional, al ambiente y la salud humana (Mendoza & Izquierdo, 2007).

El aprovechamiento es la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje (MVCT, 2013).

La disposición final es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente (Presidencia de la Republica, 2005).

El lavado de áreas públicas es la actividad de remoción de residuos sólidos en áreas públicas, mediante el empleo de agua a presión (MVCT, 2013).

2.7. Estaciones de transferencia.

Las estaciones de transferencia son infraestructuras empleadas para el transbordo de residuos sólidos desde el vehículo de recolección usual, a un vehículo más grande, con el fin de reducir los costos que implica el transporte de dichos desechos en camiones recolectores hasta el sitio de disposición final. En este sentido, es más económico transportar un gran volumen de desechos en vehículos de mayor capacidad sobre una distancia grande que acarrear un gran volumen de desechos en vehículos pequeños sobre una distancia grande” (Tchobanoglous, 1982).

La Figura 6 ejemplifica la problemática antes descrita, esta se elaboró mediante la determinación de los costos asociados a la actividad de recolección y a la de transferencia entre los cuales están los costos de operación del equipo de recolección, costos de operación del equipo de transferencia, costos de inversión en la estación de transferencia y costos de operación de la estación de transferencia y se les asignó un valor aproximado en dólares (Sánchez & Estrada, 1996). La figura

justifica la necesidad de contar con una estación de transferencia de residuos que además genera una serie de beneficios adicionales como lo son:

- El tiempo no-productivo de los vehículos de recolección se reduce, ya que estos vehículos no transitan de ida y vuelta al sitio de disposición final (Sánchez & Estrada, 1996).
- El costo de mantenimiento de los vehículos de recolección puede reducirse cuando estos vehículos no transitan más al sitio de disposición final, ya que los daños están asociados al mantenimiento y/o cambio de suspensiones, ejes y llantas (Sánchez & Estrada, 1996).

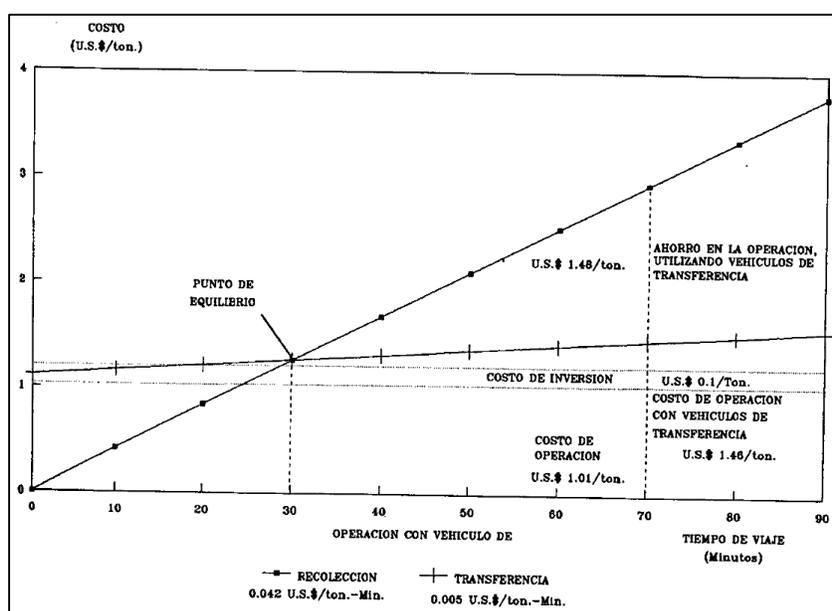


Figura 6 Determinación de la necesidad de contar con una estación de transferencia
Fuente: Sánchez & Estrada, (1996)

2.8. Tipos de estaciones de transferencia.

Las estaciones de transferencia se pueden clasificar según el volumen de residuos en toneladas que transfieren al día, según el sistema de transporte empleado para realizar la transferencia o la forma de operación de la planta respecto al descargue/cargue y/o alistamiento de los residuos sólidos.

2.8.1. Estaciones de transferencia según el volumen de operación.

Las estaciones de transferencia se pueden categorizar en: pequeñas cuando manejan volúmenes de operación menores a 100 toneladas al día, medianas cuando manejan volúmenes de operación entre 100 toneladas y 500 toneladas al día, y grandes cuando manejan volúmenes de operación mayores a 500 toneladas al día (García de Diego, 2007).

2.8.2. Estaciones de transferencia según el tipo de transporte empleado.

Las plantas de transferencia pueden ser clasificadas según el medio de transporte usado para hacer la transferencia de residuos sólidos desde la planta hasta el sitio de disposición final y dentro de las cuales tenemos con base a vehículos motorizados, ferrocarriles y - embarcaciones acuáticas.

Los vehículos motorizados consisten en el uso de tractocamiones, que generalmente cargan residuos previamente compactados; sus ventajas radican en la higiene en el transporte y la fácil carga y descarga de los residuos, Figura 7 (García de Diego, 2007) (Costa, 1982).



Figura 7 Estación de transferencia de residuos sólidos por tractocamiones en Belmonte (España)
Fuente: COGERSA. (2017). Estación de transferencia de Belmonte. Recuperado de: <http://www.cogersa.es>

Los ferrocarriles, son usados en lugares donde existe una red ferroviaria bien desarrollada y los recorridos de transporte sean muy largos, los vagones empleados son de diseño especial (de gran

tamaño y sistema especial de descargue) o pueden cargar containers con residuos previamente compactados (Figura 8); la desventaja comprende la vinculación de un operador adicional al sistema público de aseo para hacer la transferencia de los residuos (García de Diego, 2007) (Costa, 1982).

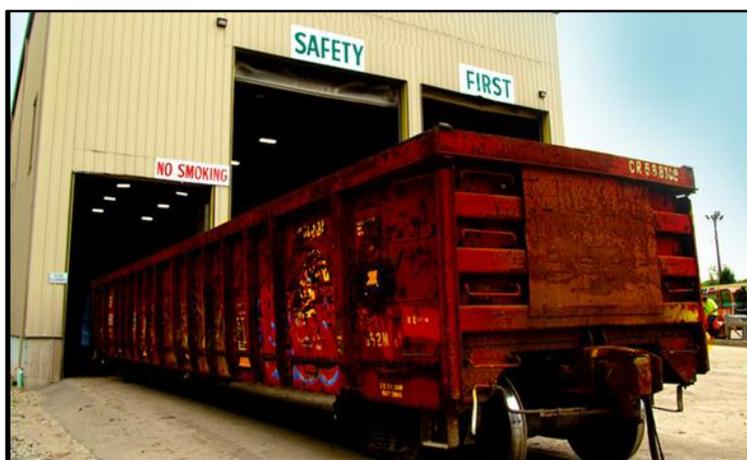


Figura 8 Estación de transferencia de residuos sólidos por ferrocarriles en New Jersey (Estados Unidos)
Fuente: Cardella Waste. (2017). A Pioneer in Waste Management & Dumpster Rentals. Recuperado de: www.cardellawaste.com

2.8.3. Estaciones de transferencia según las condiciones de operación.

Según la operación existen dos tipos de estaciones de transferencia y que están determinadas por las condiciones de operación respecto a la carga de los residuos, son estaciones de transferencia directa e indirecta. La transferencia indirecta a su vez se clasifica dependiendo si la descarga se realiza en el suelo (posteriormente el cargue del material se realiza con el uso de maquinaria pesada) o en el foso (posteriormente el cargue del material se realiza con el uso de maquinaria pesada o una banda transportadora). La transferencia directa a su vez se clasifica si el cargue del material se hace de un vehículo a otro si el uso de alguna estructura adicional, el uso de tolvas o el uso de tolvas y bandas transportadoras). Adicionalmente, estas también se clasifican según las operaciones que se usan para el alistamiento de los residuos como lo son la selección de materiales, trituración del material y/o compactación. Tabla 3.

Tabla 3 Tipo de estaciones de transferencia según las condiciones de operación

Forma de carga	Operaciones involucradas en el manejo de los residuos	Características del almacenamiento y control de la operación
Carga directa	Sin Compactación	Descarga directa en el vehículo receptor
	Con Compactación	Descarga en tolva (sin almacenamiento temporal) y cargue directo
Carga indirecta	Sin Compactación	Descarga en el suelo (almacenamiento temporal) y cargue posterior con maquinaria pesada
		Descarga en foso (almacenamiento temporal) y cargue posterior con maquinaria pesada
	Con Compactación	Descarga en tolva (con almacenamiento temporal) y cargue controlado
	Con selección y recuperación de residuos aprovechables y compactación	Descarga en tolva (con almacenamiento temporal) y cargue controlado (mediado por la recuperación y uso de banda transportadora)
	Con selección y recuperación de residuos aprovechables, trituración y compactación	Descarga en tolva (almacenamiento temporal) y cargue controlado (uso de banda transportadora)

Fuente. Autor. Construida a partir de Costa (1982) y García de Diego (2007)

2.8.3.1. Estaciones de transferencia con descarga directa.

En estas estaciones los desechos son vaciados directamente en el vehículo de transferencia. La transferencia se realiza en estaciones construidas a dos niveles en el que se eleva la plataforma de descargue o se ubica el vehículo de transporte en una rampa baja (Sánchez & Estrada, 1996). Estas estaciones tienen la desventaja que no pueden almacenar los residuos, obligando a la presencia de un vehículo de transferencia, implica filas de camiones recolectores en horas de mayor llegada, sin embargo, son estaciones sencillas y de bajo costo de inversión, Figura 9 (Costa, 1982).

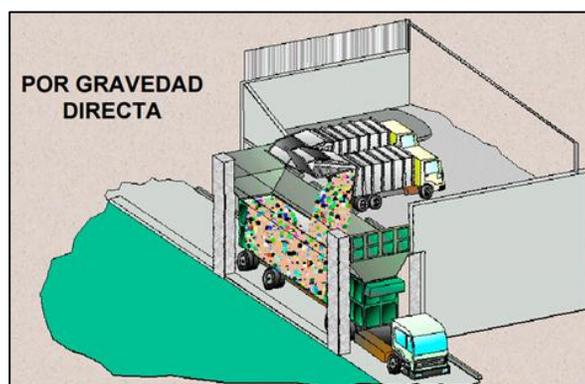


Figura 9 Estación de transferencia directa de residuos por gravedad

Fuente. Fontan (2009)

El proceso de cómo opera una estación de transferencia de cargue directo se muestra en la Figura 10, en donde es importante saber que los vehículos recolectores deben pesarse a la entrada y a la

salida para tener un registro de la cantidad de residuos presentados.

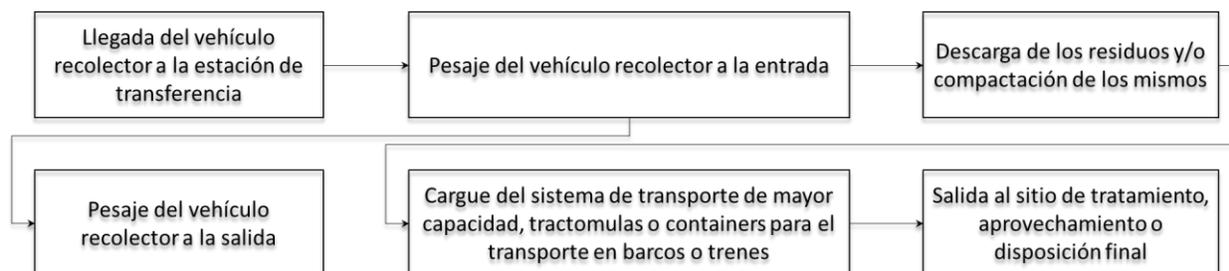


Figura 10 Proceso de transferencia para estaciones de transferencia directa
Fuente: Autor, modificada con base Tchobanoglous (1994)

2.8.3.2. Estaciones de transferencia con descarga indirecta.

En estas estaciones los desechos son vaciados en fosos o patios e implica un almacenamiento temporal. Los fosos pueden tener el sistema de fondo móvil con correas transportadoras que llevan la basura de un lugar a otro permitiendo el cargue del vehículo de transferencia o donde el cargue de los residuos a partir del foso se da a través de maquinaria pesada o se usa prensas compactadoras que fuera de compactar los residuos empujan los residuos hacia el contenedor del vehículo de transferencia, Figuras 11 a 18. En este tipo de estación de transferencia los vehículos de recolección no deben esperar mientras hacen el descargue, sin embargo, estas estaciones presentan algunas desventajas como: el entorpecimiento de la operación por fallas electro mecánicas y la posibilidad de la generación de olores ofensivos y/o presencia de plagas (Costa, 1982).



Figura 11 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en foso cargue con cinta transportadora
Fuente: Fontan (2009)



Figura 12 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en playa y cargue con maquinaria pesada
Fuente: Fontan (2009)



Figura 13 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en foso cargue con maquinaria pesada
Fuente: Fontan (2009)

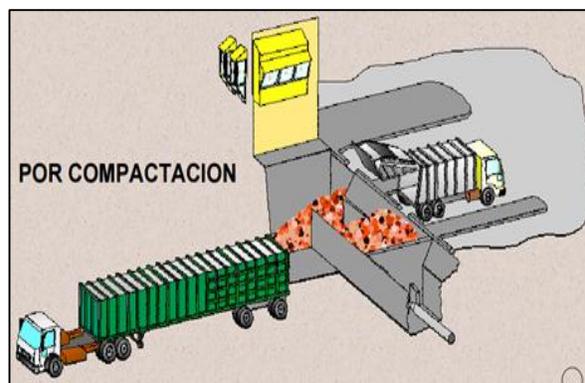


Figura 14 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en foso con compactación y cargue por empuje
Fuente: Fontan (2009)

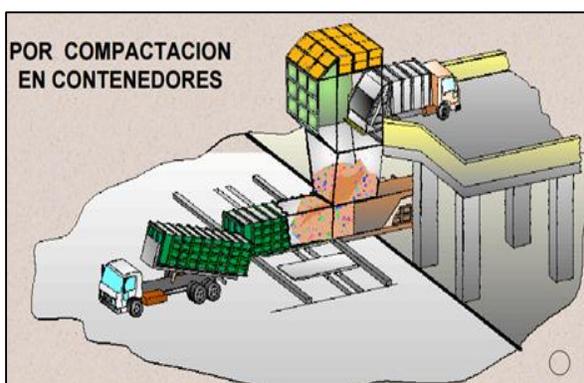


Figura 15 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en contenedores y con compactación en forma horizontal
Fuente: Fontan (2009)

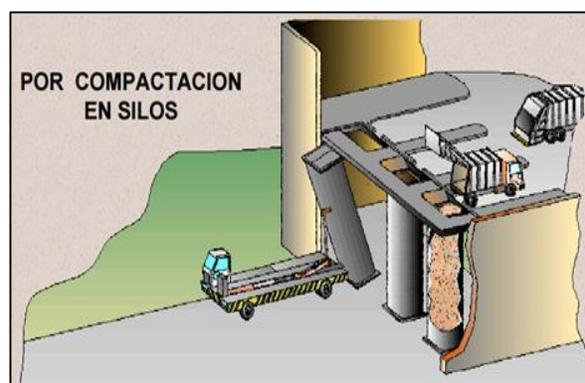


Figura 16 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en contenedores y con compactación de forma vertical
Fuente: Fontan (2009)

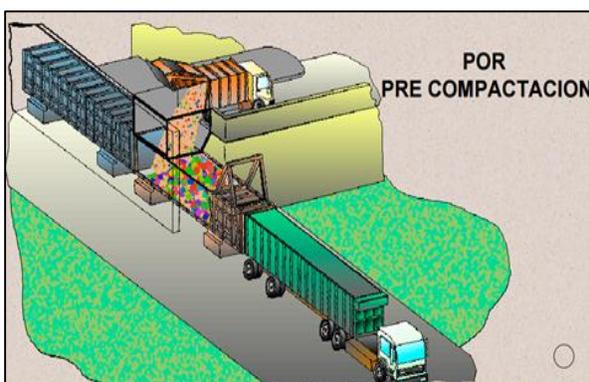


Figura 17 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en contenedores y con compactación previa en forma horizontal
Fuente: Fontan (2009)

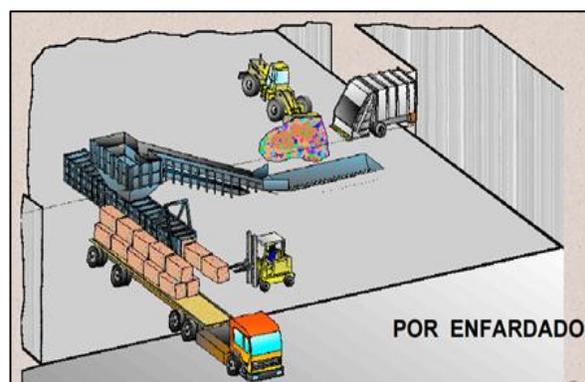


Figura 18 Estación de transferencia indirecta de residuos por descargue en foso y con compactación en forma de fardos
Fuente: Fontan (2009)

El proceso de cómo opera una estación de transferencia de carga indirecto se muestra en la Figura 19, en donde es importante saber que los vehículos recolectores deben pesarse a la entrada y a la

salida para tener un registro de la cantidad de residuos presentados, y se utilizan distintos procesos para acondicionar el material a transferir.

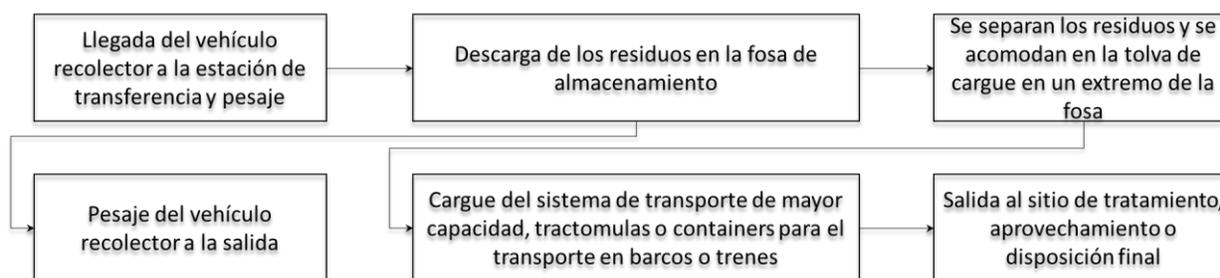


Figura 19 Proceso de transferencia para estaciones de transferencia indirecta
Fuente: Autor, modificada con base Tchobanoglous (1994)

2.8.4. Estaciones de transferencia con recuperación y acondicionamiento de materiales aprovechables.

Las estaciones de transferencia, además del transbordo de residuos sólidos desde un vehículo de recolección usual a un vehículo más grande con el fin de disminuir los costos de transporte, también pueden tener como finalidad la separación, acondicionamiento y almacenamiento temporal de residuos sólidos aprovechables. A estos lugares deben llegar los camiones recolectores de residuos sólidos residenciales, los cuales descargan los residuos recolectados para que luego se de una separación manual o mecánica; los materiales seleccionados pueden o no sufrir un proceso de acondicionamiento con el fin de dar un mayor valor agregado a la materia prima y reducir su volumen, luego son almacenados hasta que haya una cantidad suficiente para ser transportados hasta las plantas o lugares de aprovechamiento. Los residuos no aprovechables continúan su camino hasta el sitio de disposición final (Costa, 1982).

2.8.4.1. Compactación.

La compactación es realizada por medio de equipos instalados en el vehículo de transferencia o por compactadores estacionarios; dependiendo de las características físicas de los residuos se logra

una reducción del volumen en una proporción de 2:1 a 3:1, con ello se logra un mayor aprovechamiento de la capacidad de carga de los vehículos de transferencia, una mayor higiene y rapidez en las operaciones de cargue en la estación de transferencia y descargue en el sitio de disposición final (los vehículos poseen un sistema de eyección) (Costa, 1982).

Cuando la compactación es realizada por medio de equipos montados en el vehículo, los residuos son colocados por la parte superior de la caja y la compactación se realiza por medio de la placa de eyección contra la puerta trasera que permanece cerrada (Costa, 1982).

Por otro lado, cuando la compactación se realiza por medio de compactadores estacionarios, los residuos son colocados en la parte posterior de la caja, donde la caja está acoplada a una prensa hidráulica por medio de garras mecánicas y compactando los residuos contra el fondo de la caja. Adicionalmente, la compactación se puede hacer en un foso o contenedor de dimensiones similares a la caja de transporte y donde los residuos son posteriormente empujados hacia el interior de la caja cuando esta se encuentra acoplada a la prensa hidráulica (Costa, 1982).

2.8.4.2. Trituración.

La operación se realiza por medio de molinos para el manejo de residuos, los cuales reducen el volumen de los residuos, por consiguiente, maximizan la capacidad de carga de los vehículos de transferencia y facilitan la disposición de los residuos en los sitios de disposición final (Costa, 1982).

2.8.4.3. Enfardamiento.

El enfardado consiste en la compactación de los residuos en bloques, colocándoles cintas para mantener la integridad del bloque; dicho procedimiento permite la transferencia en vehículos de plataforma y un menor volumen en el sitio de disposición final (Costa, 1982).

2.9. Consideraciones para la localización de estaciones de transferencia.

La tendencia actual de crecimiento poblacional, redensificación de las áreas urbanas y aumento de los hábitos de consumo, conlleva tanto a una mayor generación de residuos como al distanciamiento de las áreas urbanas respecto al sitio de disposición final, lo cual implica el uso de estaciones de transferencia para hacer más eficiente los sistemas de transporte de los residuos sólidos. Por otro lado, desde el punto de vista regional, se puede contar con distintos centros urbanos que disponen sus residuos al mismo sitio de disposición final, pero con la diferencia que se encuentran diferentes distancias y con el agravante de que se encuentran más allá del punto de equilibrio donde el costo de transporte directo es viable y que a partir de este obliga al uso de estaciones de transferencia.

El fundamento de las estaciones de transferencia de residuos sólidos, es incrementar la eficiencia global del servicio de recolección de residuos sólidos, por medio de la reducción de costos de transporte de residuos y la optimización en el uso de los recursos físicos y humanos disponibles. Para ello, es fundamental definir el centroide de la generación de residuos sólidos de la región por atender, siendo una ponderación del centro geográfico por la generación de residuos y cuyo fin es disminuir la suma de los recorridos de las rutas de recolección hacia la estación repartiendo cargas iguales de trabajo (Sánchez & Estrada, 1996).

Adicionalmente, hay numerosos documentos que citan diferentes elementos técnicos a tener en cuenta para la localización de estaciones de transferencia de acuerdo a consideraciones económicas, ambientales, operacionales y ambientales, y que a continuación se listan en la Tabla 4.

Tabla 4 Criterios para la localización y operación de estaciones de transferencia

Criterio		MAVDT (2012)	PR (2002)	Perdomo y Ramírez (2010)	Fontán (2006)	García (2007)	EPA (2002)	Ramos, et al., (1996)
Uso de suelo	Localizar según los usos del suelo previsto por las autoridades municipales y contenidos en el POT, PBOT o EOT.		x				x	x
	Localizar en zonas industriales, comerciales-industriales, comerciales mayoristas y transferencia general de mercaderías.				x		x	
	Excluir áreas donde existan humedales y llanuras de inundación, hábitats de flora y fauna en peligro de extinción y protegidos, tierras agrícolas principales, parques y lugares protegidos de interés histórico, arqueológico o cultural.						x	
Vial	Ubicar en sitios con diferentes alternativas de circulación.				x			
	Acceder a vías arteriales importantes, con una mayor velocidad vehicular o de menor flujo vehicular y sin obstaculizar el tránsito vehicular o peatonal.	x	x	x	x		x	
	Considerar la información sobre la red vial: tipo de pavimento (tránsito pesado), horario de circulación, estado de conservación de las vías, existencia de puentes, pasos a nivel, curvas horizontales y verticales,			x	x		x	x
	Ubicar lejos de áreas con picos de tráfico vehicular y peatonal a medio día.						x	
Técnico	Localizar de forma que los rellenos sanitarios deben estar ubicados entre 20 a 40 kilómetros (Último punto de recolección < a 10 Km es inviable, entre 10 y 20 Km en un 30% de los casos es rentable, y > a 20 Km siempre es rentable). La distancia óptima de referencia para Colombia es de 34,51 Km a partir del centroide donde se presta el servicio.			x		x	x	
	Ubicar antes de los peajes.			x				
	Se debe considerar el nivel de ingresos de la población y su respectiva densidad poblacional para inferir la tasa de generación de residuos sólidos							x
	Es necesario realizar proyecciones de población, las cuales son herramientas imprescindibles en la planificación de cualquier obra							x
	Ubicar cerca al centro de gravedad (centroide) de la zona de influencia de producción de residuos sólidos que se va a servir (rutas de recolección)	x			x			
	Ubicar cerca a los medios de transporte secundario y/o suplementario para el transporte de residuos sólidos.	x						
Operativo	Delimitar el área de estudio con toda precisión anotando las diversas características físicas o naturales respecto a la topografía y la climatología						x	x
	Disponer de los servicios públicos de aseo urbano, acueducto, alcantarillado, energía eléctrica y teléfono que permita la operación normal de las actividades y mantener la limpieza	x	x				x	
	Contar con un sistema definido de cargue y descargue, de pesaje acorde con las necesidades de la estación, de un sistema alterno para operación en casos de fallas o emergencias y los permisos correspondientes		x					

Criterio		MAVDT (2012)	PR (2002)	Perdomo y Ramírez (2010)	Fontán (2006)	García (2007)	EPA (2002)	Ramos, et al., (1996)
	Considerar los requerimientos del terreno de acuerdo al tonelaje de residuos a manejar (Operación de menos de 50 Ton/día no son rentables)				x	x	x	
	Los sitios con pendiente moderada pueden utilizar la topografía a su favor para facilitar las actividades de operación de descargue, compactación y cargue de la planta de transferencia.						x	
	Tener vías internas en el predio con pendientes y curvas graduales para maniobrar de manera eficiente y segura de vehículos según su longitud, áreas de expansión para atender futuros aumentos del tonelaje diario, realizar actividades de recuperación y tratamiento de materiales reciclables y/o compostable						x	
	Tener un sistema de aislamiento y manejo de impacto ambiental conformado por espacios abiertos (zonas de amortiguamiento) y limitado por barreras naturales, cercas, paredes de sonido, árboles, y muros de contención.						x	
Impacto	Minimización de impactos negativos al ambiente, a la salud humana y de carácter en el área del proyecto.	x	x				x	
	Ubicar lejos de áreas de influencia de establecimientos docentes, hospitalarios, militares y otro sobre cuyas actividades pueda interferir.	x	x				x	

Fuente: Autor

2.10. Costos y tarifas asociadas al transporte y transferencia de residuos.

La Resolución 720 de 2015 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 y la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo, entre ellas la de los costos asociados a la recolección y transporte, tanto con presencia como con ausencia de estaciones de transferencia representados en la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Función de costos de recolección y transporte

$$CRTz = \text{MIN}(f1,2) + PRTz$$

Fuente: (CRA, 2015)

Donde:

CRTz: Costo de recolección y transporte de residuos no aprovechables expresado en \$COP/Tonelada.

f1: Función que remunera el Costo de Recolección y Transporte de residuos sólidos en compactador hasta la entrada del sitio de disposición final dada por:

Ecuación 2 Función de costos de recolección y transporte sin transferencia

$$f1 = 64.745 + 738 * D + \frac{8.683.846}{QRTz}$$

Fuente: (CRA, 2015)

f2: Función que remunera el Costo de Recolección y Transporte residuos sólidos en compactador hasta una estación de transferencia y a granel desde ésta hasta la entrada del sitio de disposición final dada por:

Ecuación 3 Función de costos de recolección y transporte con transferencia

$$f1 = 87.823 + 278 * D + \frac{25.211.213}{QRTz}$$

Fuente: (CRA, 2015)

D: Distancia desde el centroide hasta el sitio de disposición final (Km). Cada kilómetro de vía despavimentada equivaldrá a 1,25 kilómetros de vía pavimentada.

QRTz: Promedio de toneladas recolectadas y transportadas en el APS del servicio z de la persona prestadora j del semestre que corresponda (toneladas/mes).

PRTz: Suma de los peajes por mes que paga el vehículo en su recorrido de ida y vuelta por APS. (Pesos/tonelada-mes).

Ahora bien, con el fin de poder realizar un análisis completo de las funciones previamente mencionadas, es importante saber cómo se construyó, de dónde salieron las variables y coeficientes que se presentan en las ecuaciones. Para la construcción del modelo se establecieron los costos de transporte para camiones compactadores y tracto camiones dependiendo de la distancia de recorrido y del tamaño de mercado o cantidad de residuos sólidos asociados al sistema. Para la unificación de características de los camiones compactadores se sistematizó la información de las condiciones técnicas de diferentes empresas prestadoras del servicio de aseo en Colombia para así establecer una capacidad media en yardas cubicas aplicable a todo el país como se observa en la tabla 5.

Tabla 5 Capacidad media de vehículos compactadores en Colombia Capacidad vehículo (Y3)

Capacidad vehículo (Y3)	Toneladas	Proporción Toneladas	# Vehículos	Proporción de Vehículos
5	204	0,1%	1	0,2%
6	50	0,0%	1	0,2%
7	2.243	0,6%	11	1,7%
8	8.362	2,1%	37	5,6%
9	149	0,0%	5	0,8%
10	971	0,2%	3	0,5%
13	1.328	0,3%	8	1,2%
14	4.582	1,2%	13	2,0%
16	37.048	9,3%	77	11,8%
17	7.679	1,9%	14	2,1%
18	8.131	2,0%	15	2,3%
20	27.944	7,0%	42	6,4%
21	10.855	2,7%	24	3,7%
25	284.366	71,5%	399	60,9%
28	4.217	1,1%	5	0,8%
Total	397.926	100,0%	655	100,0%
Capacidad media		22,77		21,3

Fuente: (CRA, 2015)

Obteniendo una capacidad media de 21,3 yd³ con un valor de inversión o adquisición correspondiente a \$374.515.237 para 2014, por lo cual el modelo trabaja con camiones compactadores de esta capacidad. En cuanto a los tracto-camiones se estableció una capacidad

máxima de carga de 26 y 30 T para vehículos de 5 y 6 ejes respectivamente según reportes del Ministerio de Transporte.

La estimación de tiempos se estableció con base a la sistematización de información, con un tiempo de recolección medio de 4,17 horas en camiones compactadores de la capacidad media previamente establecida. Posteriormente, se estableció una función de distancias respecto a las toneladas recolectadas con base en información recolectada en 81 municipios, Figura 20. Para ello se consideró el área de estos municipios como un rectángulo y suponiendo la ubicación del centroide en la mitad de este, determinando la distancia entre el centroide y el perímetro urbano.

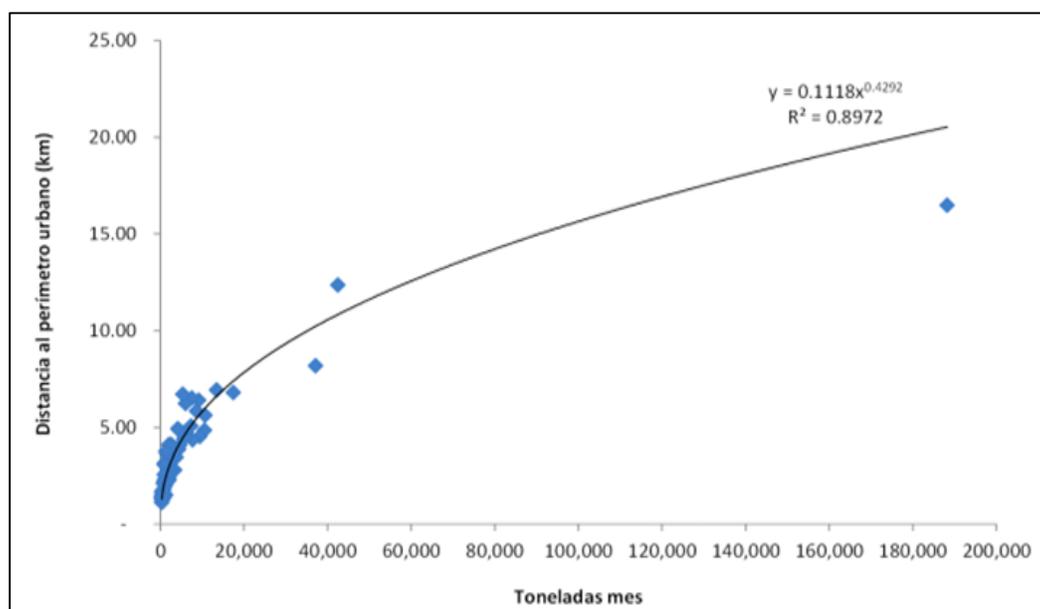


Figura 20 Función de distancia al perímetro urbano en función de la cantidad de residuos
Fuente: (CRA, 2015)

Junto a las distancias, se establecieron las velocidades de recolección y transporte considerando para el transporte en tramo urbano la velocidad media de transporte en las ciudades de Bogotá, Bucaramanga, Cartagena y Medellín. Las velocidades se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6 Velocidades de recolección y transporte de residuos solidos

Actividad	Velocidades Km/hora
RECOLECCION	4
TRANSPORTE Tramo URBANO	26,29
TRANSPORTE Carretera	35

Fuente: (CRA, 2015)

Teniendo en cuenta lo anterior, se obtiene la distancia promedio por viaje, multiplicando el tiempo por la velocidad de recolección teniendo un valor de 17 Km/viaje. Los tiempos de transporte se obtienen multiplicando las distancias de la función grafica previamente expuesta por la respectiva velocidad, pero para el presente proyecto se aplicarán las distancias exactas por medio del SIG.

Teniendo definidos los tiempos y distancias se procede a determinar el costo total, en donde el modelo propuesto consideró:

1. Costos variables: Costos dependientes de la operación de los vehículos empleados en el sistema de recolección y transporte y todas las variables asociadas, como el consumo de insumos y la distancia de recorrido expresados en \$/Km entre otras variables de operación y mantenimiento. Para ellos la CRA consideró un 10% sobre el valor de la inversión como se venía estableciendo en normatividades pasadas con un ajuste de un 20% más asociado a recorridos improductivos en la recolección que aumentan el valor de estos costos. De esta forma y teniendo en cuenta el informe “Estructura de costos de operación vehicular 2006” del Ministerio de Transporte se establece un costo variable para cada tipo de vehículo en la Tabla 7.

Tabla 7 Costos variables por vehículo del sistema de aseo (\$/Km)

Costos Variables	Recolección y transporte	Tracto camión 30 toneladas	Tracto camión 26 toneladas
Transporte vacío urbano	2.959	4.052	3.512
Recolección	3.550		
Transporte urbano al relleno	2.959	4.052	3.512
Transporte por carretera ida lleno	3.033	4.153	3.599

Costos Variables	Recolección y transporte	Tracto camión 30 toneladas	Tracto camión 26 toneladas
Transporte por carretera regreso vacío	3.033	4.153	3.599
Transporte urbano regreso vacío	2.959	4.052	3.512

Fuente: (CRA, 2015)

Obteniendo el costo variable de la siguiente forma:

Ecuación 4 Función de costos variables

*Costo variable: [Número de viajes mes * distancia recorrida] * [Costo por kilometro]*

2. Costo de personal: Teniendo en cuenta todos los costos de los operadores del sistema. Para ello se tiene:

Ecuación 5 Función de costos de personal

Costo personal

$$= (\text{Costo cuadrilla mes} * \text{numero de cuadrillas requeridas por mes}) * (1 + \text{rendimiento KT})$$

3. Costos fijos y de inversión: En cuanto a los costos fijos se consideraron impuestos, seguros, comunicaciones, revisión técnico mecánica y extintor, obteniendo los costos de la siguiente tabla para cada tipo de vehículo en \$/mes:

Tabla 8 Costos fijos mensuales por vehículo del sistema de aseo

Concepto	Compactador	Tracto camión 26 T	Tracto camión 30 T
Impuestos (0,5%)	\$ 157.298	\$ 190.426	\$ 207.284
Seguros (10%)	\$ 3'145.960	\$ 3'808.512	\$ 4'145.683
Comunicaciones (plan móvil de datos y vos)	\$ 112.500	\$ 112.500	\$ 112.500
Revisión técnico mecánica	\$ 7.233	\$ 8.983	\$ 8.983
Extintor	\$ 4.876	\$ 4.876	\$ 4.876
Costos fijos totales Mes/Vehículo	\$3'427.868	\$ 4'125.298	\$ 4.479.327

Fuente: (CRA, 2015)

Los costos de inversión consideraron la inversión inicial de adquisición, los costos de identificación del vehículo y costos de tecnología GPS, teniendo:

Tabla 9 Costos de inversión por vehículo del sistema de aseo

Concepto	Compactador	Tracto camión 26 T	Tracto camión 30 T
Inversión inicial	\$ 374.515.237	\$ 454.021.482	\$ 494.481.914
Costo de identificación vehículos	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
Costo de tecnología (GPS)	\$ 7.212.000	\$ 7.212.000	\$ 7.212.000
Inversión total	\$ 384.727.237	\$ 464.233.482	\$ 504.693.914

Fuente: (CRA, 2015)

4. Costos de transferencia: Para estos costos la CRA empleó modelos de ingeniería a partir de los costos asociados a las estaciones de transferencia de INTERASEO en Palmaseca, Valle del Cauca y de Sabaneta, Antioquia. A partir de ello se establecieron los costos por tonelada para tres estaciones de transferencia de referencia de diferente capacidad.

Tabla 10 Costos de transferencia por capacidad media de estación.

Capacidad (T/mes)	Costo de inversión (COP)	Costo de operación (\$/T)
65.000	27.236.610.838	8.133
11.648	6.801.886.278	12.890
3.000	2.709.379.196	22.363

Fuente: (CRA, 2015)

3. Materiales y Métodos.

3.1. Priorización y asociación de variables para la localización de sitios potenciales para estaciones de transferencia férreas en el Departamento de Cundinamarca.

Según los criterios para la localización y operación de estaciones de transferencia descritos en múltiples documentos técnicos de orden nacional e internacional se hizo una preselección de los elementos a tomar de acuerdo a la relevancia del proyecto, teniendo en cuenta la disponibilidad de información y su aplicabilidad a un sistema de transferencia férreo.

3.1.1. Proyección de población.

El estudio de proyección de población para cada uno de los municipios inmersos en el proyecto, fue realizada con base en los resultados aportados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), éstos se basan en el modelo de cohortes que comprende una serie de variables político – socio – administrativas que ajustan con mayor precisión las dinámicas de crecimiento o decrecimiento poblacional de los municipios y que se encuentran en https://www.dane.gov.co/files/.../poblacion/...20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls, documentados en el Anexo 1. Posteriormente, los datos se proyectaron a 30 años (2048) según los requerimientos normativos del Reglamento de Agua Potable y de Saneamiento Básico – Título F para proyectos de complejidad alta (mayores a 60.000 usuarios) y se realizó el análisis gráfico de los datos resultantes.

3.1.2. Proyección de generación de residuos sólidos.

La proyección de generación de residuos para cada municipio al año 2048, partió del cálculo de la producción per cápita y esta a su vez se realizó teniendo en cuenta la población para el año de

análisis y la información (Toneladas dispuestas por municipio) aportada por el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo y reportada en el Informe de Cumplimiento Ambiental No 22, Ecuación 6.

El análisis para todos los municipios se realizó con información del año 2015 (datos completos para todo el año), a excepción de Ubalá año 2016 (con información de enero a marzo, periodo de corte para la elaboración del ICA No 22) y Yacopí para el que se tomó el año 2014 (último año con reportes de disposición de residuos sólidos).

Ecuación 6 Función de estimación de la producción per cápita de residuos sólidos (ppc_{rs})

$$ppc_{rs} = \frac{\text{Residuos sólidos dispuestos por el municipio}}{\text{Población del municipio}}$$

Posteriormente, el cálculo de la generación de residuos para cada municipio a 2048 es el producto entre la población de cada año previamente proyectada y la ppc_{rs}

3.1.3. Criterios de uso de suelo.

Se tuvieron en cuenta los usos de suelo principales contenidos en el POT, PBOT o EOT de los municipios y que se encuentran agrupados en las capas de información de la Gobernación de Cundinamarca. La localización de las estaciones de transferencia en zonas industriales, comerciales-industriales, comerciales mayoristas y transferencia general de mercaderías no se asumirá de forma restrictiva porque en la mayoría de los municipios estas zonas están asociadas a los cascos urbanos y normativamente en Colombia no se permite. De esta forma, se consideraron en el área rural usos de suelo que no fueran de vocación agrícola principal y que no estén considerados como áreas de relevancia ambiental o sociocultural como: áreas de protección o reserva natural, humedales, llanuras de inundación, hábitats de flora y fauna en peligro de extinción y lugares protegidos de interés histórico, arqueológico o cultural.

3.1.4. Criterios viales.

Las vías a usar estuvieron delimitadas a las que permita a los vehículos del servicio de aseo municipales tener acceso al corredor férreo de forma directa, usando autopistas (vías que cuentan con dos o más carriles y están diseñadas para la movilización masiva de automóviles, buses y vehículos de carga) y carreteras principales (vías que permiten la entrada y salida de vehículos y conectan con otras vías más pequeñas).

Las consideraciones tanto de obstaculización al tránsito vehicular o peatonal, como el uso en horarios en picos de tráfico vehicular se encuentran asumidas por las características inherentes a estas vías que son: vías con escaso flujo peatonal, alto volumen y velocidad vehicular en el caso de las autopistas, y vías con escaso flujo peatonal, bajo a medio flujo y velocidad vehicular en el caso de las carreteras principales.

3.1.5. Centro de gravedad (centroide).

De acuerdo con la resolución CRA 351 de 2005 el centroide para proyectos de residuos sólidos se calcula:

“Artículo 5°. Centroide. Para el cálculo del Centroide, el área de prestación de servicio deberá dividirse en áreas de tamaño homogéneo como máximo de un (1) Km². Para cada una de estas áreas, se establecerá un centroide particular, determinado como el centro de la figura geométrica que se constituye en el área de tamaño homogéneo. Cada uno de estos puntos se ubicará en un plano y se establecerá un promedio de los ejes de las abscisas primero, y de las ordenadas después, ponderando cada punto por el número de suscriptores que se ubican en cada área homogénea. El punto de cruce entre el promedio ponderado por los suscriptores de las abscisas y las ordenadas se determinará como el centroide del área de servicio.

La ubicación del centroide y la distancia con respecto del sitio o sitios de disposición final, para cada una de las áreas de prestación de servicio, deberá ser reportado por el prestador al momento de aplicación de la presente resolución a través del Sistema Único de Información SUI. De presentarse una modificación en dicho centroide igualmente deberá reportarla al mencionado Sistema.

Parágrafo. Alternativamente al cálculo del centroide, cada prestador, para efectos de lo establecido en la presente resolución, podrá calcular la distancia a los sitios de disposición final como la diferencia en

kilómetros entre el límite del área de prestación más cercano a cada sitio de disposición final y este último. En este caso deberá informar la distancia al sitio de disposición final al Sistema Único de Información, SUI.”

3.1.6. Distancia de localización de la transferencia respecto al municipio y el relleno sanitario.

La distancia de localización de la transferencia se hizo por el análisis matemático entre la distancia recorrida y el costo entre el transporte por carretera y el sistema de transferencia por vía férrea hasta el relleno sanitario, determinando la distancia a partir del cual el sistema de transferencia es costo eficiente.

3.1.7. Pendiente del terreno.

La localización de la planta de transferencia según la pendiente del terreno se hizo en zonas de pendiente entre el 0% y 12% (Fontán, 2006), pero estableciendo cuatro categorías en este intervalo para hacer más restrictiva la ubicación como se describe en la Tabla 11.

Tabla 11 Costos de transferencia por capacidad media de estación

Pendiente	Preferencia de localización
0 a 3%	Altamente deseable
3% a 6%	Medianamente deseable
6% a 9%	Bajamente deseable
9% a 12%	Poco deseable

Fuente. Autor

3.1.8. Criterios de área de la planta de transferencia.

El área requerida para la localización de la planta de transferencia tuvo en cuenta una operación de menos de 50 Ton/día y las áreas ideales máximas requeridas según Fontán, (2006), Tabla 10.

Tabla 12 Costos de transferencia por capacidad media de estación

CAPACIDAD DE LA ESTACIÓN - Jornada 8 h (Ton/día)	SUPERFICIE REQUERIDA (Ha)	
	IDEAL	MÍNIMA
100	1 a 2	0,5 a 1
500	1,5 a 3	0,7 a 1,5
1000	3 a 6,5	1 a 2
1500	4 a 8	1,5 a 3

Fuente: Fontán, 2006.

3.1.9. Criterios sociales.

Las plantas de transferencia se localizarán a un (1) kilómetro de distancia de establecimientos docentes, hospitalarios, militares y otros donde se pueda interferir con sus actividades.

3.1.10. Asociación de las variables a un Sistema de Información Geográfico con el software ArcGIS.

Definidas las variables se emplea el software ArcGIS como sistema de información geográfica para la representación espacial de cada una de las variables en el departamento de Cundinamarca. Se partió de capas base obtenidas del departamento nacional de planeación donde se tienen: usos propuestos del suelo, áreas de protección, zonas de reserva, vías férreas y vehiculares, sitios de interés y peajes, cabeceras municipales, y curvas de nivel.

A partir de estas capas se generaron nuevas capas a partir de diferentes procesos donde se considera:

- Modelo raster de superficie tomando como base las curvas de nivel y el geoproceto “Topo to Raster”
- Mapa de sombras y mapa de pendientes a partir del modelo raster creado.
- Capa de zonas viables en donde se despreciaron áreas de reserva, zonas de protección y usos de suelo diferentes al uso de desarrollo rural, obteniendo así áreas en donde el uso de suelo permitía el establecimiento de estaciones de transferencia.
- Buffer de 1 Km de sitios de interés y de peajes en donde no es viable establecer estaciones dada la alta congestión vehicular que se da en estas zonas.

- Red de transporte férreo y de transporte vehicular que permite calcular distancias y tiempos considerando la impedancia en tiempo y en distancia a partir de la herramienta “Network Analyst” del software.
- Capa de centroides definidos.
- Capa de estaciones de transferencia definidas.

3.2. Evaluación la bondad del sistema regional de transferencia férreo de residuos sólidos

3.2.1. Evaluación de los costos asociados al transporte de residuos sólidos mediante la Resolución CRA 720 de 2015

El análisis de costos se realizó en el marco de la resolución 720 de 2015 de la CRA en donde se establecen funciones para el cálculo de costos con presencia y ausencia de transferencia para vehículos movilizados por carretera. Las funciones incluyen dos variables, que son las distancias recorridas y la cantidad de residuos. Por otra parte, se consideró para el cálculo de costos de transporte por vía férrea la resolución 184 de 2009 expedida por el Ministerio de Transporte en donde se establecen las tarifas correspondientes a los operadores y usuarios de transporte ferroviario de carga y pasajeros en el Corredor del Sistema Ferroviario Central, en donde se establece el costo por tonelada y kilometro recorridos para diferentes corredores férreos importantes en el país. Para ambos casos las distancias se determinaron mediante las redes de transporte férreo y por carretera creadas en el software.

Los residuos por su parte fueron proyectados considerando la metodología presentada en el numeral 3.1.2.

Con los residuos y las distancias resultantes se calcularon los costos sin transferencia, con transferencia y con transferencia y separación de residuos inorgánicos aprovechables para poder

de este modo comparar las tres alternativas propuestas y determinar cuál es económicamente más viable.

3.2.2. Evaluación de los tiempos de transferencia de residuos sólidos al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo.

Se determinaron las distancias y se diseñaron redes o mallas para transporte vehicular y férreo, a partir del empleo de la herramienta Network Analyst del software, estableciendo dos puntos en el mapa para determinar la ruta más corta tanto en distancia como en tiempo de recorrido, esto queda plasmado en las vías establecidas en los shapefiles, para cada una de éstas se asoció una velocidad, para tener una estimación del tiempo de desplazamiento.

4. Resultados y discusión de resultados

4.1. Proyecciones de población

Se realizaron las proyecciones de población a 30 años (2048) para los municipios que disponen residuos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo, la Tabla 13 presenta los valores decadales resultantes, la función de la línea de tendencia y el coeficiente de correlación (R^2). La mayoría de las proyecciones de los municipios a excepción del municipio de Tibirita presentan un coeficiente de correlación mayor a 0,9 indicando la alta correlación entre las variables de población y tiempo, asegurando la aplicabilidad de la metodología para estimar la población. De acuerdo con los resultados presentados la población a servir por el proyecto de regionalización es de 2'631.676 habitantes.

Tabla 13 Proyección de la población de los municipios que disponen sus residuos sólidos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo

Municipio	Población (hab)				Función	R ²
	2018	2028	2038	2048		
Albán	1.614	1.631	1.647	1.664	$y = 1,6265x - 1667,3$	0,9973
Anolaima	3.610	3.344	3.075	2.807	$y = -26,863x + 57822$	0,9999
Bituima	445	465	483	502	$y = 1,8176x - 3220,9$	0,9886
Bojacá	10.029	12.507	14.997	17.486	$y = 248,97x - 492405$	1,0000
Cachipay	3.132	3.077	3.021	2.964	$y = -5,6309x + 14496$	0,9992
Cajicá	38.203	46.699	55.183	63.666	$y = 848,34x - 2E+06$	1,0000
Carmen de Carupa	2.636	3.380	4.137	4.895	$y = 75,735x - 150211$	0,9997
Chaguani	742	698	655	612	$y = -4,2735x + 9364,2$	0,9977
Chía	106.697	131.929	157.129	182.328	$y = 2519,9x - 5E+06$	0,9992
Chocontá	14.001	17.685	21.376	25.066	$y = 369,06x - 730775$	0,9992
Cogua	7.424	9.011	10.597	12.184	$y = 158,66x - 312747$	0,9992
Cota	15.371	18.884	22.384	25.883	$y = 349,96x - 690844$	0,9992
El Colegio	8.501	9.148	9.788	10.428	$y = 63,959x - 120560$	0,9997
El Peñón	445	441	438	435	$y = -0,3088x + 1067,8$	0,9875
El Rosal	13.283	16.418	19.545	22.673	$y = 312,74x - 617812$	0,9992
Facatativá	126.239	149.706	173.150	196.593	$y = 2344,4x - 5E+06$	0,9992
Fómeque	4.752	5.218	5.644	6.070	$y = 42,582x - 81139$	0,9911
Funza	74.651	88.068	101.488	114.908	$y = 1342x - 3E+06$	0,9992
Fúquene	271	300	328	357	$y = 2,8471x - 5473,8$	0,9999
Fusagasugá	114.822	136.829	158.876	180.923	$y = 2204,7x - 4E+06$	0,9992
Gachalá	2.037	2.141	2.238	2.334	$y = 9,65x - 17429$	0,9957
Gachancipá	9.120	11.609	14.098	16.588	$y = 248,95x - 493271$	0,9992
Gachetá	3.846	4.303	4.766	5.229	$y = 46,324x - 89642$	0,9998
Gama	895	1.070	1.246	1.421	$y = 17,562x - 34545$	0,9992
Granada	2.174	2.611	3.050	3.490	$y = 43,925x - 86469$	0,9992
Guachetá	3.774	3.890	4.000	4.109	$y = 10,954x - 18326$	0,9974
Guasca	5.532	6.696	7.853	9.009	$y = 115,65x - 227839$	0,9992
Guatavita	2.009	2.176	2.347	2.518	$y = 17,09x - 32482$	0,9996
Guayabal de Siquima	874	884	897	909	$y = 1,2044x - 1558,1$	0,9778

Municipio	Población (hab)				Función	R ²
	2018	2028	2038	2048		
Junín	1.031	1.190	1.343	1.496	$y = 15,324x - 29887$	0,9989
La Calera	12.441	14.657	16.848	19.039	$y = 219,1x - 429669$	0,9999
La Mesa	18.468	21.742	25.003	28.265	$y = 326,14x - 639678$	0,9992
La Palma	4.166	4.313	4.478	4.644	$y = 16,541x - 29233$	0,9940
La Peña	995	991	987	984	$y = -0,3441x + 1688,7$	0,9639
La Vega	5.428	6.078	6.715	7.352	$y = 63,685x - 123076$	0,9996
Lenguazaque	2.324	2.495	2.664	2.833	$y = 16,901x - 31781$	0,9996
Macheta	1.491	1.520	1.544	1.568	$y = 2,3662x - 3278,2$	0,9409
Madrid	71.538	85.087	98.624	112.161	$y = 1353,7x - 3E+06$	0,9992
Manta	1.318	1.498	1.669	1.840	$y = 17,126x - 33235$	0,9981
Mosquera	85.677	105.604	125.660	145.716	$y = 2005,6x - 4E+06$	0,9992
Nemocón	5.883	6.568	7.250	7.931	$y = 68,199x - 131739$	0,9992
Nimaima	3.089	3.776	4.466	5.156	$y = 68,969x - 136093$	0,9992
Nocaima	1.944	2.045	2.165	2.285	$y = 12x - 22291$	0,9761
Pacho	15.958	17.856	19.759	21.662	$y = 190,26x - 367992$	0,9992
Paime	447	381	314	248	$y = -6,6147x + 13795$	0,9999
Quebradanegra	391	415	439	462	$y = 2,3456x - 4341,6$	0,9985
Quipile	675	661	649	636	$y = -1,2529x + 3202,3$	0,9940
San Antonio del Tequendama	1.050	1.201	1.347	1.493	$y = 14,606x - 28419$	0,9991
San Cayetano	747	811	872	933	$y = 6,1206x - 11602$	0,9987
San Francisco	3.544	4.057	4.572	5.087	$y = 51,513x - 100412$	0,9992
Sasaima	2.485	2.679	2.872	3.066	$y = 19,353x - 36569$	0,9992
Sesquilé	3.850	5.007	6.176	7.345	$y = 116,87x - 232009$	0,9999
Sibaté	27.374	32.141	36.919	41.697	$y = 477,81x - 936868$	0,9992
Silvania	6.349	6.824	7.284	7.745	$y = 46,037x - 86539$	0,9979
Simijaca	7.728	9.239	10.745	12.250	$y = 150,54x - 296046$	0,9992
Soacha	538.854	648.391	758.200	868.010	$y = 10981x - 2E+07$	0,9992
Sopó	18.403	22.677	26.939	31.200	$y = 426,11x - 841474$	0,9992
Subachoque	6.413	7.495	8.589	9.684	$y = 109,44x - 214446$	0,9999
Suesca	9.122	11.186	13.233	15.279	$y = 204,65x - 403835$	0,9999
Supatá	1.546	1.669	1.794	1.919	$y = 12,525x - 23732$	0,9996
Susa	6.757	8.437	10.099	11.761	$y = 166,21x - 328632$	0,9998
Sutatausa	1.845	2.214	2.581	2.947	$y = 36,653x - 72118$	0,9999
Tabio	14.230	18.011	21.764	25.518	$y = 375,36x - 743211$	0,9992
Tausa	1.118	1.359	1.597	1.834	$y = 23,754x - 46815$	0,9996
Tena	877	1.015	1.154	1.292	$y = 13,843x - 27058$	0,9992
Tenjo	9.687	11.007	12.283	13.558	$y = 127,58x - 247724$	0,9986
Tibirita	496	491	488	485	$y = -0,3088x + 1117,1$	0,7436
Tocancipá	14.873	18.915	22.971	27.026	$y = 405,54x - 803525$	0,9992
Topaipí	825	908	987	1.066	$y = 7,9191x - 15152$	0,9977
Ubalá	1.283	1.337	1.386	1.436	$y = 4,9426x - 8686,9$	0,9922
Villa de San Diego de Ubaté	25.699	28.407	31.030	33.652	$y = 262,25x - 503442$	0,9989
Útica	2.764	2.903	3.040	3.178	$y = 13,774x - 25030$	0,9994
Vergara	1.582	1.814	2.041	2.268	$y = 22,721x - 44264$	0,9995
Vianí	1.359	1.467	1.574	1.682	$y = 10,719x - 20271$	0,9999
Villagómez	632	645	661	677	$y = 1,5868x - 2572,9$	0,9659
Villapinzón	6.873	8.047	9.219	10.392	$y = 117,23x - 229703$	0,9992
Villeta	16.513	17.825	19.112	20.399	$y = 128,72x - 243212$	0,9998
Yacopí	4.083	4.662	5.224	5.786	$y = 56,162x - 109234$	0,9991
Zipacón	2.190	2.560	2.929	3.298	$y = 36,903x - 72279$	0,9992
Zipaquirá	112.897	131.601	150.307	169.013	$y = 1870,6x - 4E+06$	0,9992
Ráquira	3.672	4.578	5.475	6.372	$y = 89,734x - 177403$	0,9999

Fuente: El autor.

4.2. Proyección de generación de residuos sólidos.

La proyección de residuos sólidos se presenta en la Tabla 14. El cálculo desglosado de la producción per cápita (ppc) de residuos sólidos se presenta en el Anexo 2. Respecto a la ppc cabe anotar que el valor medio es de 0,73 Kg hab⁻¹ día⁻¹, el 73% de los datos se ubica entre un rango de 0,2 Kg hab⁻¹ día⁻¹ a 1,2 Kg hab⁻¹ día⁻¹ y con una media acotada de 0,74 Kg hab⁻¹ día⁻¹ y se presenta una desviación estándar de dichos valores de 0,68 que es debido a la presencia de datos anómalos en el 27% de los municipios (*). La cantidad total de residuos a manejar a 30 años (2048) mediante el proyecto de regionalización es de 18'398.964,6 t, iniciando en el 2018 con un manejo anual de 460.044,3 t y finalizando con un manejo de 727.008,7 t.

Tabla 14 Proyección de la generación de los residuos sólidos de los municipios que disponen sus residuos sólidos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo

Municipio	ppc (Kg/hab día)	Población base para la proyección de residuos (hab)o				Generación de residuos para los años proyectados (t/año)			
		2018	2028	2038	2048	2018	2028	2038	2048
Albán	1,12	1.614	1.631	1.647	1.664	661,5	668,6	675,2	681,9
Anolaima	1,09	3.610	3.344	3.075	2.807	1.436,6	1.330,7	1.223,8	1.116,9
Bituima	0,93	445	465	483	502	150,5	157,4	163,5	169,7
Bojacá	0,43	10.029	12.507	14.997	17.486	1.571,4	1.959,7	2.349,8	2.739,9
Cachipay	1,04	3.132	3.077	3.021	2.964	1.192,2	1.171,2	1.149,8	1.128,4
Cajicá	1,15	38.203	46.699	55.183	63.666	16.031,0	19.596,3	23.156,2	26.716,0
Carmen de Carupa	0,36	2.636	3.380	4.137	4.895	347,1	445,1	544,8	644,5
Chaguaní	0,83	742	698	655	612	226,0	212,5	199,4	186,4
Chía	0,85	106.697	131.929	157.129	182.328	33.182,1	41.029,3	48.866,1	56.702,9
Chocontá	0,38	14.001	17.685	21.376	25.066	1.936,1	2.445,6	2.956,0	3.466,3
Cogua	1,04	7.424	9.011	10.597	12.184	2.821,1	3.424,0	4.026,9	4.629,8
Cota *	1,5	15.371	18.884	22.384	25.883	8.400,1	10.319,9	12.232,5	14.145,0
El Colegio *	1,36	8.501	9.148	9.788	10.428	4.205,9	4.526,2	4.842,7	5.159,1
El Peñón	0,99	445	441	438	435	160,4	159,1	158	156,9
El Rosal	0,85	13.283	16.418	19.545	22.673	4.116,4	5.087,8	6.057,0	7.026,2
Facatativá	0,62	126.239	149.706	173.150	196.593	28.430,9	33.716,0	38.995,9	44.275,7
Fómeque	0,76	4.752	5.218	5.644	6.070	1.312,4	1.441,1	1.558,7	1.676,3
Funza	0,89	74.651	88.068	101.488	114.908	24.246,8	28.604,7	32.963,5	37.322,3
Fúquene*	2,2	271	300	328	357	217,6	240,9	263,8	286,6
Fusagasugá	0,71	114.822	136.829	158.876	180.923	29.716,1	35.411,6	41.117,3	46.823,1
Gachalá	0,44	2.037	2.141	2.238	2.334	327,0	343,7	359,2	374,7
Gachancipá	0,67	9.120	11.609	14.098	16.588	2.241,7	2.853,4	3.465,3	4.077,2
Gachetá	0,73	3.846	4.303	4.766	5.229	1.024,6	1.146,2	1.269,6	1.393,0
Gama	0,32	895	1.070	1.246	1.421	105,5	126,2	146,9	167,6
Granada *	1,32	2.174	2.611	3.050	3.490	1.050,5	1.261,7	1.474,0	1.686,2
Guachetá	0,37	3.774	3.890	4.000	4.109	503,9	519,4	534	548,6
Guasca	0,99	5.532	6.696	7.853	9.009	2.001,0	2.422,1	2.840,4	3.258,8
Guatavita	0,71	2.009	2.176	2.347	2.518	522,0	565,4	609,8	654,2
Guayabal de Siquima	0,64	874	884	897	909	204,9	207,3	210,2	213
Junín	0,64	1.031	1.190	1.343	1.496	240,7	277,7	313,5	349,3
La Calera	1,13	12.441	14.657	16.848	19.039	5.136,8	6.051,7	6.956,3	7.860,9
La Mesa	0,91	18.468	21.742	25.003	28.265	6.148,9	7.238,9	8.324,8	9.410,7

Municipio	ppc (Kg/hab día)	Población base para la proyección de residuos (hab) o				Generación de residuos para los años proyectados (t/año)			
		2018	2028	2038	2048	2018	2028	2038	2048
La Palma	0,57	4.166	4.313	4.478	4.644	863,2	893,7	927,9	962,2
La Peña	0,81	995	991	987	984	293,6	292,4	291,4	290,4
La Vega *	1,47	5.428	6.078	6.715	7.352	2.920,8	3.270,6	3.613,3	3.956,0
Lenguazaque	0,57	2.324	2.495	2.664	2.833	483,8	519,3	554,5	589,7
Macheta	0,67	1.491	1.520	1.544	1.568	365,1	372,3	378,1	383,9
Madrid	0,75	71.538	85.087	98.624	112.161	19.628,9	23.346,5	27.060,8	30.775,1
Manta	0,5	1.318	1.498	1.669	1.840	241,2	274,1	305,4	336,8
Mosquera	1,05	85.677	105.604	125.660	145.716	32.799,7	40.428,5	48.106,5	55.784,4
Nemocón	0,37	5.883	6.568	7.250	7.931	802,1	895,4	988,4	1.081,4
Nimaima	0,42	3.089	3.776	4.466	5.156	469,5	573,9	678,7	783,6
Nocaima	1,04	1.944	2.045	2.165	2.285	738,7	777,1	822,7	868,3
Pacho	0,35	15.958	17.856	19.759	21.662	2.054,5	2.298,9	2.543,9	2.788,8
Paime	0,94	447	381	314	248	152,6	129,9	107,3	84,8
Quebradanegra *	2,9	391	415	439	462	414,4	440,1	465	489,9
Quipile *	1,24	675	661	649	636	305,9	299,7	294	288,3
San Antonio del Tequendamá *	3,02	1.050	1.201	1.347	1.493	1.157,0	1.323,6	1.484,6	1.645,5
San Cayetano	0,29	747	811	872	933	78,1	84,7	91,1	97,5
San Francisco	1,09	3.544	4.057	4.572	5.087	1.412,3	1.616,6	1.821,9	2.027,2
Sasaima *	1,22	2.485	2.679	2.872	3.066	1.106,2	1.192,4	1.278,5	1.364,7
Sesquilé *	2,8	3.850	5.007	6.176	7.345	3.929,3	5.110,2	6.303,0	7.495,8
Sibaté	0,68	27.374	32.141	36.919	41.697	6.769,9	7.948,7	9.130,4	10.312,1
Silvania	0,92	6.349	6.824	7.284	7.745	2.121,7	2.280,4	2.434,2	2.588,1
Simijaca	0,38	7.728	9.239	10.745	12.250	1.085,6	1.298,0	1.509,4	1.720,9
Soacha	0,65	538.854	648.391	758.200	868.010	127.274,0	153.145,9	179.082,2	205.018,6
Sopó	0,89	18.403	22.677	26.939	31.200	5.947,1	7.328,4	8.705,4	10.082,4
Subachoque	1,06	6.413	7.495	8.589	9.684	2.479,6	2.898,0	3.321,1	3.744,3
Suesca	0,32	9.122	11.186	13.233	15.279	1.058,2	1.297,7	1.535,1	1.772,5
Supatá	0,68	1.546	1.669	1.794	1.919	383,2	413,7	444,7	475,8
Susa *	0,09	6.757	8.437	10.099	11.761	214,7	268,1	320,9	373,7
Sutatausa	0,5	1.845	2.214	2.581	2.947	334,1	401,0	467,3	533,7
Tabio	0,57	14.230	18.011	21.764	25.518	2.950,6	3.734,5	4.512,8	5.291,1
Tausa	0,71	1.118	1.359	1.597	1.834	289,7	352,3	413,8	475,4
Tena *	4,56	877	1.015	1.154	1.292	1.459,6	1.689,9	1.920,3	2.150,7
Tenjo	1,12	9.687	11.007	12.283	13.558	3.974,5	4.516,0	5.039,5	5.562,9
Tibirita	0,77	496	491	488	485	139,3	137,9	137	136,1
Tocancipá *	1,64	14.873	18.915	22.971	27.026	8.903,5	11.323,4	13.751,2	16.178,9
Topaipí	0,3	825	908	987	1.066	89,1	98,1	106,6	115,2
Ubalá	1,01	1.283	1.337	1.386	1.436	473,6	493,4	511,7	529,9
Villa de San Diego de Ubaté	0,66	25.699	28.407	31.030	33.652	6.220,2	6.875,8	7.510,5	8.145,3
Útica	0,6	2.764	2.903	3.040	3.178	610,1	640,7	671,1	701,5
Vergara	0,43	1.582	1.814	2.041	2.268	247,2	283,4	318,9	354,4
Vianí	0,69	1.359	1.467	1.574	1.682	340,9	368,1	395	421,9
Villagómez	0,43	632	645	661	677	98,2	100,2	102,7	105,2
Villapinzón	0,57	6.873	8.047	9.219	10.392	1.424,2	1.667,4	1.910,3	2.153,3
Villeta *	1,04	16.513	17.825	19.112	20.399	6.258,0	6.755,1	7.242,9	7.730,7
Yacopí *	0,1	4.083	4.662	5.224	5.786	148,5	169,6	190	210,4
Zipacón	0,51	2.190	2.560	2.929	3.298	410,9	480,3	549,6	618,8
Zipaquirá	0,68	112.897	131.601	150.307	169.013	27.964,0	32.596,8	37.230,3	41.863,8
Ráquira	0,21	3.672	4.578	5.475	6.372	287,5	358,3	428,6	498,8

Fuente: El autor.

4.3. Localización de la estación de transferencia respecto al municipio y el relleno sanitario.

Mediante la integración del sistema de costos y tarifas establecido por la resolución CRA 720 de 2015 se determinó que el sistema de transferencia por carretera en vehículos de gran capacidad (línea roja) es económicamente viable a una distancia mayor de 50,76 Km al sitio de disposición final.

Por otro lado, se construyó una función compuesta para el sistema de transferencia ferroviario, donde la primera etapa está dada por el transporte con camiones compactadores siguiendo la función la resolución CRA 720 de 2015 hasta el punto de equilibrio (Pe), a partir de ahí se sigue la transferencia ferroviaria según la resolución 184 de 2009 hasta el punto la distancia de localización de cada estación de transferencia (estación 1: 77,44 Km, línea azul y estación 2: 90,29 Km, línea amarilla) y finalmente a partir de cada uno de estos puntos se realizó la transferencia por vía terrestre en vehículos de gran capacidad bajo la resolución CRA 720 de 2015 (Figura 21).

De acuerdo a la gráfica, el sistema propuesto representa un mayor beneficio económico de costo por tonelada transportada/transferida que realizando solo la transferencia por vía terrestre con vehículos de gran capacidad; lo cual se debe a que la transferencia por vía férrea durante los tramos de la estación 1 y 2 hasta la estación 3 reducen los costos y presentando un mayor beneficio para la estación 3 (Figura 21).

En consecuencia, se asumió una distancia mayor de 50,76 Km como aquella donde a los municipios les es más económico usar una estación de transferencia para el traslado de los residuos al sitio de disposición final. Por lo tanto, el costo marginal por tonelada transportada se reduce y es ejemplificado como el área amarilla para lapa en la Figura 21.

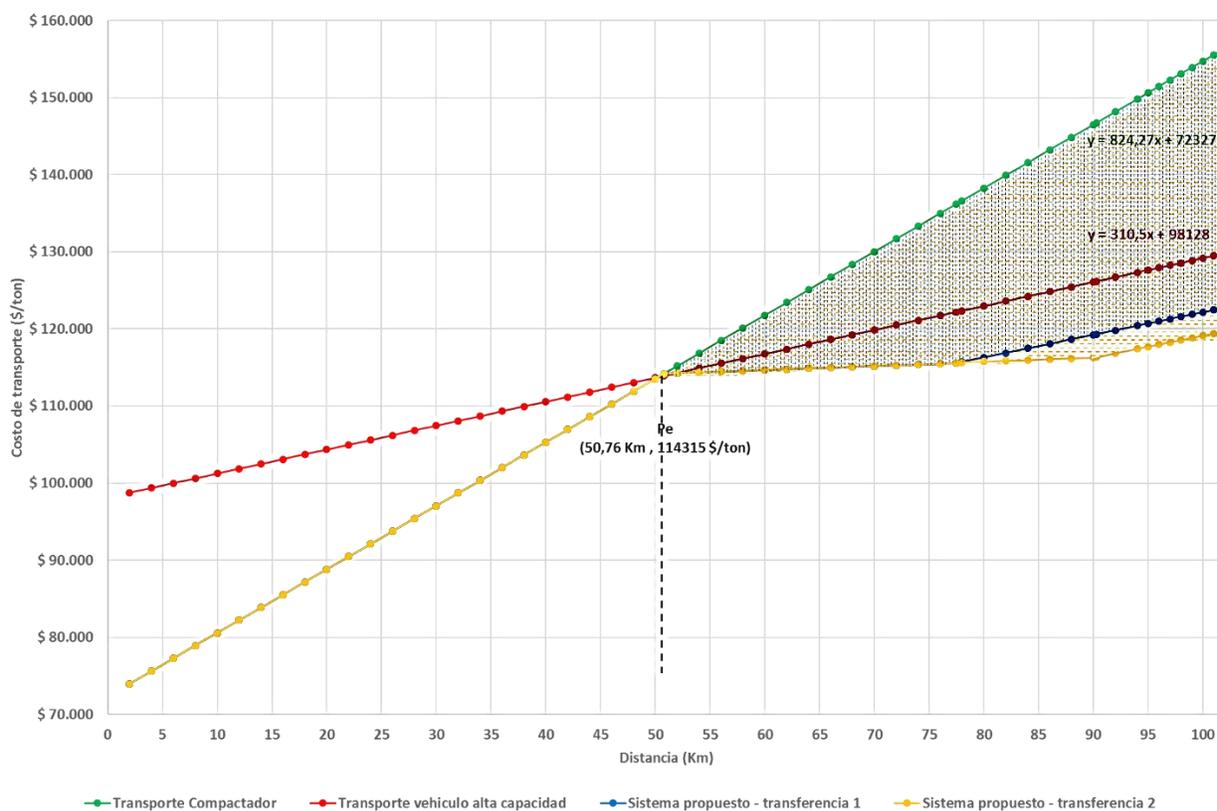


Figura 21 Punto de equilibrio (Pe) donde la transferencia por vía férrea es más económica que la recolección y trasporte (transporte directo de residuos del municipio al relleno sanitario)

Fuente: El autor

4.4. Centro de gravedad (centroide)

El punto identificado con coordenadas proyectadas y geográficas con base al marco geocéntrico nacional de referencia (MAGNA SIRGAS) que representan el sitio donde se concentra la producción de residuos del área geográfica se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15 Coordenadas planas y geográficas del centroide de generación de residuos por municipio

MUNICIPIO	COORDENADAS PLANAS		COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	Norte	Este	N	W
Albán	1.031.066,25	959835,405	4° 52' 37"	74° 26' 23"
Anolaima	1.017.901,45	957430,942	4° 45' 29"	74° 27' 40"
Bituima	1.030.250,72	948715,333	4° 52' 11"	74° 32' 23"
Bojacá	1.015.371,23	970752,902	4° 44' 7"	74° 20' 28"
Cachipay	1.014.884,66	960056,017	4° 43' 51"	74° 26' 15"
Cajicá	1.035.776,68	1006113,62	4° 55' 11"	74° 1' 21"
Carmen De Carupa	1.083.498,50	1019621,24	5° 21' 5"	73° 54' 2"
Chaguaní	1.039.290,54	942874,682	4° 57' 5"	74° 35' 33"
Chía	1.029.639,72	1004702,25	4° 51' 51"	74° 2' 6"
Chocontá	1.061.262,86	1044024,16	5° 9' 0"	73° 40' 50"

MUNICIPIO	COORDENADAS PLANAS		COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	Norte	Este	N	W
Cogua	1.051.016,57	1010886,94	5° 3' 27"	73° 58' 46"
Cota	1.022.943,91	997631,967	4° 48' 13"	74° 5' 56"
El Colegio	998.791,509	959379,319	4° 35' 7"	74° 26' 37"
El Peñón	1.072.114,39	976599,562	5° 14' 54"	74° 17' 19"
El Rosal	1.028.340,96	979220,881	4° 51' 9"	74° 15' 53"
Facatativá	1.023.654,87	969074,711	4° 48' 36"	74° 21' 23"
Fómeque	987.944,122	1019854,56	4° 29' 14"	73° 53' 55"
Funza	1.012.467,91	984744,438	4° 42' 32"	74° 12' 54"
Fúquene	1.088.987,55	1031202,32	5° 24' 3"	73° 47' 46"
Fusagasugá	973.054,06	966636,409	4° 21' 9"	74° 22' 41"
Gachalá	1.010.766,14	1061582,6	4° 41' 36"	73° 31' 21"
Gachancipá	1.043.690,00	1022496,03	4° 59' 29"	73° 52' 29"
Gacheta	1.024.780,07	1048315,63	4° 49' 13"	73° 38' 31"
Gama	1.018.619,96	1051796,69	4° 45' 52"	73° 36' 38"
Granada	991.623,838	969317,559	4° 31' 13"	74° 21' 14"
Guachetá	1.086.795,63	1043057,58	5° 22' 51"	73° 41' 20"
Guasca	1.030.196,75	1021346,04	4° 52' 9"	73° 53' 6"
Guatavita	1.037.708,81	1027718,25	4° 56' 14"	73° 49' 39"
Guayabal	1.031.228,97	957156,74	4° 52' 43"	74° 27' 50"
Junín	1.021.528,79	1045662,92	4° 47' 27"	73° 39' 57"
La Calera	1.013.058,09	1011875,11	4° 42' 51"	73° 58' 14"
La Mesa	1.003.737,17	956785,174	4° 37' 48"	74° 28' 1"
La Palma	1.084.489,65	964886,125	5° 21' 37"	74° 23' 40"
La Peña	1.067.036,71	964904,235	5° 12' 8"	74° 23' 39"
La Vega	1.044.806,03	970488,125	5° 0' 5"	74° 20' 37"
Lenguazaque	1.078.417,95	1040841,71	5° 18' 19"	73° 42' 33"
Macheta	1.053.810,01	1051948,57	5° 4' 57"	73° 36' 32"
Madrid	1.015.150,92	979544,881	4° 43' 59"	74° 15' 43"
Manta	1.046.046,47	1060033,23	5° 0' 45"	73° 32' 10"
Mosquera	1.012.228,57	983281,643	4° 42' 24"	74° 13' 42"
Nemocón	1.052.223,32	1022084,04	5° 4' 6"	73° 52' 42"
Nimaima	1.058.451,55	965629,554	5° 7' 29"	74° 23' 15"
Nocaima	1.052.231,50	966953,946	5° 4' 6"	74° 22' 32"
Pacho	1.059.873,67	991727,797	5° 8' 15"	74° 9' 8"
Paime	1.085.531,00	991568,489	5° 22' 11"	74° 9' 13"
Quebradanegra	1.057.869,12	955424,243	5° 7' 10"	74° 28' 46"
Quipile	1.016.224,09	949450,724	4° 44' 34"	74° 31' 59"
Ráquira	1.104.263,98	1049585,8	5° 32' 20"	73° 37' 48"
San Antonio Del Tequendama	1.002.374,80	969554,929	4° 37' 3"	74° 21' 7"
San Cayetano	1.081.238,21	1005991,7	5° 19' 51"	74° 1' 24"
San Francisco	1.041.205,70	976553,733	4° 58' 8"	74° 17' 20"
Sasaima	1.039.996,01	960544,509	4° 57' 28"	74° 25' 60"
Sesquilé	1.049.954,58	1030843,65	5° 2' 52"	73° 47' 58"
Sibaté	988.910,499	980033,889	4° 29' 45"	74° 15' 27"
Silvania	979.156,407	965211,425	4° 24' 28"	74° 23' 27"
Simijaca	1.101.523,73	1026161,83	5° 30' 51"	73° 50' 29"
Soacha	997.800,544	983729,026	4° 34' 35"	74° 13' 27"
Sopo	1.035.267,63	1014876,54	4° 54' 54"	73° 56' 36"
Subachoque	1.036.815,08	990073,848	4° 55' 45"	74° 10' 1"
Suesca	1.055.529,01	1031260,07	5° 5' 54"	73° 47' 44"
Supatá	1.051.254,87	982439,922	5° 3' 35"	74° 14' 9"
Susa	1.094.724,61	1029814,45	5° 27' 10"	73° 48' 30"

MUNICIPIO	COORDENADAS PLANAS		COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	Norte	Este	N	W
Sutatausa	1.071.700,52	1024805,2	5° 14' 40"	73° 51' 13"
Tabio	1.035.740,15	998445,04	4° 55' 10"	74° 5' 29"
Tausa	1.066.169,46	1021187,77	5° 11' 40"	73° 53' 11"
Tena	1.006.692,67	965305,29	4° 39' 24"	74° 23' 25"
Tenjo	1.030.407,71	993388,653	4° 52' 16"	74° 8' 14"
Tibirita	1.050.354,39	1063286,74	5° 3' 5"	73° 30' 24"
Tocancipá	1.041.087,19	1018189,92	4° 58' 4"	73° 54' 49"
Topaipí	1.082.161,21	974919,108	5° 20' 21"	74° 18' 14"
Ubalá	1.016.395,06	1060049,28	4° 44' 39"	73° 32' 10"
Ubaté	1.079.795,86	1029940,96	5° 19' 4"	73° 48' 27"
Utica	1.065.538,01	954956,39	5° 11' 19"	74° 29' 2"
Vergara	1.057.605,17	970031,094	5° 7' 1"	74° 20' 52"
Vianí	1.031.155,79	946513,079	4° 52' 40"	74° 33' 35"
Villagómez	1.074.634,31	987004,646	5° 16' 16"	74° 11' 41"
Villapinzón	1.068.464,22	1052996,53	5° 12' 55"	73° 35' 58"
Villeta	1.045.571,23	956342,097	5° 0' 29"	74° 28' 16"
Yacopí	1.095.017,29	971281,096	5° 27' 19"	74° 20' 12"
Zipacón	1.017.806,20	966474,243	4° 45' 26"	74° 22' 47"
Zipaquirá	1.047.270,53	1008693,99	5° 1' 25"	73° 59' 57"

Fuente: El autor.

4.5. Asociación de la generación diaria de residuos en toneladas al SIG

Mediante la asociación de la generación diaria de residuos al SIG se agruparon los municipios de forma que estuvieran equidistantes y cumplieran con una operación ≥ 50 t/día por planta y resultando la localización de tres (3) estaciones de transferencia.

Las tres estaciones se encuentran próximas a la vía férrea, considerando que las estaciones 1 (▲) y 2 (▲) realizan la transferencia mediante el descargue de camiones al sistema de transferencia férreo y la estación 3 (▲) está pensada para recibir los residuos de las estaciones 1 y 2, además de recibir los residuos de los municipios cercanos por medio de camiones hasta la instalación, para que en conjunto se dé el proceso de transferencia a vehículos de gran capacidad, lo que significa que desde la estación 3 hasta el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo se tendrán vehículos de gran capacidad para transportar todos los residuos. Los demás municipios, por cercanía realizan la disposición en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo (Figura 22).

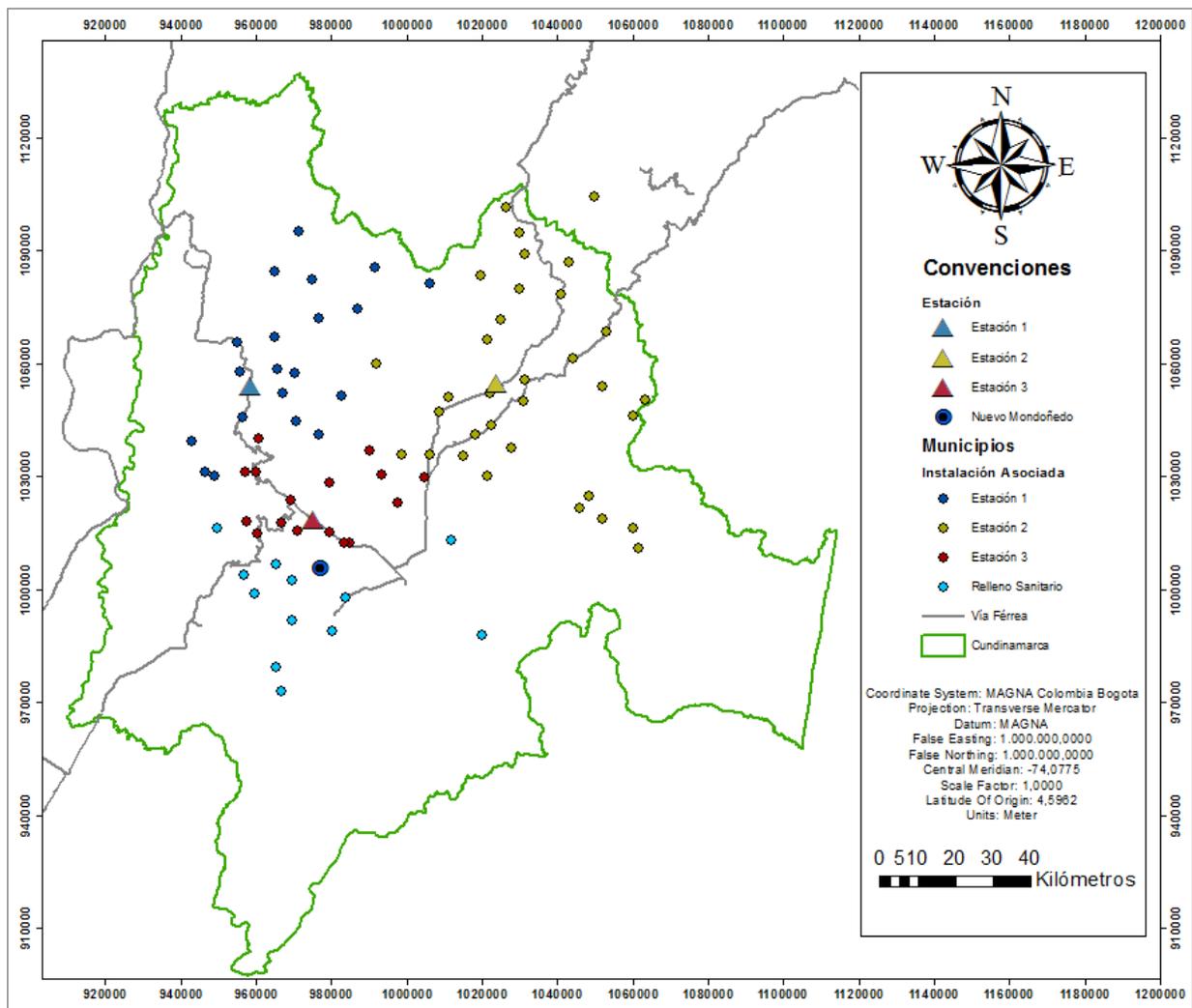


Figura 22 Distribución de municipios por planta de transferencia

Fuente: El autor

Las estaciones de transferencia mencionadas son de tipo multipropósito, requiriendo que los residuos que van a ser dispuestos en el relleno sanitario vengán segregados de aquellos que se van a aprovechar para evitar la contaminación cruzada y por ende la pérdida del valor y la capacidad de retorno al ciclo económico. Adicionalmente, la vía férrea no solo sirve como un corredor para la disposición de residuos sino como una vía por la cual se pueden movilizar los residuos aprovechables hacia las industrias con la infraestructura para reincorporación de dichos materiales.

4.6. Priorización de vías por municipio

Se creó una red para el transporte vehicular y férreo empleando la herramienta Network Analyst del software ArcGIS, estableciendo velocidades de desplazamiento de 60 Km/h para vías de primer orden, de 40 Km/h para segundo orden, de 20 Km/h para tercer orden y de 80 Km/h para vías férreas, programando la ruta más corta tanto en distancia como en tiempo entre los municipios y el relleno sanitario (Figura 23). De acuerdo a esto se calcularon todas las distancias del sistema y los tiempos (Anexo 3).

Se observa que los vehículos siguen principalmente vías de primero y segundo orden para llegar al relleno sanitario. La distancia de recorrido más larga la hace el municipio de San Cayetano con 173 Km de recorrido, exceptuando el municipio de Ráquira que se encuentra fuera del departamento de Cundinamarca. El municipio de menor recorrido es Mosquera con 10,11 Km ya que se encuentra próximo al relleno y puede emplear una vía de primer orden para llegar a este.

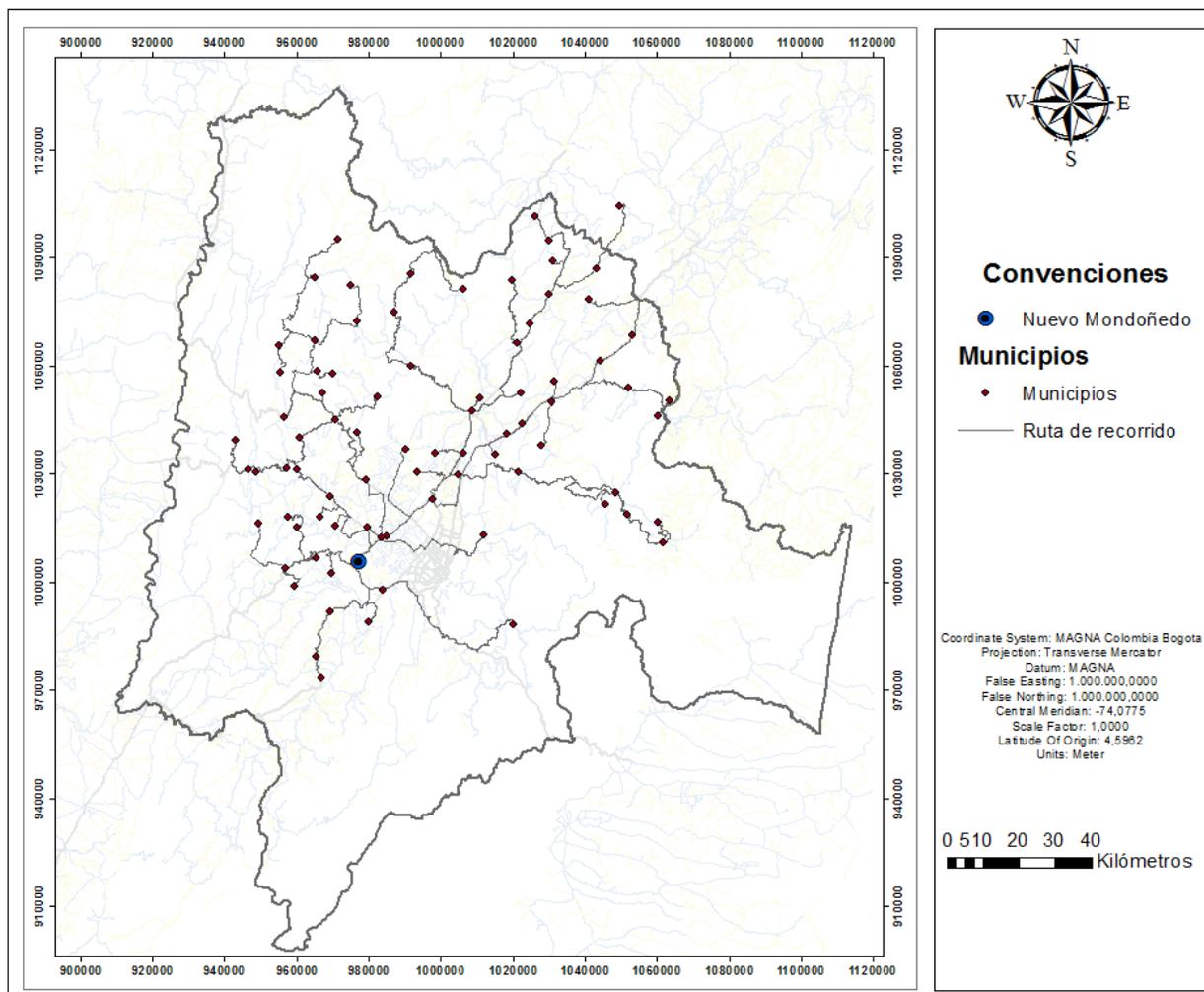


Figura 23 Rutas de disposición final sin transferencia

Fuente: El autor

Adicionalmente se observa que la mayoría de municipios toman la misma vía de salida cuando se dirigen a la estación y cuando se dirigen al relleno (Figura 24). Las distancias de recorrido realizado por los vehículos se redujeron en 3.028,49 Km teniendo reducción en todos los municipios que realizan transferencia a excepción de Cota, Mosquera y Funza que en conjunto recorren 5,1 Km más ya que se encuentran cercanos al relleno y se decidió que lleven los residuos a la estación número 3 para que se pueda llevar una segregación de los residuos. La vista en detalle de los recorridos de cada municipio a su respectiva estación se muestra en los Anexos 4 a 7.

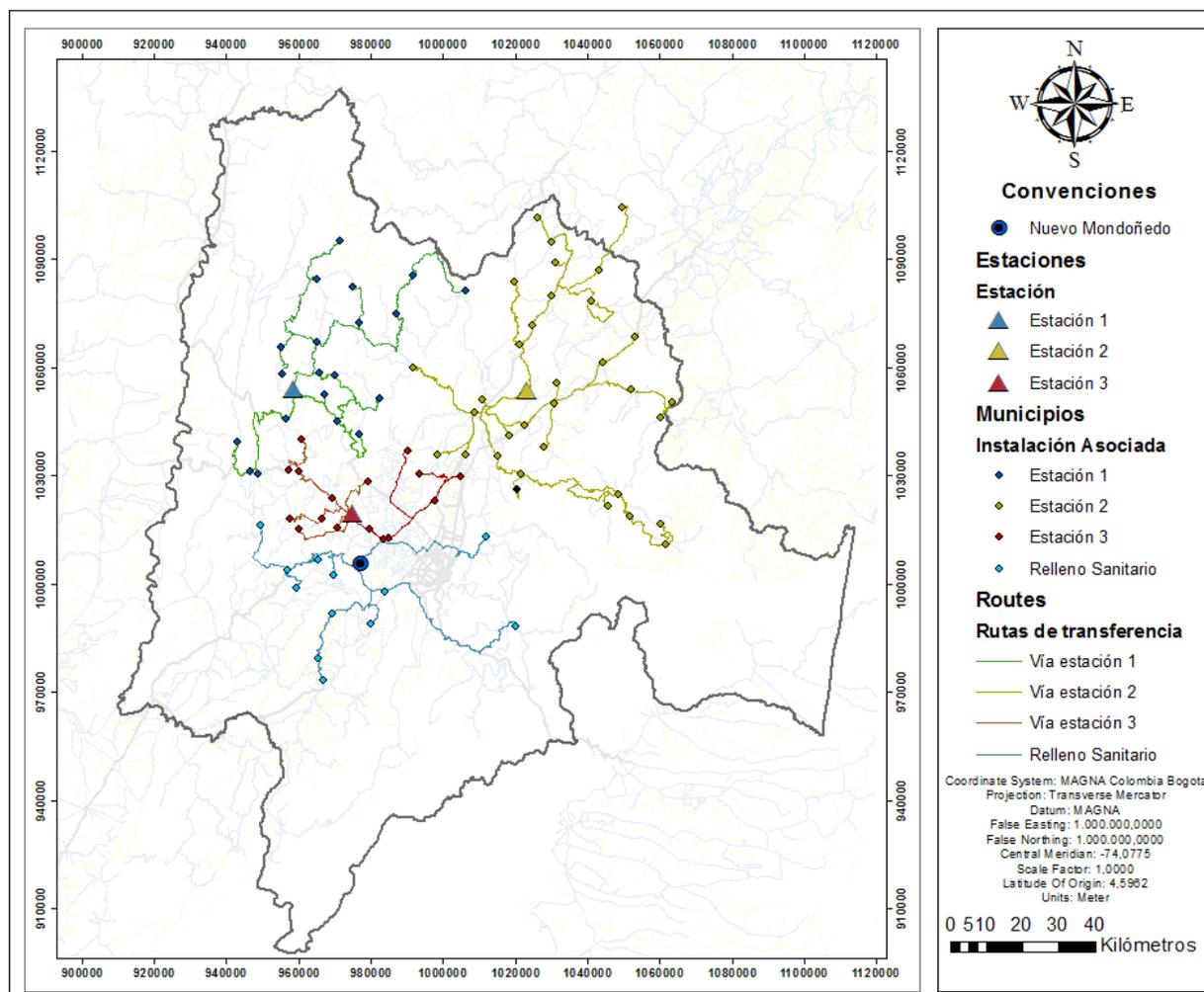


Figura 24 Rutas de disposición final sin transferencias según la menor distancia recorrida y tiempo empleado

Fuente: El autor

La conexión de los distintos municipios con su respectiva planta de transferencia se hace usando una combinación de vías primarias y secundarias en su mayoría, excepto para los municipios de La Palma, Topaipí y Yacopí que emplean rutas terciarias (Anexo 8), los municipios que hacen uso del sistema de regionalización transitan en un 35,4% por vías primarias, en un 62,7% por vías secundarias y en 1,9% por vías terciarias (Anexo 9). La intensidad de uso de vías secundarias se debe a que la gran mayoría de los municipios no se encuentran sobre las vías primarias que van a Bogotá D.C. y por tanto tienen que hacer uso de vías secundarias o terciarias para conectarse a una vía primaria o llevar directamente a la planta de transferencia.

En cuanto al tránsito férreo, de la estación 1 a la estación 3 hay un recorrido en tren de 77,77 Km los cuales se recorren en aproximadamente 58 minutos. De la estación 2 a la estación 3 hay un recorrido en tren de 90,29 Km que se recorren aproximadamente en 1 hora y 8 minutos. De la tercera estación hasta el sitio de disposición final hay un recorrido de 25,03 Km que se recorren aproximadamente en 25 minutos tomando la vía Facatativá-Madrid y posteriormente la vía La Mesa-Mosquera (Figura 25).

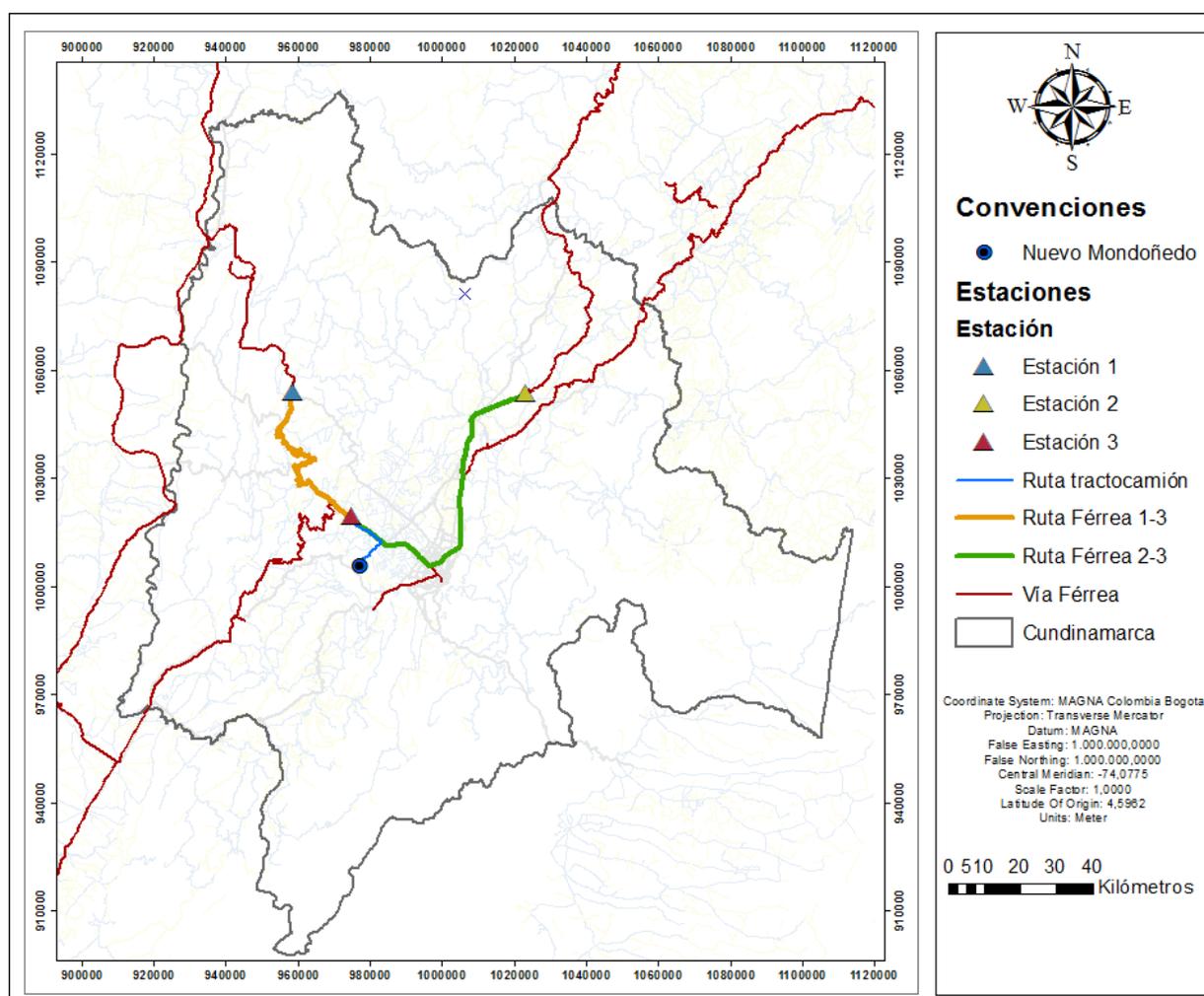


Figura 25 Rutas de disposición final sin transferencias según la menor distancia recorrida y tiempo empleado

Fuente: El autor

De acuerdo a esto las distancias finales de todo el sistema que corresponde a la suma de todas las distancias de recorrido para los municipios; por sistema e instalación se tiene una reducción del

34,5% de la distancia que los municipios recorren para llevar sus residuos al relleno sanitario, es decir 2.308,42 Km (Tabla 16).

Tabla 16 Total de la distancia recorrida por el sistema de transferencia férreo y sin transferencia

Tipos de movimiento	Distancia recorrida (Km)				Total
	Vehículos	Trenes	Vehículos de gran capacidad	Subtotal	
A través de la Estación 1	961,62	77,44	25,03	1.064,09	4.386,54
A través de la Estación 2	1.842,15	90,29	25,03	1.957,47	
A través de la Estación 3	862,69	0	25,03	887,72	
Directamente al Relleno	477,26	0	0	477,26	
Sin transferencia	6.694,96	0	0	0	6.694,96

Fuente: El autor

4.7. Resultados de priorización de variables.

Las estaciones de transferencia 1, 2 y 3 se localizan respectivamente en áreas rurales de los municipios de Villeta, Nemocón y Madrid respectivamente (Tabla 17). La estación 3 se localiza a 25,03 Km del relleno sanitario, distancia en la cual las estaciones son económicamente viables según la literatura, su cobertura está de acuerdo al valor de referencia del presente estudio (50,76 Km) donde el municipio más alejado al que presta sus servicios para la recepción de vehículos recolectores es Tenjo a 49,61 Km Las estaciones 1 y 2 se localizan a una distancia mayor a la de referencia con respecto al municipio más alejado al que prestan sus servicios, esto es debido a la disponibilidad de áreas sin restricciones para la localización (Anexos 10 a 17), la asociación de una operación ≥ 50 t/día y al mismo procedimiento de optimización de distancias donde algunos municipios quedarán más cerca y otros más alejados debido a su inherente posición geográfica en el territorio.

Tabla 17 Resultados de la priorización de variables para la localización de estaciones de transferencia

Estación	Distancia según municipio		Distancia a la estación 3	Distancia al relleno sanitario	Uso de suelo actual	Pendiente del área	Conectividad vial		Área disponible	Uso de suelo restrictivo más cercano		Institución más cercana	
	Máxima	Mínima					Tipo de vía	Distancia		Uso actual	Distancia	Nombre	Distancia
1 Villeta	San Cayetano 122,55	Villeta 10,49 Km	77,44 Km	102,47 Km	Cultivo caña panelera	0 a 3%	Segundo Orden	140 m	25 Ha.	Zona de protección hídrica	0,2 Km	Puesto de salud La Magdalena	3,59 Km
2 Nemocón	Fúquene 136,80	Nemocón 2,91 Km	90,29 Km	115,32 Km	Pasto manejado	0 a 3%	Segundo Orden	400m	40 Ha.	Zona de protección de los recursos naturales	0,63 Km	Escuela Perico	0,68 Km
3 Madrid	Tenjo 49,61 Km	Madrid 6,85 Km	NA	25,03 Km	Pasto manejado, cebada, invernaderos	0 a 3%	Segundo Orden	440m	> 250 Ha	Zona de protección hídrica	1,06 Km	Institución educativa Departamental el Corso	1,47 Km

Fuente: El autor.

El uso de suelo priorizado para la localización de las estaciones de transferencia fue de tipo rural y correspondiente a actividades secundarias de la economía del municipio y que no amenace la seguridad alimentaria, de tal forma las estaciones 1, 2 y 3 están localizados en áreas dedicadas al cultivo de caña panelera, manejo de pastos y actividades mixtas (manejo de pastos, cultivo de cebada e invernaderos) respectivamente.

Las áreas priorizadas tienen como característica tener una pendiente entre 0 y 3% el cual no presenta una incidencia negativa en la operación de la planta de transferencia, su área varía según la disponibilidad de suelos sin restricciones donde la estación 1 tiene una disponibilidad de 25 Ha, la estación 2 de 40 Ha y la estación 3 de más de 250 Ha.

La conectividad de las plantas de transferencia se da a través de vías secundarias, lo que implica una menor incidencia en el tráfico vehicular de vías primarias, con una distancia larga a recorrer y donde la mayor distancia es la que se presenta para la estación 1 con 0,14 Km.

Las restricciones de tipo ambiental estuvieron enmarcadas en la cercanía a cuerpos de agua y reservas naturales, donde la distancia más cercana a estas fue la estación 1 con 0,2 Km Y la restricción de tipo social relacionada con la cercanía a instituciones con una alta densidad poblacional fue de la estación 2 con 0,68 Km

4.8. Asociación de las variables a un Sistema de Información Geográfico (SIG).

De acuerdo a los criterios priorizados se asoció a un SIG por medio del software ArcGIS, teniendo como base los shapefiles obtenidos del Departamento Nacional de Planeación, y dentro de los cuales se tienen los usos de suelo propuestos (áreas rurales), conexión a la malla vial férrea y vehicular, una pendiente $\leq 3\%$ (Mapa de pendientes cada 50 m), una distancia de $\geq 1\text{Km}$ a peajes y sitios de gran afluencia de personas, con lo cual se generó una restricción de áreas para mostrar las áreas disponibles para la localización de la planta de transferencia férrea y cuya visualización se da en la Figura 26.

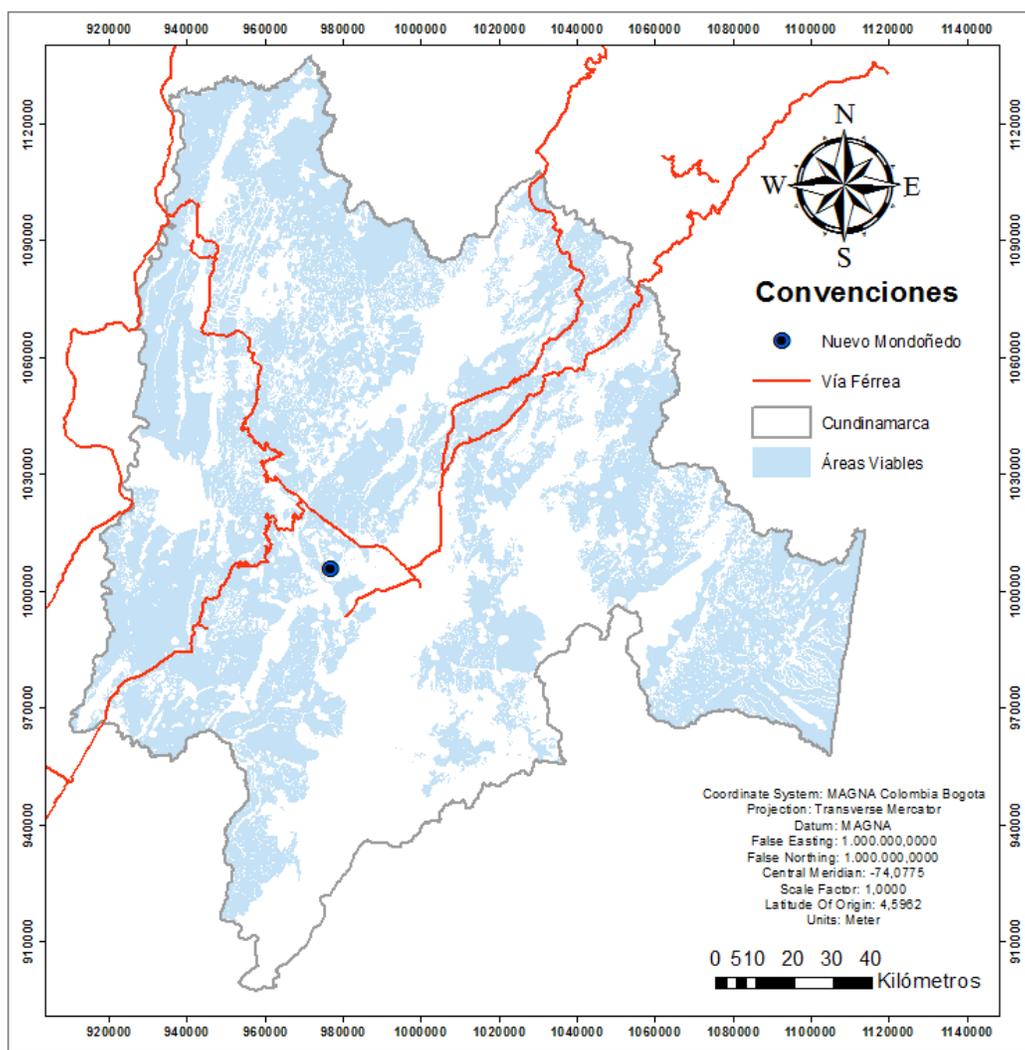


Figura 26 Áreas aptas para la localización de la estación de transferencia férrea. (Áreas en azul)

Fuente: El autor

Estación 1

La estación prestará sus servicios a los municipios de Bituima, Chaguaní, El Peñón, La Palma, La Peña, La Vega, Nimaima, Nocaima, Paime, Quebradanegra, San Cayetano, San Francisco de Siquima, Supatá, Topaipí, Utica, Vergara, Vianí, Villagómez, Villeta y Yacopí (Figura 27).

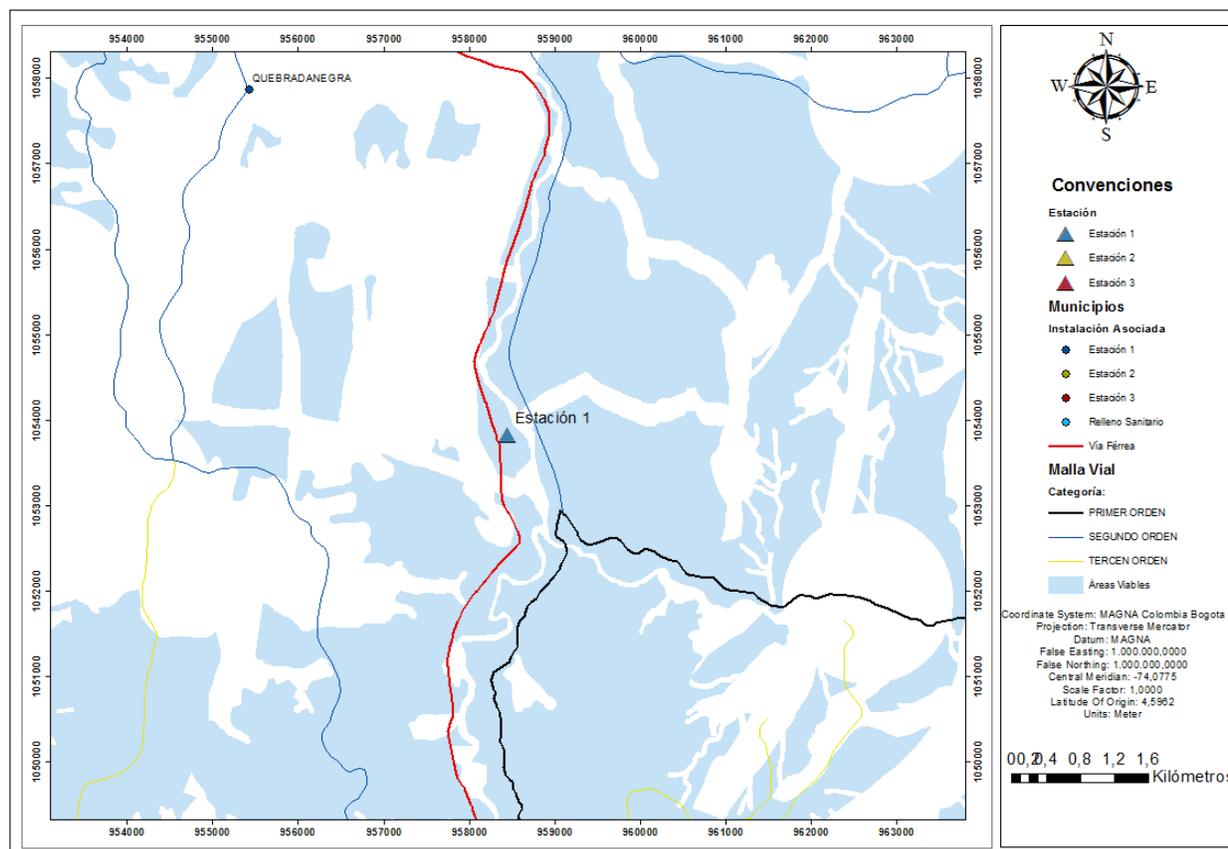


Figura 27 Localización de la estación de transferencia 1

Fuente: El autor

4.8.1.1. Estación 2.

La estación prestara sus servicios a los municipios de Cajicá, Carmen de Carupa, Chocontá, Cogua, Fúquene, Gachalá, Gachancipá, Gacheta, Gama, Guachetá, Guasca, Guatavita, Junín, Lenguaque, Macheta, Manta, Nemocón, Pacho, Ráquira, Sesquilé, Simijaca, Sopo, Suesca, Susa, Sutatausa, Tabio, Tausa, Tibirita, Tocancipá, Ubalá, Ubaté, Villapinzón y Zipaquirá (Figura 28).

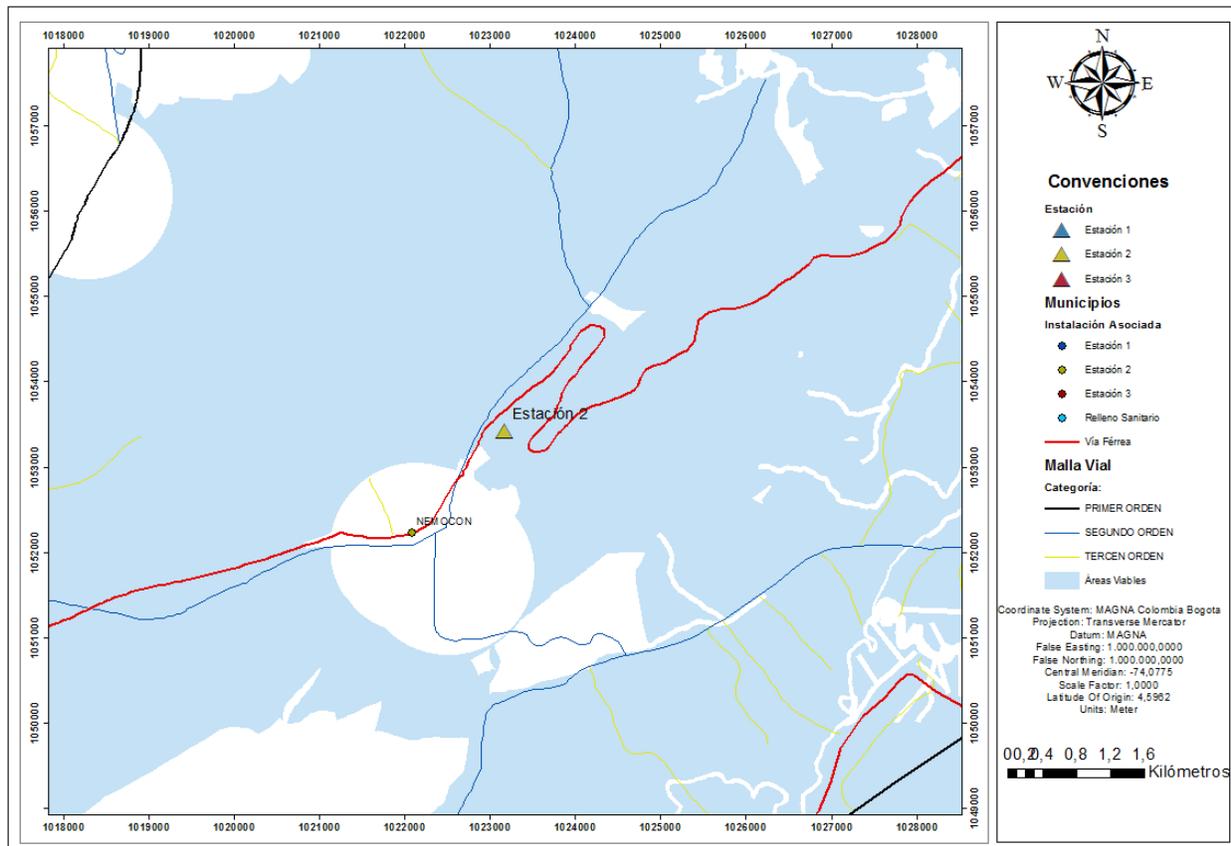


Figura 28 Localización de la estación de transferencia 2

Fuente: El autor

4.8.1.2. Estación 3

La estación prestara sus servicios a los municipios de Albán, Anolaima, Bojacá, Cachipay, Chía, Cota, El rosal, Facatativá, Funza, Guayabal, Madrid, Mosquera, Sasaima, Subachoque, Tenjo y Zipacón).

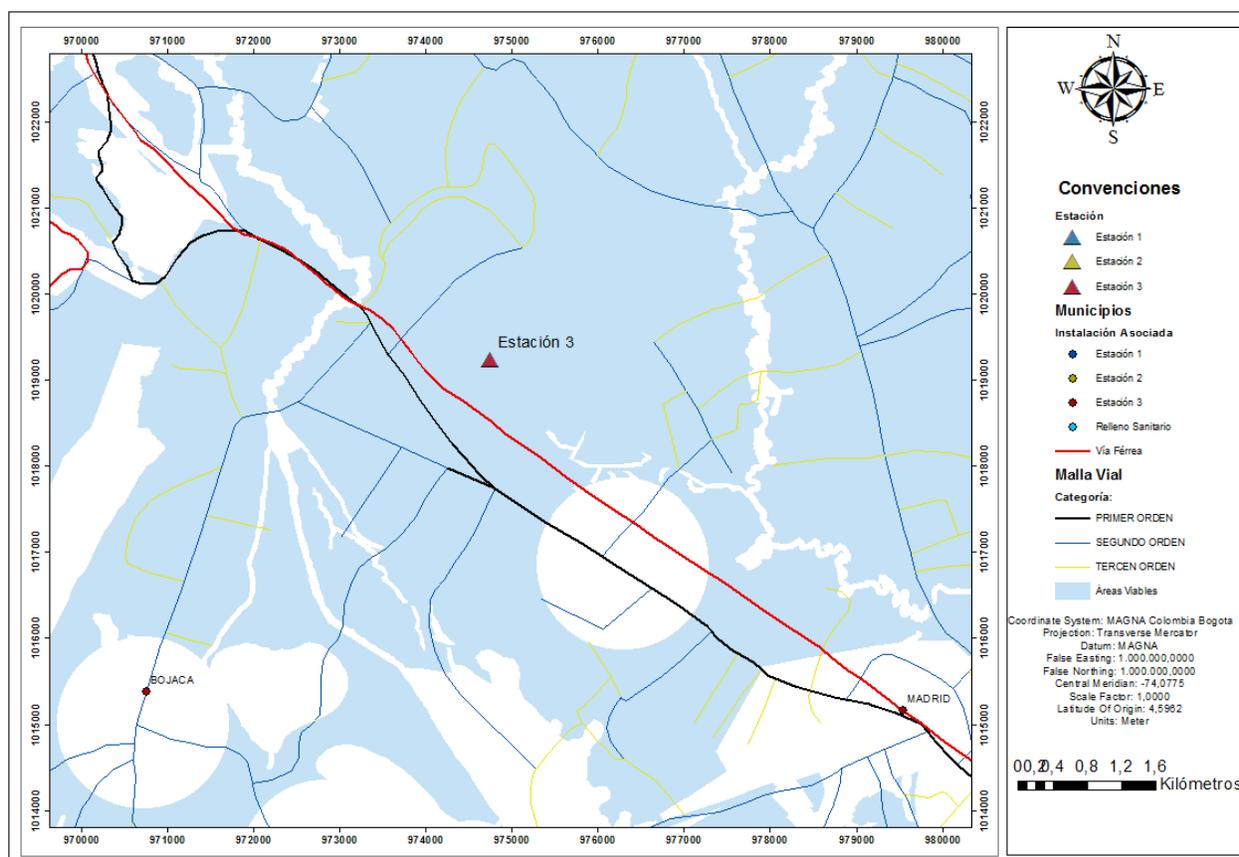


Figura 29 Localización de la estación de transferencia 3

Fuente: El autor

Las imágenes satelitales de la ubicación de cada una de las estaciones se encuentran en los Anexos 18 a 20. Se observa que no hay una infraestructura de gran consideración en las zonas escogidas a excepción de la tercera estación donde se encuentran algunos invernaderos, por lo que se corrobora que la afectación en la salud sobre las personas cuya residencia puede estar cercana es mínima.

4.9. Evaluación de los costos asociados al transporte de residuos sólidos mediante la Resolución CRA 720 de 2015

Se establecieron las cargas de los residuos que aplican en cada sistema, cuando no hay transferencia, cuando hay transferencia sin separación de residuos y cuando hay aprovechamiento con separación de residuos. Para ello se estableció una composición promedio entre diferentes ciudades de diferente complejidad (Tabla 18).

Tabla 18 Determinación de una composición promedio de las fracciones de residuos

Tipo de residuo	Composición porcentual de las fracciones de los residuos (%)					
	Medellín	Cali	Bogotá	Cartagena	Aguazul	Promedio
Papel y cartón	18	7,87	18,29	10,3	16,1	14,11
Vidrio	3	1,64	4,62	2	7,59	3,77
Metales	5	0,14	1,64	3,5	0,75	2,21
Plástico	7	2,6	14,19	10,3	8,83	8,58
Madera	0	1,4	3,06	3,2	1,83	1,90
Textiles	0	0,8	3,82	1,43	2,26	1,66
Orgánicos	57	82,35	52,32	64,4	58,87	62,99
Otros	10	3,2	2,06	4,87	3,77	4,78

Fuente: El autor

Según la Tabla 18 se tiene que los materiales susceptibles a separación son el papel-cartón, vidrio, metales y plástico que en total suman un 28,67%. De acuerdo con esto la separación máxima del total de residuos corresponde a este porcentaje en peso, pero considerando que no todo el material sirve para aprovechamiento dados a factores como la contaminación con otro tipo de residuos o su mal estado físico o químico se considera un aumento gradual de aprovechamiento año a año que llega a un máximo de 26% de residuos, dejando el 2,67% restante como rechazos. De acuerdo a esto las cargas de residuos año a año por cada estación se establece en la Tabla 19 y 20, considerando que la carga de cada una corresponde a la suma de los residuos generados por cada municipio en el que tiene cobertura. Se considera también que en la estación 3 se presentan los residuos de los municipios que no son transportados en vía férrea dada la cercanía al relleno, a pesar de que por esta estación van a pasar los residuos de las estaciones 1 y 2.

Tabla 19 Residuos esperados sin separación

Residuos Ton/mes - Sin separación					
Año	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Sin transferencia	TOTAL
2018	1.337,95	7.790,63	13.653,56	15.554,89	38.337,03
2019	1.348,79	7.942,35	13.929,24	15.854,27	39.074,65
2020	1.359,61	8.093,32	14.204,36	16.152,50	39.809,79
2021	1.372,85	8.255,24	14.480,93	16.451,61	40.560,62
2022	1.384,31	8.409,36	14.756,95	16.751,61	41.302,23

Residuos Ton/mes - Sin separación					
Año	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Sin transferencia	TOTAL
2023	1.395,77	8.563,49	15.032,97	1.7051,61	42.043,84
2024	1.407,23	8.717,61	15.308,99	1.7351,61	42.785,45
2025	1.418,69	8.871,73	15.585,02	1.7651,61	43.527,06
2026	1.430,15	9.025,86	15.861,04	1.7951,61	44.268,67
2027	1.441,62	9.179,98	16.137,06	1.8251,62	45.010,28
2028	1.453,08	9.334,11	16.413,08	1.8551,62	45.751,88
2029	1.464,54	9488,23	16.689,10	1.8851,62	46.493,49
2030	1.476,00	9.642,35	16.965,13	1.9151,62	47.235,10
2031	1.487,46	9.796,48	17.241,15	1.9451,62	47.976,71
2032	1.498,93	9.950,60	17.517,17	1.9751,62	48.718,32
2033	1.510,39	10.104,73	17.793,19	2.0051,62	49459,93
2034	1.521,85	10.258,85	18.069,21	2.0351,62	50.201,54
2035	1.533,31	10.412,97	18.345,24	2.0651,63	50.943,15
2036	1.544,77	10.567,10	18.621,26	2.0951,63	51.684,76
2037	1.556,24	10.721,22	18.897,28	2.1251,63	52.426,36
2038	1.567,70	10.875,34	19.173,30	2.1551,63	53.167,97
2039	1.579,16	11.029,47	19.449,33	2.1851,63	53.909,58
2040	1.590,62	11.183,59	19.725,35	2.2151,63	54.651,19
2041	1.602,08	11.337,72	20.001,37	2.2451,63	55.392,80
2042	1.613,54	11.491,84	20.277,39	2.2751,63	56.134,41
2043	1.625,01	11.645,96	20.553,41	2.3051,63	56.876,02
2044	1.636,47	11.800,09	20.829,44	2.3351,64	57.617,63
2045	1.647,93	11.954,21	21.105,46	2.3651,64	58.359,24
2046	1.659,39	12.108,34	21.381,48	2.3951,64	59.100,84
2047	1.670,85	12.262,46	21.657,50	2.4251,64	59.842,45
2048	1.682,32	12.416,58	21.933,52	2.4551,64	60.584,06

Fuente: El autor

Tabla 20 Residuos esperados con separación

Residuos Ton/mes - Con separación						
Separación	Año	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Sin transferencia	TOTAL
0%	2018	1337,95	7790,63	13653,56	15554,89	38337,03
0%	2019	1348,79	7942,35	13929,24	15854,27	39074,65
5%	2020	1291,63	7688,65	13494,14	16152,50	38626,93
5%	2021	1304,20	7842,48	13756,88	16451,61	39355,17
10%	2022	1245,88	7568,43	13281,26	16751,61	38847,17
10%	2023	1256,19	7707,14	13529,67	17051,61	39544,62
15%	2024	1196,15	7409,97	13012,65	17351,61	38970,37
15%	2025	1205,89	7540,97	13247,26	17651,61	39645,74

Residuos Ton/mes - Con separación						
Separación	Año	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Sin transferencia	TOTAL
20%	2026	1144,12	7220,69	12688,83	17951,61	39005,26
20%	2027	1153,29	7343,99	12909,65	18251,62	39658,54
26%	2028	1082,40	6952,98	12226,11	18551,62	38813,10
26%	2029	1090,94	7067,78	12431,71	18851,62	39442,05
26%	2030	1099,47	7182,59	12637,32	19151,62	40071,01
26%	2031	1108,01	7297,40	12842,93	19451,62	40699,96
26%	2032	1116,55	7412,20	13048,54	19751,62	41328,92
26%	2033	1125,09	7527,01	13254,15	20051,62	41957,87
26%	2034	1133,63	7641,82	13459,76	20351,62	42586,82
26%	2035	1142,16	7756,62	13665,37	20651,63	43215,78
26%	2036	1150,70	7871,43	13870,98	20951,63	43844,73
26%	2037	1159,24	7986,24	14076,58	21251,63	44473,69
26%	2038	1167,78	8101,04	14282,19	21551,63	45102,64
26%	2039	1176,32	8215,85	14487,80	21851,63	45731,60
26%	2040	1184,85	8330,66	14693,41	22151,63	46360,55
26%	2041	1193,39	8445,46	14899,02	22451,63	46989,51
26%	2042	1201,93	8560,27	15104,63	22751,63	47618,46
26%	2043	1210,47	8675,08	15310,24	23051,63	48247,42
26%	2044	1219,00	8789,89	15515,85	23351,64	48876,37
26%	2045	1227,54	8904,69	15721,46	23651,64	49505,33
26%	2046	1236,08	9019,50	15927,06	23951,64	50134,28
26%	2047	1244,62	9134,31	16132,67	24251,64	50763,24
26%	2048	1253,16	9249,11	16338,28	24551,64	51392,19

Fuente: El autor

Establecidas las distancias y las cargas de residuos en cada sistema e instalación, se calcularon los costos del sistema en cada uno de los casos. Para ello se emplearon las funciones de la resolución 720 de la CRA cuando hay transporte en compactadores y transferencia en vehículos de gran capacidad. Se empleó la resolución 184 del Ministerio de Transporte para establecer los costos de transporte en vía férrea empleando el costo más restrictivo correspondiente a 37.02 \$/Ton-Km. Acorde a esto se establecieron los costos mensuales en el escenario sin transferencia (Anexo 21), con transferencia sin separación (Anexo 22) y con transferencia con separación (Anexo 23), y los

cuales se encuentran ajustados al 2017. Los costos para el periodo de diseño en el año 2048 se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21 Costos para el periodo de diseño en el año 2048

Costos (Año 2048)	
Escenario	\$
Sin transferencia	5.590.942
Transferencia sin separación	3.827.145
Transferencia con separación	3.827.413

Fuente: El autor

Se observa una reducción del costo en un 31,5% (es decir \$1'763.529) cuando hay transferencia tanto con y sin separación en comparación con el sistema convencional de recolección (transporte en vehículos compactadores hasta el sitio de disposición final). De igual forma se observa que hay un incremento en los costos mensuales cuando hay transferencia con separación en comparación que cuando no se da la separación ya que al tener menos cantidad de residuos integrados en el sistema el costo tiende a aumentar. El aumento no es significativo porque solo aplica para la fase de transferencia en vehículos de gran capacidad que llevan los residuos desde la estación 3 hasta el sitio de disposición final.

Se establecieron los costos totales multiplicando los costos mensuales por todos los residuos generados mensualmente y dividiendo en treinta (30 días) para los tres casos, el total año a año por tipo de instalación y de vehículo transportador, se muestra en el Anexo 24. En la Tabla 22 se muestran los costos totales al día para los tres escenarios en el primer y último año de diseño.

Tabla 22 Costos totales en (\$/Año para el año de inicio y fin del proyecto de regionalización

Escenario	Costos totales (\$/Año)	
	2018	2048
Sin transferencia	7.144.788.443	11.290.732.744
Transferencia sin separación	1.133.637.005	1.792.226.223
Transferencia con separación	1.133.637.005	1.759.551.690

Fuente: El autor

La reducción de costos con el sistema propuesto de transferencia es de 84,1% con transferencia sin separación (es decir 9.498´506.517 \$/año) y de 84,4% (es decir 9.531´181.050 \$/año) cuando hay transferencia con aprovechamiento, presentando una reducción considerable de los costos de transporte al día. Se debe tener en cuenta que el sistema para determinar los costos en vía férrea =se rige por un marco diferente al de la resolución 720 de la CRA, de acuerdo con lo anterior los costos podrían tener un aumento en la práctica, sin embargo, se demuestra que la transferencia siempre va a representar menos costos de transporte que el sistema convencional que se aplica actualmente.

Se observa que el sistema convencional de recolección y transporte en vehículos presenta un mayor costo a través del tiempo con el aumento de los residuos, el cual puede reducirse con la separación y venta de los residuos inorgánicos para su posterior aprovechamiento, representando un ingreso adicional a sistema y el inicio de una economía circular en la que se lleve a cabo una GIRS más eficiente y productiva, con menor cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario.

Se presenta un aumento equivalente entre los tres sistemas propuestos, el sistema sin transferencia y el de transferencia sin separación aumenta un 36,7% del primer a último año de diseño y el sistema con transferencia y separación aumenta un 35,5% en el mismo periodo de tiempo.

La alternativa viable para emplear en el departamento de Cundinamarca de acuerdo con el análisis presentado en este estudio es la transferencia con separación de los residuos inorgánicos, esto teniendo en cuenta la reducción de costos y el beneficio ambiental generado por el uso de vías férreas como medio de transporte de los residuos.

4.10. Análisis de la propuesta entorno a la economía circular

Para la propuesta planteada, teniendo en cuenta que se manejó un porcentaje creciente de aprovechamiento conservador, durante el proyecto se logra recuperar 718.939 T de residuos aprovechables, lo que significa un 34,95% de los residuos generados durante este tiempo. Adicionalmente, la recuperación de dichos residuos implica una prolongación de la vida útil del relleno sanitario, teniendo un 70,3% del llenado de la capacidad de disposición del relleno.

Tabla 23 Relación de los residuos recuperados y la vida útil del relleno sanitario

Año	Residuos a disponer sin separación (T)	Residuos a disponer con separación (T)	% Aprovechamiento	Residuos sólidos recuperados (T)	Residuos dispuestos acumulado (T)	Vida útil (T)	Llenado (%)
2006	0				0	7.842.776	0
2017	523.912				4.172.807	3.669.969	53,2%
2018	38337	38337	0,00	0	4.211.144	3.631.632	53,7%
2019	39075	39075	0,00	0	4.250.219	3.592.557	54,2%
2020	39810	38627	0,05	1183	4.290.028	3.553.930	54,7%
2021	40561	39355	0,05	1205	4.330.589	3.514.575	55,2%
2022	41302	38847	0,10	2455	4.371.891	3.475.728	55,7%
2023	42044	39545	0,10	2499	4.413.935	3.436.183	56,2%
2024	42785	38970	0,15	3815	4.456.721	3.397.213	56,7%
2025	43527	39646	0,15	3881	4.500.248	3.357.567	57,2%
2026	44269	39005	0,20	5263	4.544.516	3.318.562	57,7%
2027	45010	39659	0,20	5352	4.589.527	3.278.903	58,2%
2028	45752	38813	0,26	6939	4.635.278	3.240.090	58,7%
2029	46493	39442	0,26	7051	4.681.772	3.200.648	59,2%
2030	47235	40071	0,26	7164	4.729.007	3.160.577	59,7%
2031	47977	40700	0,26	7277	4.776.984	3.119.877	60,2%
2032	48718	41329	0,26	7389	4.825.702	3.078.548	60,7%
2033	49460	41958	0,26	7502	4.875.162	3.036.591	61,3%
2034	50202	42587	0,26	7615	4.925.364	2.994.004	61,8%
2035	50943	43216	0,26	7727	4.976.307	2.950.788	62,4%
2036	51685	43845	0,26	7840	5.027.991	2.906.943	62,9%
2037	52426	44474	0,26	7953	5.080.418	2.862.470	63,5%
2038	53168	45103	0,26	8065	5.133.586	2.817.367	64,1%
2039	53910	45732	0,26	8178	5.187.495	2.771.635	64,7%
2040	54651	46361	0,26	8291	5.242.147	2.725.275	65,3%
2041	55393	46990	0,26	8403	5.297.539	2.678.285	65,9%
2042	56134	47618	0,26	8516	5.353.674	2.630.667	66,5%
2043	56876	48247	0,26	8629	5.410.550	2.582.419	67,1%
2044	57618	48876	0,26	8741	5.468.167	2.533.543	67,7%
2045	58359	49505	0,26	8854	5.526.527	2.484.038	68,3%
2046	59101	50134	0,26	8967	5.585.628	2.433.903	69,0%
2047	59842	50763	0,26	9079	5.645.470	2.383.140	69,6%
2048	60584	51392	0,26	9192	5.706.054	2.331.748	70,3%
TOTAL	2057160	1338221	TOTAL	718939			

Fuente: El autor

5. Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Se localizaron tres áreas potenciales para la ubicación de estaciones de transferencia de residuos sólidos ordinarios en el Departamento de Cundinamarca, la Estación 1 localizada en el municipio de Villeta para prestar sus servicios a 20 municipios de Cundinamarca, la estación 2 localizada en el municipio de Nemocón atendiendo 32 municipios de Cundinamarca y 1 municipio de Boyacá y la estación 3 en el municipio de Madrid para atender 16 municipios de Cundinamarca.

Doce municipios de Cundinamarca disponen directamente en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo debido a su proximidad al relleno y menor costo que significa el transporte de los residuos sólidos a través de vehículos.

Las principales variables que determinaron la localización estaciones de transferencia en el Departamento de Cundinamarca fueron el análisis de costos de transporte de residuos vs la distancia de cada uno de los municipios al relleno sanitario y los usos de suelo dedicados a la preservación y conservación natural y cultural y los de producción agrícola principal.

Mediante la asociación de las variables a un Sistema de Información Geográfico para la localización de las estaciones de transferencia se proponen tres áreas de localización para prestar sus servicios al 85% de los municipios que disponen sus residuos en el Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo. Donde cada estación quedo localizada en un suelo rural, conectado a la red férrea y sin restricciones de tipo ambiental, cultural o de interés productivo.

Las estaciones de Villeta y Nemocón están pensadas para la recepción y transferencia de residuos hacia la estación de Madrid, donde esta última realiza las actividades de recepción, transferencia y descargue delos residuos a vehículos de gran capacidad.

La propuesta para la localización de estaciones de transferencia de tipo férreo para los municipios que disponen en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo permite reducir el recorrido total realizado por los municipios en 3.028,49 Km

La reducción de costos con el sistema de transferencia para el 2048 es de 84,1% es decir 9.498.506.517 \$/día. No obstante, se observa que hay un aumento en los costos por tonelada cuando hay transferencia con separación en comparación que cuando no se da la separación ya que al tener menos cantidad de residuos integrados en el sistema el costo tiende a aumentar.

La regionalización de las actividades de transporte, transferencia y aprovechamiento mediante el uso de líneas férreas para la gestión integral de residuos sólidos en Cundinamarca permite recuperar 34,95% de los residuos generados entre el 2018 y el 2048, implicando un retorno de 718.939 T de materiales al ciclo productivo.

La recuperación de los residuos aprovechables mediante el uso de estaciones de transferencia multipropósito permite prolongar la vida útil del relleno sanitario Nuevo Mondoñedo por más de 30 años, teniéndose para el 2048 un porcentaje de llenado del 70,3%, implicando la no ampliación del relleno sanitario si se tiene en cuenta que según las proyecciones con que inicio la tesis la actividad de disposición finalizaría hacia el año 2023.

5.2. Recomendaciones

Es necesario realizar el estudio con un mayor detalle (1:10000 o menor) puesto que el presente se basa en información a escala 1:100.000, a lo cual pueden dejarse sin considerar usos de suelo relevantes para la localización es especial los sistemas productivos agropecuarios.

Se requiere que el sistema de costos y tarifas establecido por la resolución 720 de la CRA considere el sistema de transferencia por vía férrea, ya que la resolución analiza el tema de transferencia de

residuos sólidos por carretera y por tal razón no se consideran tanto los costos asociados a la adquisición y mantenimiento de la infraestructura para realizar la transferencia, como la reducción de costos por economías de escala al usarse el sistema ferroviario.

Para la determinación precisa del potencial de la propuesta requiere trabajar sobre un conocimiento preciso del número de habitantes, las cantidades generadas de residuos y la composición física de los residuos; esto teniendo en cuenta que el presente estudio se basa en las proyecciones del DANE que a su vez se basan en el censo realizado en el 2005 (más de 10 años del último censo), los datos de generación son del 2015 por ausencia de datos del último año previo al estudio, y se asume una composición promedio que puede no reflejar las mismas características de la composición de los residuos en los municipios considerados.

Se requiere hacer el análisis de las condiciones viales del sistema propuesto puesto que esta información es ausente en el SIG y son determinantes ya que un municipio sin buena accesibilidad vial tendrá que hacer mayores recorridos para llegar a un mismo punto en comparación a uno de ubicación similar, pero con mejores condiciones de accesibilidad vial.

El sistema propuesto requiere estrictamente que los residuos se presenten de forma segregada por sus características, ya que de lo contrario normativamente no se permite la manipulación de residuos mezclados con fines de recuperación de materiales, se da una pérdida económica de los materiales por contaminación cruzada y hace ineficiente el sistema.

Es necesario crear un marco especial para el aprovechamiento de residuos, ya que con el estudio presentado el valor recuperado por el manejo de los residuos no implica una reducción en el costo de manejo de los residuos y por ende se puede generar la señal equivocada que la recuperación de materiales carece de importancia.

Para fortalecer la propuesta regional de transferencia de residuos es necesario considerar tanto los costos ambientales en cuanto al consumo de combustibles y generación de contaminación, como los beneficios económicos para el municipio acogedor de la propuesta por una nueva fuente de ingresos y generación de empleo.

Adicionalmente, la propuesta presentada puede involucrar un mayor beneficio si se considera el uso del sistema ferroviario como un corredor por el cual puedan ser transportados los materiales aprovechables hacia empresas en el departamento que puedan reintroducir estos materiales dentro del ciclo productivo y reduciendo los costos en los trayectos de vuelta.

Finalmente, la propuesta requiere el análisis de las condiciones físicas y técnicas para la construcción de las estaciones de transferencia que permitan el movimiento del tren hacia la estación de transferencia, el cargue de residuos y su retorno a la línea férrea principal.

6. Capítulo 5. Referencias

- Arias de Greiff, J. (2011). Ferrocarriles en Colombia 1836-1930. Banco de La Republica-Colombia-Actividad Cultural. 1.
- Brown, N. D. (2011). La teoría de la localización. Documento de trabajo, Universidad de Barcelona.
- Cantillon, R. (2010). Essay on Economic Theory, An. Ludwig von Mises Institute.
- Capel, H. (2007). Ferrocarril, territorio y ciudades. Biblio 3w, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales, 12(717).
- CC. (1994). Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
- CCI. (2012) Informe de dirección técnica, sistema férreo nacional. (n.d.), pp.1,2. Disponible en: <http://www.infraestructura.org.co/seguimientoproyectos/Informe%20ferrocarriles.pdf>.
- Chatzouridis, C., & Komilis, D. (2012). A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming. Resources, conservation and recycling 60, 89-98.
- CONPES. (2016). Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. Bogotá D.C.
- Correa, R., & Santiago, J. (2012). El ferrocarril de Bolívar y la consolidación del puerto de Barranquilla (1865-1941). Revista de Economía Institucional, 13(26).
- Costa, L. (1982). Manual de instrucción de las estaciones de transferencia. BVSDE - PAHO
- CRA. (2015). Resolución CRA 720 de 2015. Marco regulatorio del servicio público de aseo. Bogotá D.C.
- CRSNM. (2016). Informe de cumplimiento ambiental No 22. Bogotá D.C.
- DNP y BM (2015). Estrategia Nacional de Infraestructura. Sector Residuos Sólidos. Bogotá D.C.
- EPA. (2002). Waste Transfer Stations: A Manual for Decision-Making. Solid Waste and Energy Response.
- Fontán, C. (S.F.). Sistema de transferencia y transporte de residuos urbanos. Instituto Universitario de Salud. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: file:///C:/Users/laura/Downloads/Sistema_de_Transferencia_y_Transporte_de_Residuos_Urbanos-Ing.CarlosFontan.pdf
- Friedmann, J., & Weaver, C. (1981). Territorio y función. Traducción de Territory and Function: The Evolution of Regional Planning (1979). Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- García de Diego, M. (2007). Plantas o estaciones de transferencia EOI
- Gisbert, L. (1993). Las teorías de localización industrial: una breve aproximación. Revista de estudios regionales, 1, 51-76.
- Greenberg, M. (1995). The poetics of cities: designing neighborhoods that work. The Ohio State University Press.
- Gutiérrez, R. (1921). Ferrocarril del Pacifico. Monografías. Tomo II.

- Maestre, F. J. J., Hernández, F. J. M., & Atiénzar, G. G. (2008). Asentamiento y territorio. La implantación de las primeras comunidades agropastoriles en las tierras meridionales valencianas. In IV Congreso del Neolítico Peninsular: 27-30 de noviembre de 2006 (pp. 90-97). Museo Arqueológico de Alicante-MARQ.
- MAVDT. (2009). Resolución 2320 de 2009. Por la cual se modifica parcialmente la Resolución No. 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS. Bogotá D.C.
- MAVDT. (2012). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Título F. Sistemas de aseo urbano. Bogotá
- Mendoza, F., & Izquierdo, A. (2007). Tratamiento y gestión de residuos sólidos.
- MOP. (1916). Banrepcultural.org, (2015). Ferrocarril del Pacífico | banrepcultural.org. Available at: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/historia/dos/dos12a.htm>.
- MT. (2011). Decreto 4165 de 2011 "Por el cual se cambia la naturaleza jurídica, cambia de denominación y se fijan otras disposiciones del Instituto Nacional de Concesiones -INCO". Bogotá, Colombia.
- MVCT. (2013). Decreto 2981. Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo
- Perdomo, J., & Ramírez, J. (2011). Análisis económico sobre el tamaño óptimo del mercado y ubicación de estaciones de transferencia para el manejo de residuos sólidos en Colombia. *Lecturas de Economía- No 75*, 143-162.
- PR. (1989). Decreto 1588 de 1989 "Por el cual se crea la Empresa Colombiana de Vías Férreas, Ferrovías, y se dictan normas para su organización y funcionamiento.". Bogotá, Colombia.
- PR. (2002). *Decreto 1713 de 2002 " Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos"*. Bogotá D.C.
- PR. (2005). Decreto 838 del 2005. Por el cual se modifica el decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones
- Quezada, C., Olivera, I., & García, M. (2009). Estructura urbana y policentrismo en el Área Metropolitana de Concepción. *Revista Eure*, 35(105), 47-70.
- RAE. (2017). Diccionario de la lengua española: localización. España.
- Ramos, C., Carmona, R., Cano, P. y Semadeni I. (1996). Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/105.pdf>
- Rincón C. (2007). Análisis del sistema férreo en Colombia 1994-2005.
- Salinas, N. (2007). Teoría de la red urbana. Cuadernos de Arquitectura y Nuevo Urbanismo. *Redes, una aproximación al fenómeno urbano*, 3, 5-17.

- Sánchez, J., & Estrada, R. (1996). Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas. Instituto Nacional de Ecología.
- SENA 2006 Caracterización Ocupacional Transporte Férreo. (2006). 1st ed. Sistema Nacional de Aprendizaje SENA, pp.15, 16. Disponible en: <http://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2154/1/3085.pdf>
- SSPD. (2008). Diagnóstico sectorial de las plantas de aprovechamiento de Residuos Sólidos. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Bogotá D.C.
- SSPD. (2011). Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia - Diagnostico 2011. Bogotá D.C.
- SSPD. (2015). Disposición Final de Residuos Sólidos – Informe Nacional 2015. Bogotá D.C.
- Stavenhagen, G. (1960). La teoría económica espacial. *Económica*, 6.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos - Volumen I*. México: McGraw - Hill, pp.10 ,12.
- Varón, K., Orejuela, J., & Manyoma, P. (2015). Modelo matemático para la ubicación de estaciones de transferencia de residuos solidos urbanos. *EIA*, ISSN 1794-1237, 61-70.
- Yadav, V., Karmajar, S., Dikshit, A., & Vanjari, S. (2016). A feasibility study for the locations of waste transfer stations in urban centers: a case of study on the city of Nashik, India. *Journal of cleaner production* 126, 191-205.
- Valbuena, L. (2013). Aproximaciones microeconómicas en la Teoría de los Lugares Centrales de Christaller. *Ensayos sobre Política Económica*, 31(70), 67-120.
- Weber, A., & Friedrich, C. J. (1929). Alfred Weber's theory of the location of industries.

Capítulo 6. Anexos

6.1. Anexo 1. Datos base para la proyección de la población

Municipio	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Albán	1.591	1.593	1.596	1.599	1.601	1.603	1.606	1.607	1.609	1.610	1.612	1.612	1.613	1.614	1.615	1.615
Anolaima	3.967	3.927	3.901	3.877	3.853	3.829	3.803	3.779	3.749	3.726	3.699	3.671	3.642	3.610	3.580	3.550
Bituima	417	420	424	430	432	436	440	440	443	444	444	445	446	445	445	443
Bojacá	6.800	7.052	7.291	7.537	7.775	8.015	8.257	8.505	8.746	8.992	9.256	9.509	9.764	10.029	10.287	10.553
Cachipay	3.200	3.197	3.194	3.190	3.185	3.181	3.176	3.171	3.165	3.159	3.153	3.146	3.138	3.132	3.124	3.116
Cajicá	27.111	28.001	28.871	29.737	30.601	31.459	32.312	33.165	34.012	34.856	35.700	36.535	37.365	38.203	39.028	39.844
Carmen de Carupa	1.689	1.744	1.802	1.864	1.928	1.995	2.065	2.138	2.214	2.293	2.374	2.458	2.545	2.636	2.728	2.825
Chaguaní	804	796	789	783	777	771	766	761	757	753	749	747	744	742	741	740
Chía	73.841	76.413	78.978	81.535	84.084	86.627	89.162	91.689	94.209	96.721	99.226	101.724	104.214	106.697	109.172	111.640
Chocontá	9.220	9.586	9.951	10.311	10.671	11.030	11.395	11.761	12.124	12.494	12.867	13.237	13.618	14.001	14.387	14.782
Cogua	5.356	5.516	5.679	5.839	5.997	6.157	6.315	6.475	6.634	6.791	6.950	7.107	7.264	7.424	7.581	7.736
Cota	10.787	11.153	11.519	11.888	12.249	12.605	12.963	13.315	13.666	14.012	14.354	14.697	15.034	15.371	15.705	16.036
El Colegio	7.636	7.716	7.792	7.868	7.941	8.018	8.084	8.151	8.216	8.277	8.336	8.394	8.449	8.501	8.544	8.589
El Peñón	450	449	448	448	447	446	446	446	445	445	445	445	445	445	445	445
El Rosal	9.201	9.527	9.856	10.171	10.484	10.797	11.109	11.430	11.729	12.044	12.347	12.661	12.974	13.283	13.600	13.914
Facatativá	95.640	98.077	100.466	102.826	105.182	107.538	109.909	112.269	114.616	116.960	119.294	121.608	123.931	126.239	128.531	130.810
Fómeque	4.101	4.179	4.274	4.364	4.446	4.519	4.579	4.629	4.676	4.709	4.734	4.755	4.758	4.752	4.738	4.715
Funza	57.110	58.571	59.924	61.248	62.587	63.915	65.255	66.596	67.941	69.286	70.622	71.960	73.309	74.651	75.986	77.312
Fúquene	235	238	240	243	246	248	252	254	257	260	263	265	269	271	275	278
Fusagasugá	86.232	88.386	90.524	92.690	94.889	97.101	99.304	101.506	103.727	105.946	108.157	110.388	112.616	114.822	117.019	119.194
Gachalá	1.891	1.914	1.934	1.952	1.966	1.980	1.992	2.002	2.011	2.018	2.025	2.030	2.034	2.037	2.041	2.043
Gachancipá	5.882	6.134	6.386	6.636	6.884	7.126	7.374	7.622	7.867	8.116	8.365	8.614	8.863	9.120	9.376	9.632
Gachetá	3.263	3.299	3.336	3.375	3.416	3.458	3.501	3.546	3.592	3.640	3.689	3.740	3.792	3.846	3.901	3.958
Gama	669	685	702	719	735	753	770	787	805	822	841	858	877	895	914	932
Granada	1.609	1.647	1.690	1.731	1.774	1.817	1.860	1.904	1.951	1.995	2.039	2.085	2.128	2.174	2.218	2.263
Guachetá	3.614	3.636	3.655	3.673	3.688	3.703	3.716	3.728	3.739	3.748	3.756	3.763	3.769	3.774	3.779	3.782
Guasca	4.020	4.135	4.259	4.382	4.503	4.623	4.744	4.860	4.977	5.090	5.203	5.316	5.426	5.532	5.642	5.747
Guatavita	1.771	1.797	1.815	1.838	1.853	1.866	1.893	1.907	1.926	1.940	1.960	1.983	1.990	2.009	2.010	2.025
Guayabal de Síquima	864	862	861	860	860	860	860	861	862	864	866	868	871	874	878	882
Junín	821	838	861	882	904	923	941	956	972	986	998	1.010	1.021	1.031	1.040	1.048
La Calera	9.520	9.783	10.032	10.278	10.517	10.749	10.985	11.211	11.428	11.641	11.849	12.051	12.248	12.441	12.629	12.809
La Mesa	14.192	14.523	14.874	15.218	15.562	15.903	16.234	16.558	16.882	17.202	17.521	17.842	18.159	18.468	18.772	19.076
La Palma	3.983	3.979	3.978	3.979	3.984	3.994	4.009	4.020	4.032	4.055	4.072	4.104	4.129	4.166	4.189	4.231
La Peña	1.001	1.000	999	998	996	996	995	995	994	994	995	994	995	995	995	996
La Vega	4.563	4.649	4.729	4.805	4.879	4.954	5.020	5.088	5.153	5.214	5.270	5.328	5.381	5.428	5.475	5.518
Lenguazaque	2.094	2.117	2.137	2.156	2.175	2.195	2.213	2.232	2.249	2.266	2.282	2.295	2.310	2.324	2.335	2.345
Macheta	1.444	1.452	1.463	1.474	1.484	1.490	1.494	1.496	1.498	1.498	1.498	1.497	1.495	1.491	1.486	1.479
Madrid	53.858	55.301	56.667	58.024	59.378	60.727	62.093	63.459	64.817	66.171	67.527	68.862	70.203	71.538	72.870	74.187
Manta	1.072	1.102	1.132	1.158	1.185	1.205	1.223	1.243	1.257	1.271	1.285	1.296	1.308	1.318	1.327	1.338
Mosquera	59.884	61.799	63.649	65.505	67.390	69.292	71.238	73.229	75.230	77.256	79.316	81.406	83.520	85.677	87.855	90.040

Municipio	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Nemocón	4.990	5.069	5.136	5.203	5.271	5.341	5.411	5.479	5.548	5.616	5.684	5.751	5.817	5.883	5.950	6.018
Nimaima	2.207	2.274	2.334	2.398	2.455	2.525	2.590	2.660	2.735	2.799	2.875	2.948	3.025	3.089	3.165	3.238
Nocaima	1.842	1.825	1.812	1.803	1.798	1.798	1.801	1.809	1.821	1.837	1.858	1.882	1.911	1.944	1.981	2.022
Pacho	13.497	13.681	13.865	14.051	14.237	14.424	14.613	14.802	14.992	15.184	15.376	15.569	15.763	15.958	16.154	16.351
Paime	531	524	519	513	507	501	494	487	481	475	468	460	454	447	438	431
Quebradanegra	358	361	365	369	372	374	378	380	382	384	386	388	390	391	392	393
Quipile	694	691	689	686	684	682	681	679	678	677	676	675	675	675	675	675
San Antonio del Tequendama	848	870	890	910	928	946	963	978	992	1.006	1.018	1.030	1.040	1.050	1.060	1.069
San Cayetano	661	671	680	689	697	705	712	718	724	730	735	739	743	747	751	754
San Francisco	2.886	2.928	2.974	3.024	3.074	3.126	3.173	3.227	3.281	3.334	3.385	3.440	3.492	3.544	3.599	3.648
Sasaima	2.232	2.251	2.271	2.290	2.312	2.331	2.351	2.371	2.390	2.408	2.429	2.449	2.466	2.485	2.502	2.520
Sesquilé	2.365	2.463	2.565	2.668	2.775	2.884	2.995	3.110	3.226	3.346	3.468	3.593	3.720	3.850	3.983	4.118
Sibaté	21.188	21.654	22.119	22.586	23.056	23.528	24.001	24.473	24.942	25.416	25.903	26.392	26.877	27.374	27.872	28.369
Silvania	5.690	5.770	5.833	5.905	5.968	6.020	6.074	6.130	6.176	6.226	6.270	6.304	6.335	6.349	6.355	6.360
Simijaca	5.758	5.909	6.072	6.232	6.387	6.543	6.694	6.840	6.992	7.141	7.293	7.438	7.583	7.728	7.872	8.016
Soacha	396.555	407.365	418.075	428.787	439.533	450.329	461.225	472.152	483.172	494.216	505.319	516.435	527.644	538.854	550.054	561.259
Sopó	12.834	13.276	13.721	14.165	14.597	15.030	15.456	15.883	16.302	16.727	17.151	17.564	17.988	18.403	18.826	19.240
Subachoque	5.001	5.116	5.213	5.307	5.404	5.507	5.613	5.722	5.834	5.943	6.061	6.177	6.293	6.413	6.528	6.648
Suesca	6.401	6.630	6.860	7.095	7.317	7.535	7.754	7.963	8.171	8.373	8.567	8.757	8.941	9.122	9.291	9.452
Supatá	1.391	1.399	1.409	1.418	1.428	1.439	1.451	1.463	1.475	1.488	1.502	1.516	1.531	1.546	1.562	1.579
Susa	4.589	4.704	4.904	5.102	5.291	5.477	5.649	5.829	5.995	6.163	6.315	6.467	6.614	6.757	6.889	7.022
Sutatausa	1.359	1.402	1.442	1.480	1.519	1.558	1.598	1.636	1.671	1.710	1.743	1.777	1.811	1.845	1.877	1.908
Tabio	9.281	9.702	10.114	10.518	10.914	11.300	11.680	12.056	12.426	12.787	13.145	13.511	13.873	14.230	14.594	14.953
Tausa	796	827	856	884	912	939	964	990	1.014	1.037	1.058	1.079	1.099	1.118	1.135	1.151
Tena	697	712	725	739	752	765	780	794	807	821	835	849	863	877	892	905
Tenjo	7.884	8.086	8.274	8.460	8.641	8.796	8.945	9.082	9.199	9.318	9.421	9.519	9.605	9.687	9.744	9.807
Tibirita	505	502	499	497	495	493	492	492	491	491	492	493	494	496	498	500
Tocancipá	9.622	10.028	10.421	10.812	11.205	11.593	11.995	12.391	12.800	13.208	13.618	14.032	14.449	14.873	15.297	15.729
Topaipí	711	723	738	752	762	773	782	790	797	805	811	816	821	825	829	830
Ubalá	1.206	1.218	1.229	1.238	1.247	1.255	1.262	1.268	1.273	1.277	1.280	1.282	1.283	1.283	1.282	1.280
Villa de San Diego de Ubaté	22.042	22.438	22.814	23.172	23.510	23.830	24.130	24.412	24.674	24.917	25.141	25.346	25.532	25.699	25.847	25.976
Útica	2.574	2.592	2.609	2.627	2.644	2.662	2.675	2.690	2.703	2.715	2.730	2.741	2.750	2.764	2.771	2.779
Vegara	1.275	1.299	1.329	1.359	1.387	1.414	1.439	1.462	1.486	1.507	1.527	1.545	1.565	1.582	1.597	1.611
Vianí	1.216	1.229	1.241	1.253	1.265	1.276	1.287	1.298	1.309	1.320	1.330	1.340	1.349	1.359	1.368	1.377
Villagómez	620	617	615	613	612	611	612	613	614	617	619	623	627	632	638	644
Villapinzón	5.357	5.466	5.586	5.701	5.818	5.934	6.050	6.172	6.288	6.407	6.526	6.639	6.759	6.873	6.993	7.110
Villeta	14.774	14.944	15.105	15.260	15.408	15.550	15.684	15.814	15.938	16.059	16.178	16.291	16.403	16.513	16.623	16.731
Yacopí	3.303	3.384	3.467	3.543	3.615	3.681	3.746	3.804	3.859	3.910	3.958	4.004	4.046	4.083	4.118	4.149
Zipacón	1.706	1.741	1.783	1.821	1.862	1.901	1.935	1.972	2.010	2.047	2.081	2.119	2.156	2.190	2.224	2.256
Zipaquirá	88.527	90.457	92.334	94.198	96.067	97.925	99.816	101.677	103.544	105.412	107.278	109.146	111.025	112.897	114.765	116.622
Ráquira	2.482	2.584	2.685	2.784	2.881	2.976	3.069	3.161	3.251	3.338	3.425	3.509	3.591	3.672	3.751	3.828

Fuente: DANE (2005).

6.2. Anexo 2. Determinación de la producción per cápita (PPC) de residuos sólidos por municipio

Municipio	Base de cálculo de la PPC		ppc (Kg/hab día)
	Población (hab)	Residuo Dispuesto (t/año)	
Albán	1.612	660,7	1,12
Anolaima	3.699	1.472,00	1,09
Bituima	444	150,2	0,93
Bojacá	9.256	1.450,30	0,43
Cachipay	3.153	1.200,20	1,04
Cajicá	35.700	14.980,70	1,15
Carmen de Carupa	2.374	312,6	0,36
Chaguaní	749	228,2	0,83
Chía	99.226	30.858,70	0,85
Chocontá	12.867	1.779,30	0,38
Cogua	6.950	2.641,00	1,04
Cota	14.354	7.844,30	1,5
El Colegio	8.336	4.124,30	1,36
El Peñón	445	160,4	0,99
El Rosal	12.347	3.826,30	0,85
Facatativá	119.294	26.866,80	0,62
Fómeque	4.734	1.307,40	0,76
Funza	70.622	22.938,20	0,89
Fúquene	263	211,2	2,2
Fusagasugá	108.157	27.991,20	0,71
Gachalá	2.025	325	0,44
Gachancipá	8.365	2.056,10	0,67
Gachetá	3.689	982,7	0,73
Gama	841	99,2	0,32
Granada	2.039	985,3	1,32
Guachetá	3.756	501,5	0,37
Guasca	5.203	1.882,00	0,99
Guatavita	1.960	509,2	0,71
Guayabal de Siquima	866	203	0,64
Junín	998	233	0,64
La Calera	11.849	4.892,40	1,13
La Mesa	17.521	5.833,60	0,91
La Palma	4.072	843,8	0,57
La Peña	995	293,6	0,81
La Vega	5.270	2.835,80	1,47
Lenguazaque	2.282	475	0,57
Macheta	1.498	366,8	0,67
Madrid	67.527	18.528,30	0,75
Manta	1.285	235,1	0,5
Mosquera	79.316	30.364,50	1,05
Nemocón	5.684	775	0,37
Nimaima	2.875	436,9	0,42
Nocaima	1.858	706,1	1,04
Pacho	15.376	1.979,60	0,35
Paima	468	159,8	0,94
Quebradanegra	386	409,1	2,9
Quipile	676	306,3	1,24
San Antonio del Tequendama	1.018	1.121,70	3,02
San Cayetano	735	76,8	0,29
San Francisco	3.385	1.348,90	1,09
Sasaima	2.429	1.081,30	1,22
Sesquilé	3.468	3.539,40	2,8
Sibaté	25.903	6.406,10	0,68
Silvania	6.270	2.095,30	0,92
Simijaca	7.293	1.024,50	0,38

Municipio	Base de cálculo de la PPC		ppc (Kg/hab día)
	Población (hab)	Residuo Dispuesto (t/año)	
Soacha	505.319	119.353,20	0,65
Sopó	17.151	5.542,50	0,89
Subachoque	6.061	2.343,50	1,06
Suesca	8.567	993,9	0,32
Supatá	1.502	372,3	0,68
Susa	6.315	200,7	0,09
Sutatausa	1.743	315,7	0,5
Tabio	13.145	2.725,60	0,57
Tausa	1.058	274,2	0,71
Tena	835	1.389,70	4,56
Tenjo	9.421	3.865,40	1,12
Tibirita	492	138,2	0,77
Tocancipá	13.618	8.152,20	1,64
Topaipí	811	87,6	0,3
Ubalá	1.282	116,7	1,01
Villa de San Diego de Ubaté	25.141	6.085,20	0,66
Útica	2.730	602,6	0,6
Vergara	1.527	238,6	0,43
Vianí	1.330	333,7	0,69
Villagómez	619	96,2	0,43
Villapinzón	6.526	1.352,30	0,57
Villeta	16.178	6.131,00	1,04
Yacopí	3.910	142,2	0,1
Zipacón	2.081	390,5	0,51
Zipaquirá	107.278	26.572,20	0,68
Ráquira	3.425	268,1	0,21

Fuente: El autor

6.3. Anexo3. Tiempos y distancias de cada componente del sistema de transferencia

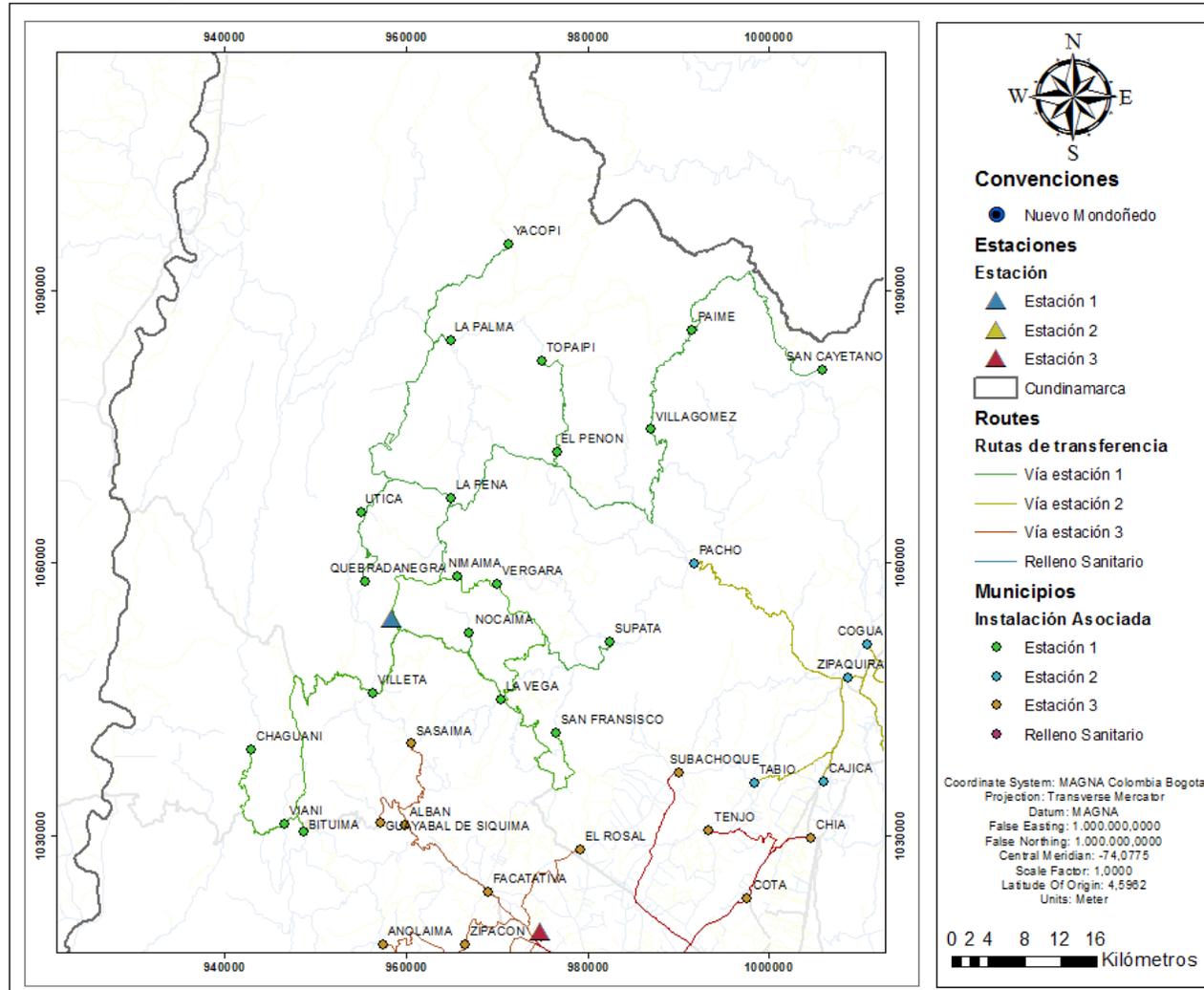
MUNICIPIO	RESIDUOS		SIN TRANSFERENCIA			CON TRANSFERENCIA					
	Residuos Ton/año 2048	Residuos Ton/día 2048	Tiempo (h)	Distancia (Km)	Estación	COMPACTADORES		TRENES		CAMIONES GRAN CAPACIDAD	
						Tiempo (h)	Distancia (Km)	Tiempo (h)	Distancia (Km)	Tiempo (h)	Distancia (Km)
Bituima	169,68	0,46	1,47	75,82	1	0,99	48,95	0,97	77,44	0,42	25,03
Chaguaní	186,43	0,51	1,88	96,78	1	1,33	65,43	0,97	77,44	0,42	25,03
El peñón	156,90	0,43	2,59	123,38	1	1,06	42,32	0,97	77,44	0,42	25,03
La palma	962,21	2,64	3,13	139,37	1	1,60	58,31	0,97	77,44	0,42	25,03
La peña	290,37	0,80	2,08	102,95	1	0,55	21,89	0,97	77,44	0,42	25,03
La vega	3.955,97	10,84	1,69	78,06	1	1,19	45,25	0,97	77,44	0,42	25,03
Nimaima	783,56	2,15	1,84	93,43	1	0,31	12,37	0,97	77,44	0,42	25,03
Nocaima	868,32	2,38	1,41	73,03	1	0,28	14,53	0,97	77,44	0,42	25,03
Paima	84,77	0,23	3,04	140,87	1	2,23	89,34	0,97	77,44	0,42	25,03
Quebradanegra	489,87	1,34	2,81	127,33	1	1,28	46,27	0,97	77,44	0,42	25,03
San Cayetano	97,54	0,27	4,15	173,79	1	3,34	122,25	0,97	77,44	0,42	25,03
San francisco	2.027,20	5,55	1,16	51,64	1	0,89	46,76	0,97	77,44	0,42	25,03
Supatá	475,76	1,30	2,30	102,43	1	1,12	44,73	0,97	77,44	0,42	25,03
Topaipí	115,18	0,32	2,97	138,80	1	1,44	57,74	0,97	77,44	0,42	25,03
Utica	701,54	1,92	2,46	97,72	1	0,75	20,67	0,97	77,44	0,42	25,03
Vergara	354,37	0,97	2,03	101,09	1	0,50	20,03	0,97	77,44	0,42	25,03
Vianí	421,86	1,16	1,50	79,06	1	0,94	47,71	0,97	77,44	0,42	25,03
Villagómez	105,16	0,29	2,64	124,54	1	1,83	73,00	0,97	77,44	0,42	25,03
Villeta	7.730,68	21,18	1,66	89,34	1	0,18	10,49	0,97	77,44	0,42	25,03
Yacopí	210,41	0,58	3,51	154,66	1	1,98	73,60	0,97	77,44	0,42	25,03
Cajicá	26.716,05	73,19	0,84	48,76	2	0,69	32,60	1,13	90,29	0,42	25,03
Carmen de Carupa	644,54	1,77	2,26	115,17	2	0,98	39,69	1,13	90,29	0,42	25,03
Chocontá	3.466,34	9,50	1,72	101,47	2	1,24	59,32	1,13	90,29	0,42	25,03
Cogua	4.629,79	12,68	1,17	65,78	2	0,42	16,82	1,13	90,29	0,42	25,03
Fúquene	286,62	0,79	2,18	121,32	2	0,89	45,84	1,13	90,29	0,42	25,03
Gachalá	374,71	1,03	4,11	163,57	2	3,71	136,80	1,13	90,29	0,42	25,03
Gachancipá	4.077,22	11,17	1,21	71,46	2	0,74	29,51	1,13	90,29	0,42	25,03
Gacheta	1.392,97	3,82	2,47	114,04	2	2,07	87,26	1,13	90,29	0,42	25,03
Gama	167,60	0,46	2,86	129,81	2	2,46	103,03	1,13	90,29	0,42	25,03
Guachetá	548,64	1,50	2,42	124,63	2	1,13	49,16	1,13	90,29	0,42	25,03
Guasca	3.258,76	8,93	1,47	73,91	2	1,06	47,13	1,13	90,29	0,42	25,03
Guatavita	654,24	1,79	1,80	98,73	2	1,32	56,58	1,13	90,29	0,42	25,03
Junín	349,29	0,96	2,68	122,24	2	2,27	95,47	1,13	90,29	0,42	25,03
Lenguazaque	589,68	1,62	2,53	141,41	2	1,91	74,06	1,13	90,29	0,42	25,03
Macheta	383,88	1,05	1,99	109,59	2	1,52	65,50	1,13	90,29	0,42	25,03
Manta	336,76	0,92	2,63	129,94	2	2,15	87,78	1,13	90,29	0,42	25,03
Nemocón	1.081,40	2,96	1,44	77,49	2	0,07	2,91	1,13	90,29	0,42	25,03
Pacho	2.788,84	7,64	1,83	92,44	2	1,28	51,97	1,13	90,29	0,42	25,03
Ráquira	498,84	1,37	3,03	149,35	2	1,75	73,87	1,13	90,29	0,42	25,03
Sesquilé	7.495,79	20,54	1,42	83,57	2	0,94	41,41	1,13	90,29	0,42	25,03
Simijaca	1.720,91	4,71	2,51	142,72	2	1,22	67,25	1,13	90,29	0,42	25,03

MUNICIPIO	RESIDUOS		SIN TRANSFERENCIA			CON TRANSFERENCIA					
						COMPACTADORES		TRENES		CAMIONES GRAN CAPACIDAD	
	Residuos Ton/año 2048	Residuos Ton/día 2048	Tiempo (h)	Distancia (Km)	Estación	Tiempo (h)	Distancia (Km)	Tiempo (h)	Distancia (Km)	Tiempo (h)	Distancia (Km)
Sopo	10.082,43	27,62	1,12	63,85	2	0,69	32,24	1,13	90,29	0,42	25,03
Suesca	1.772,53	4,86	1,53	87,70	2	1,05	45,55	1,13	90,29	0,42	25,03
Susa	373,68	1,02	2,35	133,30	2	1,06	57,82	1,13	90,29	0,42	25,03
Sutatausa	533,72	1,46	1,73	96,18	2	0,44	20,70	1,13	90,29	0,42	25,03
Tabio	5.291,10	14,50	1,04	56,40	2	0,88	38,86	1,13	90,29	0,42	25,03
Tausa	475,38	1,30	1,63	89,68	2	0,34	14,21	1,13	90,29	0,42	25,03
Tibirita	136,13	0,37	2,44	127,90	2	1,96	85,75	1,13	90,29	0,42	25,03
Tocancipá	16.178,88	44,33	1,17	68,15	2	0,66	26,47	1,13	90,29	0,42	25,03
Ubalá	529,92	1,45	4,00	159,00	2	3,60	132,22	1,13	90,29	0,42	25,03
Ubaté	8.145,30	22,32	1,90	106,59	2	0,61	31,11	1,13	90,29	0,42	25,03
Villapinzón	2.153,27	5,90	1,98	116,23	2	1,50	74,07	1,13	90,29	0,42	25,03
Zipaquirá	41.863,76	114,70	1,05	61,20	2	0,46	19,20	1,13	90,29	0,42	25,03
Albán	681,91	1,87	1,02	50,28	3	0,42	23,85			0,42	25,03
Anolaima	1.116,85	3,06	1,01	48,90	3	0,63	26,94			0,42	25,03
Bojacá	2.739,91	7,51	0,74	31,55	3	0,16	6,82			0,42	25,03
Cachipay	1.128,37	3,09	0,74	37,97	3	0,53	21,63			0,42	25,03
Chía	5.6702,88	155,35	0,76	43,74	3	0,41	43,04			0,42	25,03
Cota	14.144,97	38,75	0,51	30,10	3	0,37	32,13			0,42	25,03
El rosal	7.026,17	19,25	0,74	33,80	3	0,53	17,96			0,42	25,03
Facatativá	44.275,73	121,30	0,76	34,67	3	0,16	8,24			0,42	25,03
Funza	37.322,34	102,25	0,22	12,87	3	0,06	14,66			0,42	25,03
Guayabal	212,98	0,58	1,18	60,02	3	0,58	33,58			0,42	25,03
Madrid	30.775,10	84,32	0,24	14,65	3	0,10	6,85			0,42	25,03
Mosquera	55.784,43	152,83	0,17	10,11	3	0,02	11,80			0,42	25,03
Sasaima	1.364,66	3,74	1,37	65,20	3	0,77	38,77			0,42	25,03
Subachoque	3.744,27	10,26	0,90	45,87	3	1,03	36,53			0,42	25,03
Tenjo	5.562,93	15,24	1,04	50,84	3	0,88	49,61			0,42	25,03
Zipacón	618,80	1,70	0,88	39,47	3	0,28	13,03			0,42	25,03
El colegio	5.159,10	14,13	0,81	44,10	TDRS	0,81	44,10				
Fómeque	1.676,28	4,59	1,50	78,29	TDRS	1,50	78,29				
Fusagasugá	46.823,13	128,28	0,93	53,68	TDRS	0,93	53,68				
Granada	1.686,22	4,62	0,53	29,30	TDRS	0,53	29,30				
La calera	7.860,95	21,54	1,00	52,88	TDRS	1,00	52,88				
La mesa	9.410,72	25,78	0,55	33,12	TDRS	0,55	33,12				
Quipile	288,31	0,79	1,13	56,32	TDRS	1,13	56,32				
San Antonio del Tequendama	1.645,51	4,51	0,40	20,23	TDRS	0,40	20,23				
Sibaté	10.312,08	28,25	0,46	21,93	TDRS	0,46	21,93				
Silvania	2.588,09	7,09	0,79	44,88	TDRS	0,79	44,88				
Soacha	205.018,58	561,69	0,24	13,98	TDRS	0,24	13,98				
Tena	2.150,71	5,89	0,50	28,55	TDRS	0,50	28,55				

TDRS: Transporte directo del municipio al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo

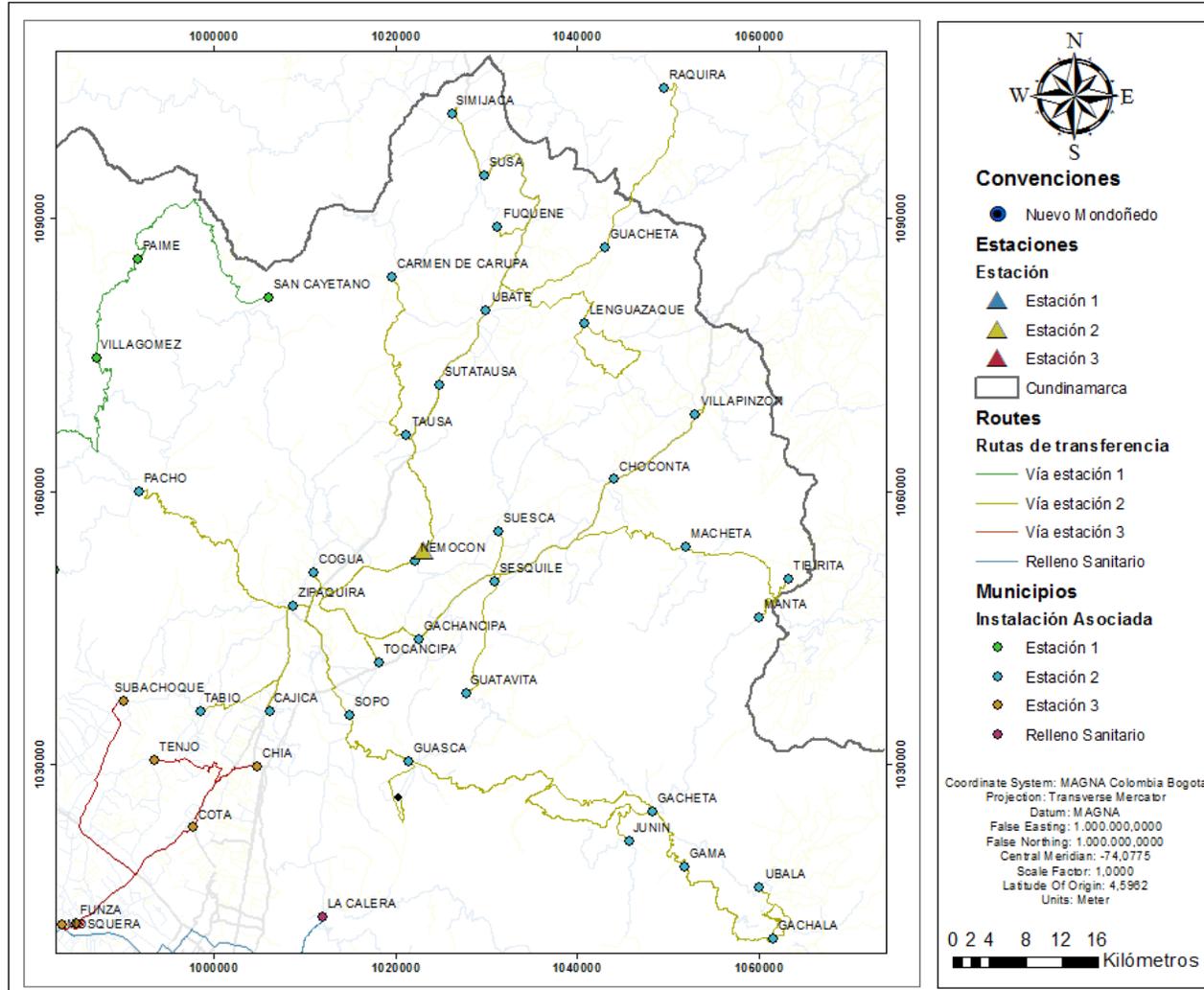
Fuente: El autor

6.4. Anexo 4. Rutas vehículos compactadores a Estación 1



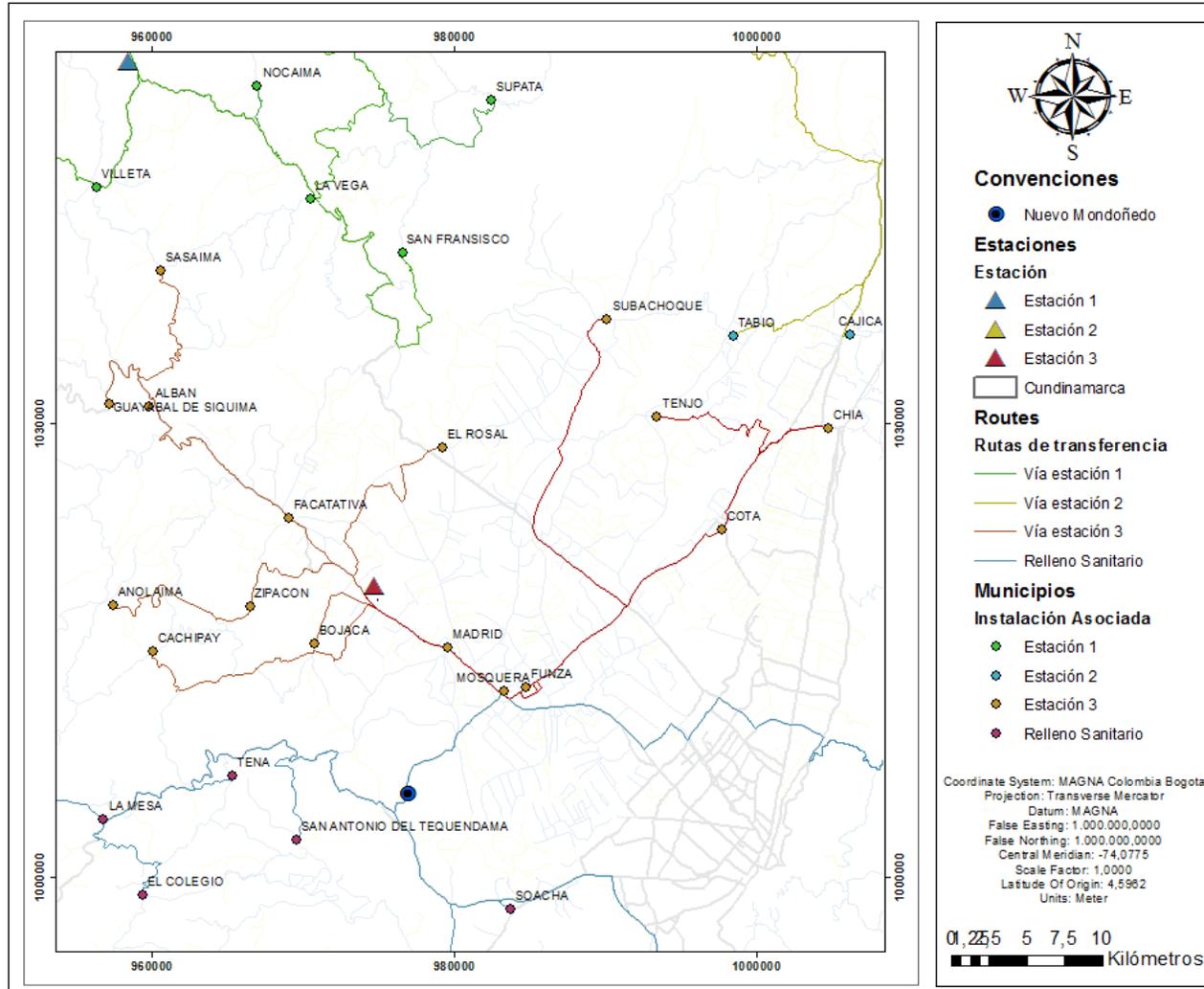
Fuente: El autor

6.5. Anexo 5. Rutas vehículos compactadores a Estación 2



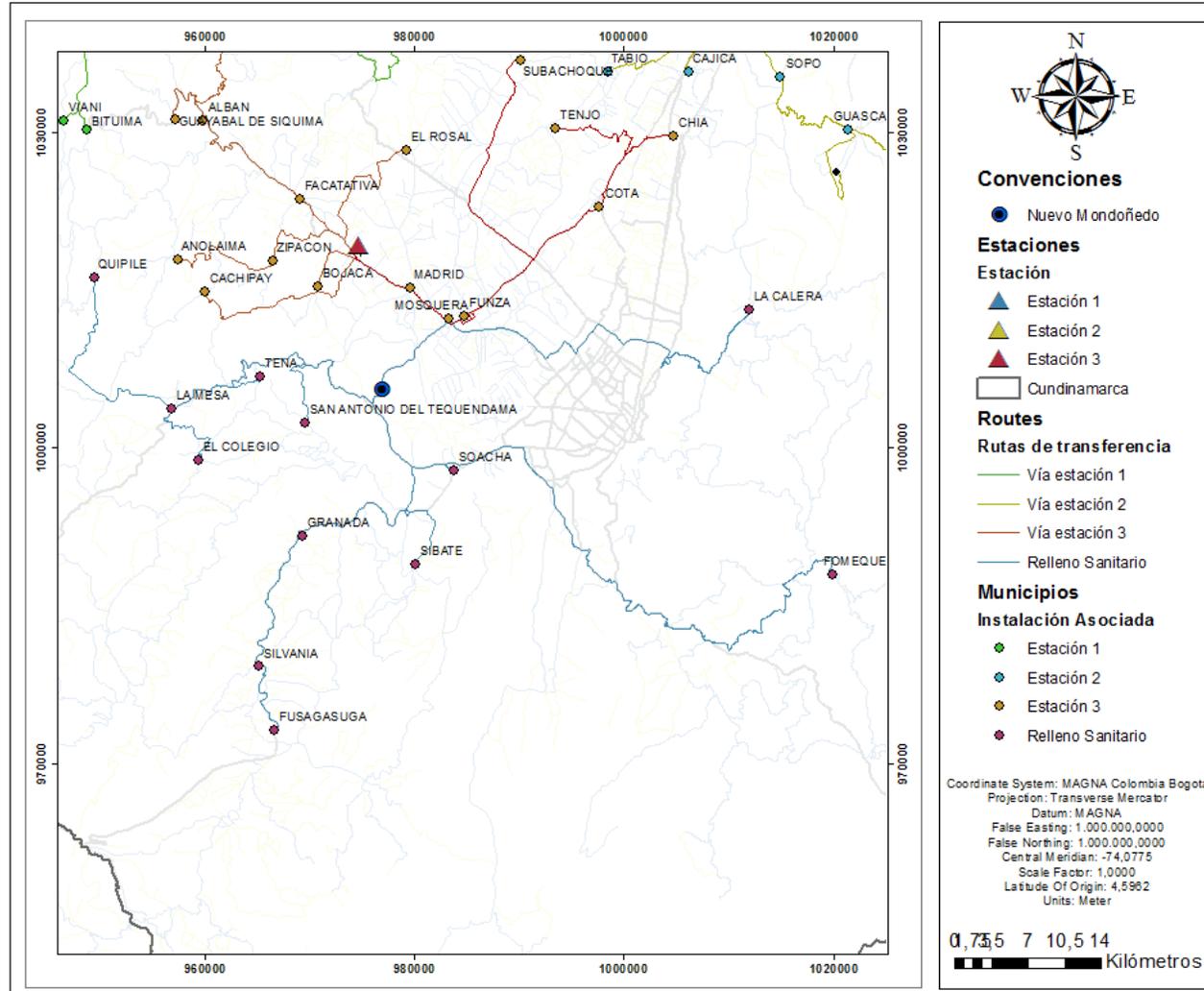
Fuente: El autor

6.6. Anexo 6. Rutas vehículos compactadores a Estación 3



Fuente: El autor

6.7. Anexo 7. Rutas vehículos compactadores a Relleno Sanitario.



Fuente: El autor

6.8. Anexo 8. Vías prioritizadas para el transporte de residuos desde cada municipio a su respectiva planta de transferencia

Municipio	Análisis de Tramos de Vías				
Albán	Chuguacal - Los Alpes	Los Alpes - Bogotá	Facatativá / Carrera 2	Los Alpes - Bogotá	

Municipio	Análisis de Tramos de Vías									
	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria						
	6,3 Km.	13,6 Km	1,2 Km	6,8 Km						
Anolaima	Anolaima - La Florida	La Florida - Los Manzanos	San Carlos - La Florida	Cachipay - Anolaima	Petaluma - Zipacón	Cartagenita - Zipacón	Los Alpes - Bogotá			
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria			
	7 Km	1,4 Km	0,6 Km	3,4 Km	13 Km	10,1 Km	3,8 Km			
Bituima	Vianí - Bituima	Vianí - La Cabaña	Bogotá - Puerto Salgar	Bogotá - Puerto Salgar / Acceso a Villeta	Bogotá - Puerto Salgar	Escuela la Floresta - Tobia				
	V Primaria	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria				
	2,1Km	22Km	15,8 Km	2,8 Km	9,4 Km	2,4 Km				
Bojacá	El Corzo - Bojacá	Los Alpes - Bogotá								
	V Secundaria	V Primaria								
	5,3 Km	2 Km								
Cachipay	Cachipay - Anolaima	Petaluma - Zipacón	Cartagenita - Zipacón	Los Alpes - Bogotá						
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria						
	1,6 Km	13 Km	10,1 Km	3,8 Km						
Cajicá	Vía Nacional 45A04	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra							
	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria							
	8,3 Km	12,7 Km	0,9 Km							
Carmen de Carupa	Juntas - Corrales	El Hato - Bruselas	El Hato - Pedregal	Pedregal - Sutatausa	Nemocón Tierra negra					
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	6,4 Km	2,7 Km	2,4 Km	10,2 Km	17,9 Km					
Chaguani	San Vicente - Chaguani	San Vicente - Vianí	Vianí - Bituima	Vianí - La Cabaña	Bogotá - Puerto Salgar	Bogotá - Puerto Salgar / Acceso a Villeta	Bogotá - Puerto Salgar	Escuela la Floresta - Tobia		
	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria		
	11,9 Km	7,2 Km	2,2 Km	22 Km	15,8 Km	2,8 Km	9,4 Km	1,3 Km		
Chía	Chía - Cota	Cota - Siberia	Siberia - Funza	Funza / Carrera 13	Mosquera / Carrera 3	Mosquera - Cruce a Madrid	La Virgen - Madrid	Madrid / Calle 7	Los Alpes - Bogotá	
	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria
	9 Km	7 Km	6,5 Km	2,2 Km	4 Km	0,4 Km	0,9 Km	2,2 Km	4,9 Km	
Chocontá	Vía nacional 5501	Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra					
	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	54 Km	4,8 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km					
Cogua	Cogua - San Carlos	Balmoral - El Edén	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra						
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria						
	5,4 Km	1,6 Km	5,1 Km	0,9 Km						
Cota	Cota - Siberia	Siberia - Funza	Funza / Carrera 13	Mosquera / Carrera 3	Mosquera - Cruce a Madrid	La Virgen - Madrid	Madrid / Calle 7	Los Alpes - Bogotá		
	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria		
	7 Km	6,5 Km	2,2 Km	4 Km	0,4 Km	0,9 Km	2,2 Km	4,9 Km		
El Peñón	Guanacas - El Peñón	Charco Largo - Guanacas	Charcolargo - La Peña	La Peña - Paso El Rejo	Paso El Rejo - Tobia	Escuela la Floresta - Tobia				
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria				

Municipio	Análisis de Tramos de Vías											
	3,6 Km	7,3 Km	13,3 Km	13,5 Km	5,3 Km	5,2 Km						
El Rosal	La Cruz - El Rosal	La Cruz - Santa Clara - Los Árboles	San Luis - Madrid	Los Árboles - Vereda Moyano	Córdova - El Corzo	Los Alpes - Bogotá						
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria						
	1,3 Km	6,5 Km	0,3 Km	4 Km	2 Km	1 Km						
Facatativá	Facatativá / Carrera 2	Los Alpes - Bogotá										
	V Primaria	V Primaria										
	1,2 Km	6,8 Km										
Funza	Funza / Carrera 13	Mosquera / Carrera 3	Mosquera - Cruce a Madrid	La Virgen - Madrid	Madrid / Calle 7	Los Alpes - Bogotá						
	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria						
	2,2 Km	4 Km	0,4 Km	0,9 Km	2,2 Km	4,9 Km						
Fúquene	Fúquene - Capellanía	Susa - Capellanía	Ubaté - Chiquinquirá	Sutatausa Ubaté	Boquerón - Sutatausa	Nemocón Tierra negra						
	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria						
	5,9 Km	10,1 Km	14,3 Km	8 Km	9,6 Km	12,6 Km						
Gachalá	Gama - Gachalá	El Ramal - Gama	San Roque - Gachetá	Sueva - San Roque	Sueva - El Amoladero	Guasca - Sueva	Cuatro Esquinas - El Chuscal	Vía Nacional 5009	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra	
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria
	21 Km	14,3 Km	3 Km	6,6 Km	9,8 Km	22 Km	10,2 Km	7,5 Km	9,3 Km	12,7 Km	0,8 Km	
Gachancipá	Gachancipá - El Porvenir	Las Colinas - El Porvenir	Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra						
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria						
	2,4 Km	4,1 Km	4,8 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km						
Gacheta	San Roque - Gachetá	Sueva - San Roque	Sueva - El Amoladero	Guasca - Sueva	Cuatro Esquinas - El Chuscal	Vía Nacional 5009	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra			
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria			
	3 Km	6,6 Km	9,8 Km	22 Km	10,2 Km	7,5 Km	9,3 Km	12,7 Km	0,8 Km			
Gama	El Ramal - Gama	San Roque - Gachetá	Sueva - San Roque	Sueva - El Amoladero	Guasca - Sueva	Cuatro Esquinas - El Chuscal	Vía Nacional 5009	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra		
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria		
	14,3 Km	3 Km	6,6 Km	9,8 Km	22 Km	10,2 Km	7,5 Km	9,3 Km	12,7 Km	0,8 Km		
Guachetá	Lenguazaque - Guachetá	Pueblo Viejo - La Balsa	Rabanal - La Balsa - Ubaté	Ubaté - Chiquinquirá	Sutatausa Ubaté	Boquerón - Sutatausa	Nemocón Tierra negra					
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria					
	2,5 Km	7,1 Km	4,6 Km	14,3 Km	8 Km	9,6 Km	12,6 Km					
Guasca	Guasca - Sueva	Cuatro Esquinas - El Chuscal	Vía Nacional 5009	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra						
	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria						
	22 Km	10,2 Km	7,5 Km	9,3 Km	12,7 Km	0,8 Km						
Guatavita	Sesquilé - Guatavita	Vía nacional 5501	Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra						
	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria						
	14,5 Km	46 Km	4,8 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km						
Guayabal	Guayabal de Síquima - Chuguacal	Chuguacal - Los Alpes	Los Alpes - Bogotá	Facatativá / Carrera 2	Los Alpes - Bogotá							
	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria							

Municipio	Análisis de Tramos de Vías														
Junín	8,2 Km	6,3 Km	13,6 Km	1,2 Km	6,8 Km	Cuatro Esquinas - El Chuscal	Vía Nacional 5009	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra					
	San Roque - Junín	San Roque - Gachetá	Sueva - San Roque	Sueva - El Amoladero	Guasca - Sueva						V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria						10,2 Km	7,5 Km	9,3 Km	12,7 Km	0,8 Km
La Palma	8,5 Km	3 Km	6,6 Km	9,8 Km	22 Km	Escuela la Floresta - Tobía	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	La Aguada - La Palma	La Cañada - Minipí - El Castillo	El Castillo / Furatena	Útica - IDP Tobía	V Secundaria										
	V Secundaria	V Terciaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria										
La Peña	3,1 Km	28 Km	4 Km	14,4 Km	5,4 Km	Escuela la Floresta - Tobía	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	Charcolargo - La Peña	La Peña - Paso El Rejo	Paso El Rejo - Tobía	V Secundaria											
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria											
La Vega	1,1 Km	13,5 Km	5,3 Km	5,2 Km	Escuela la Floresta - Tobía	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	Bogotá - Puerto Salgar	Escuela la Floresta - Tobía													
	V Primaria	V Secundaria													
Lenguazaque	17 Km	1,1 Km		Ubaté - Chiquinquirá	Sutatausa Ubaté	Boquerón - Sutatausa	Nemocón Tierra negra	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria				
	Lenguazaque - Guachetá	Rabanal - La Balsa - Ubaté	V Primaria									V Primaria	V Primaria		
	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria									V Primaria	V Primaria		
Macheta	2,5 Km	14,2 Km	14,3 Km	8 Km	9,6 Km	12,6 Km	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	Vía nacional 5501	Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra										
	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria										
Madrid	6,7 Km	4,8 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	Madrid / Calle 7	Los Alpes - Bogotá													
	V Primaria	V Primaria													
Manta	2,2 Km	4,9 Km		Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria				
	El Salitre - Manta	Vía nacional 5501	V Secundaria									V Secundaria	V Secundaria		
	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria									V Secundaria	V Secundaria		
Mosquera	6,7 Km	58 Km	4,8 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	Mosquera / Carrera 3	Mosquera - Cruce a Madrid	La Virgen - Madrid	Madrid / Calle 7	Los Alpes - Bogotá										
	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria										
Nemocón	4 Km	0,4 Km	0,9 Km	2,2 Km	4,9 Km	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	Nemocón - Tierra Negra														
	V Secundaria														
Nimaíma	0,8 Km		Paso El Rejo - Tobía	Escuela la Floresta - Tobía	Bogotá - Puerto Salgar	Escuela la Floresta - Tobía	Nemocón - Tierra Negra	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria				
	Nimaíma - Paso El Rejo	V Secundaria										V Secundaria			
	V Secundaria	V Secundaria										V Secundaria			
Nocaima	5,1 Km	5,3 Km	5,2 Km	Escuela la Floresta - Tobía	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	Nocaima - Paso del Rejo	Tobia Chica - Nocaima	V Primaria												
	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria												
Pacho	0,6 Km	3,3 Km	6,8 Km	1,1 Km	Nemocón - Tierra Negra	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	Pacho - Alto del Águila	Alto del Águila - Zipaquirá	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón											
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria											
Pacho	3 Km	5,3 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria										

Municipio	Análisis de Tramos de Vías										
Paime	Paime - Cuatro Caminos	Mencipá - Cuatro Caminos	Villagómez - Mencipá	Puente Capitán - Villagómez	Guanacas - Puente Capitán	Charco Largo - Guanacas	Charcolargo - La Peña	La Peña - Paso El Rejo	Paso El Rejo - Tobía	Escuela la Floresta - Tobía	
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	
	9,2 Km	4,7 Km	5,7 Km	20,9 Km	17,2 Km	7,3 Km	13,3 Km	13,5 Km	5,3 Km	5,2 Km	
Quebradanegra	La Playa - Útica	Útica - IDP Tobía	Escuela la Floresta - Tobía								
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria								
	9,5 Km	14,4 Km	5,4 Km								
Ráquira	Ranchería - Quebrada La Honda	Capellanía - Guachetá	Lenguazaque - Guachetá	Pueblo Viejo - La Balsa	Rabanal - La Balsa - Ubaté	Ubaté - Chiquinquirá	Sutatausa Ubaté	Boquerón - Sutatausa	Nemocón Tierra negra		
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria		
	17 Km	3,5 Km	2,5 Km	7,1 Km	4,6 Km	14,3 Km	8 Km	9,6 Km	12,6 Km		
San Cayetano	San Cayetano - El Remanso	Paime - Cuatro Caminos	Mencipá - Cuatro Caminos	Villagómez - Mencipá	Puente Capitán - Villagómez	Guanacas - Puente Capitán	Charco Largo - Guanacas	Charcolargo - La Peña	La Peña - Paso El Rejo	Paso El Rejo - Tobía	Escuela la Floresta - Tobía
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	
	25,1 Km	9,2 Km	4,7 Km	5,7 Km	20,9 Km	17,2 Km	7,3 Km	13,3 Km	13,5 Km	5,3 Km	5,2 Km
San Francisco	La Cumbre - San Francisco	Bogotá - Puerto Salgar	Escuela la Floresta - Tobía								
	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria								
	8,6 Km	28 Km	1,1 Km								
Sasaima	Chuguacal - Sasaima	Chuguacal - Los Alpes	Los Alpes - Bogotá	Facatativá / Carrera 2	Los Alpes - Bogotá						
	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria						
	13,3 Km	6,3 Km	13,6 Km	1,2 Km	6,8 Km						
Sesquilé	Vía nacional 5501	Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra						
	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria						
	46 Km	4,8 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km						
Simijaca	Susa - Chiquinquirá	Susa - Capellanía	Ubaté - Chiquinquirá	Sutatausa Ubaté	Boquerón - Sutatausa	Nemocón Tierra negra					
	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria					
	4,8 Km	15 Km	14,3 Km	8 Km	9,6 Km	12,6 Km					
Sopo	Vía Nacional 5009	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra							
	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria							
	3,6 Km	9,3 Km	12,7 Km	0,8 Km							
Subachoque	Subachoque - El Rosal	Subachoque - Puente Piedra	La Punta - La Cuesta	Bogotá - Puerto Salgar	Siberia - Funza	Funza / Carrera 13	Mosquera / Carrera 3	Mosquera - Cruce a Madrid	La Virgen - Madrid	Madrid / Calle 7	Los Alpes - Bogotá
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	
	0,6 Km	8,8 Km	5,5 Km	8,3 Km	6,5 Km	2,2 Km	4 Km	0,4 Km	0,9 Km	2,2 Km	4,9 Km
Suesca	Suesca - Sesquilé	Vía nacional 5501	Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra					
	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria					
	5,6 Km	46 Km	4,8 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km					
Supatá	La Magola - Supatá	La Magola - Choopal - La Vega	La Magola - El Empalme - Vergara	Vergara - Nimaíma	Nimaíma - Paso El Rejo	Paso El Rejo - Tobía	Escuela la Floresta - Tobía				
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria				
	9,3 Km	0,9 Km	18,3 Km	8,6 Km	5,1 Km	5,3	5,2				
Susa	Susa - Capellanía	Ubaté - Chiquinquirá	Sutatausa Ubaté	Boquerón - Sutatausa	Nemocón Tierra negra						

Municipio	Análisis de Tramos de Vías											
	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria							
	15 Km	14,3 Km	8 Km	9,6 Km	12,6 Km							
Sutatausa	Sutatausa Ubaté	Boquerón - Sutatausa	Nemocón Tierra negra									
	V Primaria	V Primaria	V Secundaria									
	8 Km	9,6 Km	12,6 Km									
Tabio	Tabio - Cajicá	El Molino - La Concepción	Vía a la Cantera - La Naveta	Vía Nacional 45A04	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra						
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria						
	5,5 Km	2,3 Km	2,2 Km	8,3 Km	12,7 Km	0,9 Km						
Tausa	Sutatausa - Nemocón											
	V Secundaria											
	17,9 Km											
Tenjo	Tenjo - Cruce de Tenjo	Chía - Cota	Cota - Siberia	Siberia - Funza	Funza / Carrera 13	Mosquera / Carrera 3	Mosquera - Cruce a Madrid	La Virgen - Madrid	Madrid / Calle 7	Los Alpes - Bogotá		
	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria		
	13,1 Km	9 Km	7 Km	6,5 Km	2,2 Km	4 Km	0,4 Km	0,9 Km	2,2 Km	4,9 Km		
Tibirita	Tibirita - Carretera Central	Vía nacional 5501	Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra						
	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria						
	2,4 Km	58 Km	4,8 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km						
Tocancipá	Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra								
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria								
	4,8 Km	6,6 Km	12,7 Km	0,9 Km								
Topaipí	Ye de Soaraz - Topaipí - Capira - IPD Pasuncha	El Peñón - Palacio - Peñón	Guanacas - El Peñón	Charco Largo - Guanacas	Charcolargo - La Peña	La Peña - Paso El Rejo	Paso El Rejo - Tobía	Escuela la Floresta - Tobía				
	V terciaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria				
	4,6 Km	14,7 Km	3,6 Km	7,3 Km	13,3 Km	13,5 Km	5,3 Km	5,2 Km				
Ubalá	El Ramal - Ubalá	Gachetá - El Ramal	San Roque - Gachetá	Sueva - San Roque	Sueva - El Amoladero	Guasca - Sueva	Cuatro Esquinas - El Chuscal	Vía Nacional 5009	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra	
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	
	21,3 Km	2,5 Km	3 Km	6,6 Km	9,8 Km	22 Km	10,2 Km	7,5 Km	9,3 Km	12,7 Km	0,8 Km	
Ubaté	Ubaté - Chiquinquirá	Sutatausa Ubaté	Boquerón - Sutatausa	Nemocón Tierra negra								
	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria								
	14,3 Km	8 Km	9,6 Km	12,6 Km								
Útica	Útica - IDP Tobía	Escuela la Floresta - Tobía										
	V Secundaria	V Secundaria										
	14,4 Km	5,4 Km										
Vergara	Vergara - Nimaima	Nimaima - Paso El Rejo	Paso El Rejo - Tobía	Escuela la Floresta - Tobía								
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria								
	8,6 Km	5,1 Km	5,3 Km	5,2 Km								
Vianí	Vianí - Bituima	Vianí - La Cabaña	Bogotá - Puerto Salgar	Bogotá - Puerto Salgar / Acceso a Villeta	Bogotá - Puerto Salgar	Escuela la Floresta - Tobía						
	V Primaria	V Secundaria	V Primaria	V Primaria	V Primaria	V Secundaria						

Municipio	Análisis de Tramos de Vías						
	2,2 Km.	22 Km.	15,8 Km.	2,8 Km.	9,4 Km.	1,3 Km.	
Villagómez	Puente Capitán - Villagómez	Guanacas - Puente Capitán	Charco Largo - Guanacas	Charcolargo - La Peña	La Peña - Paso El Rejo	Paso El Rejo - Tobía	Escuela la Floresta - Tobía
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria
	20,9 Km.	17,2 Km.	7,3 Km.	13,3 Km.	13,5 Km.	5,3 Km.	5,2 Km.
Villapinzón	Vía nacional 5501	Tocancipá - Corporación Forestal	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra		
	V Primaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria		
	77 Km.	4,8 Km.	6,6 Km.	12,7 Km.	0,9 Km.		
Villeta	Bogotá - Puerto Salgar	Escuela la Floresta - Tobía					
	V Primaria	V Secundaria					
	9,4 Km.	1,3 Km.					
Yacopí	Yacopí - La Aguada	La Aguada - La Palma	La Cañada - Minipí - El Castillo	El Castillo / Furatena	Útica - IDP Tobía	Escuela la Floresta - Tobía	
	V Secundaria	V Secundaria	V Terciaria	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria	
	17,8 Km.	2,6 Km.	28 Km.	4 Km.	14,4 Km.	5,4 Km.	
Zipacón	Petaluma - Zipacón	Cartagenita - Zipacón	Los Alpes - Bogotá				
	V Secundaria	V Secundaria	V Primaria				
	13 Km.	10,1 Km.	3,8 Km.				
Zipaquirá	Zipaquirá - Briceño	Zipaquirá - Nemocón	Nemocón - Tierra Negra				
	V Secundaria	V Secundaria	V Secundaria				
	6,6 Km.	12,7 Km.	0,9 Km.				

Fuente: El autor

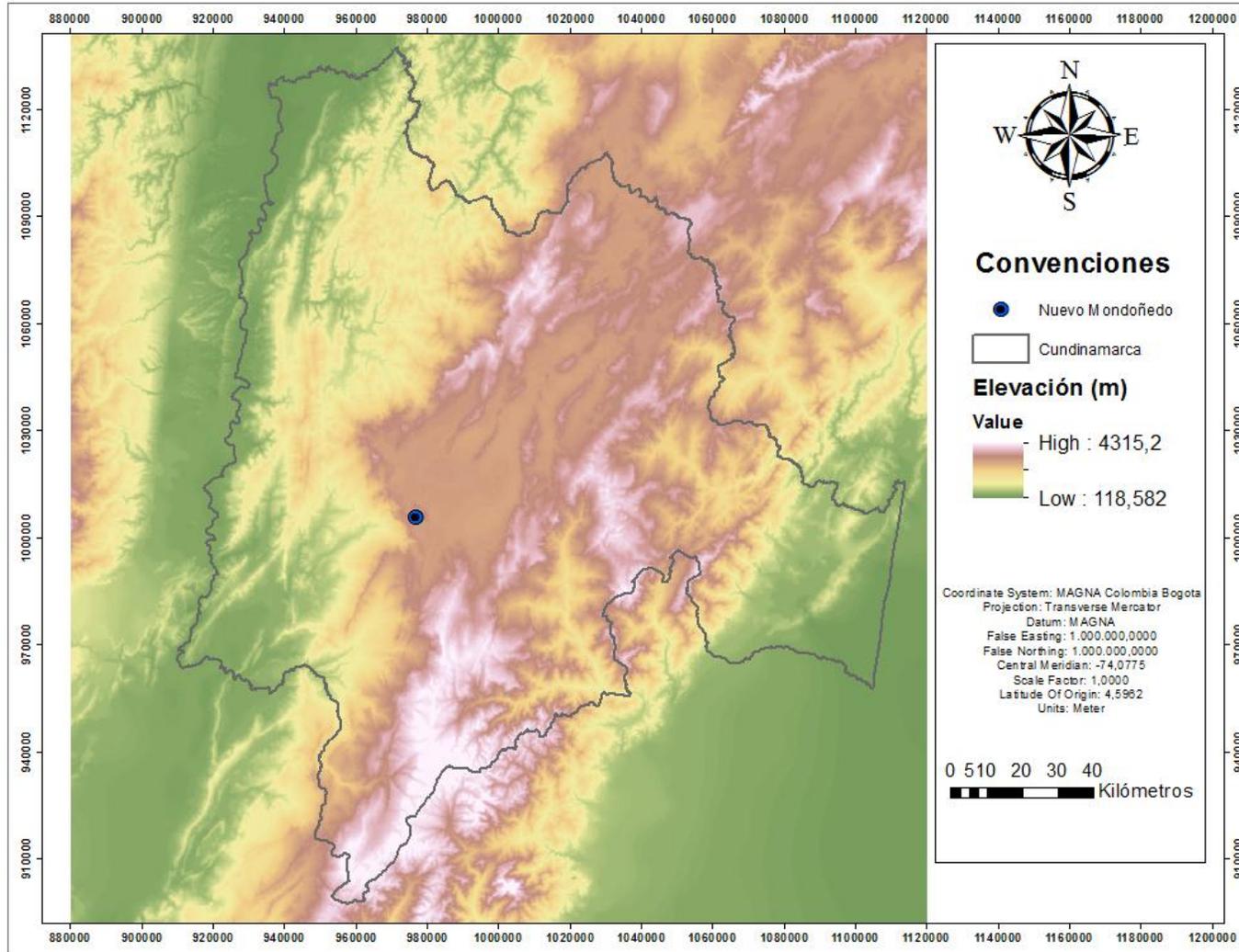
6.9. Anexo 9. Distancias totalizadas por tipo de vía priorizada para el transporte de residuos a la planta de transferencia

	Vía Primaria (Km)	Vía Secundaria (Km)	Vía terciaria (Km)	Total (Km)
Albán	27,9	0	0	27,9
Anolaima	3,8	35,5	0	39,3
Bituima	30,1	23,3	0	53,4
Bojacá	2	5,3	0	7,3
Cachipay	3,8	24,7	0	28,5
Cajicá	8,3	13,6	0	21,9
Carmen de Carupa	0	39,6	0	39,6
Chaguaní	35,2	37,4	0	72,6
Chía	37,1	0	0	37,1
Chocontá	54	25	0	79
Cogua	0	13	0	13
Cota	28,1	0	0	28,1
El peñón	0	48,2	0	48,2
El rosal	0	15,1	0	15,1
Facatativá	8	0	0	8
Funza	14,6	0	0	14,6
Fúquene	42	18,5	0	60,5
Gachalá	16,8	100,4	0	117,2
Gachancipá	0	31,5	0	0
Gacheta	7,5	74,4	0	81,9
Gama	7,5	88,7	0	96,2
Guachetá	31,9	26,8	0	58,7
Guasca	7,5	55	0	62,5
Guatavita	46	39,5	0	0
Guayabal	27,9	8,2	0	36,1
Junín	7,5	82,9	0	90,4
La palma	0	26,9	28	54,9
La peña	0	25,1	0	25,1
La vega	17	1,1	0	18,1
Lenguazaque	31,9	29,3	0	61,2
Macheta	6,7	25	0	31,7
Madrid	7,1	0	0	7,1
Manta	58	31,7	0	89,7
Mosquera	12,4	0	0	12,4
Nemocón	0	0,8	0	0,8
Nimaima	0	15,6	0	15,6
Nocaima	6,8	5	0	11,8

	Vía Primaria (Km)	Vía Secundaria (Km)	Vía terciaria (Km)	Total (Km)
Pacho	0	28,5	0	28,5
Paimé	0	102,3	0	102,3
Quebradanegra	0	29,3	0	29,3
Ráquira	31,9	47,3	0	79,2
San Cayetano	0	127,4	0	127,4
San francisco	28	9,7	0	37,7
Sasaima	27,9	13,3	0	41,2
Sesquilé	46	25	0	71
Simijaca	51,7	12,6	0	64,3
Sopo	3,6	22,8	0	26,4
Subachoque	29,4	14,9	0	44,3
Suesca	46	30,6	0	76,6
Supatá	0	52,7	0	52,7
Susa	46,9	12,6	0	59,5
Sutatausa	17,6	12,6	0	30,2
Tabio	8,3	23,6	0	31,9
Tausa	0	17,9	0	17,9
Tenjo	37,1	13,1	0	50,2
Tibirita	58	27,4	0	85,4
Tocancipá	0	25	0	25
Topaipí	0	62,9	4,6	67,5
Ubalá	7,5	98,2	0	105,7
Ubaté	31,9	12,6	0	44,5
Utica	0	19,8	0	19,8
Vergara	0	24,2	0	24,2
Vianí	30,2	23,3	0	53,5
Villagómez	0	82,7	0	82,7
Villapinzón	77	25	0	102
Villeta	9,4	1,3	0	10,7
Yacopí	0	44,2	28	72,2
Zipacón	3,8	23,1	0	26,9
Zipaquirá	0	20,2	0	20,2
Distancia total	1179,6	2053,2	60,6	3176,4
Porcentaje	37%	65%	2%	100%

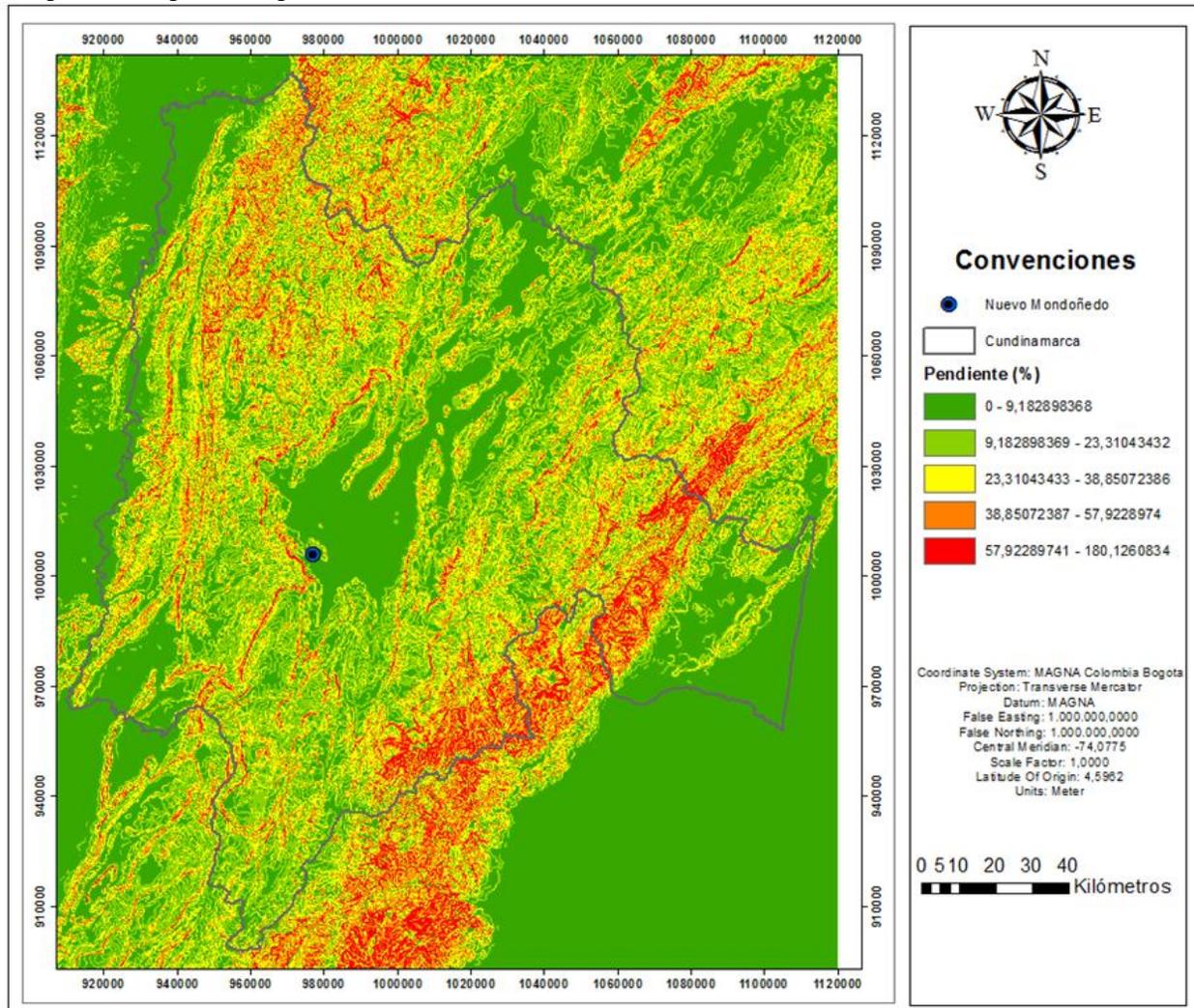
Fuente: El autor

6.10. Anexo 10. Mapa de elevación para el departamento de Cundinamarca



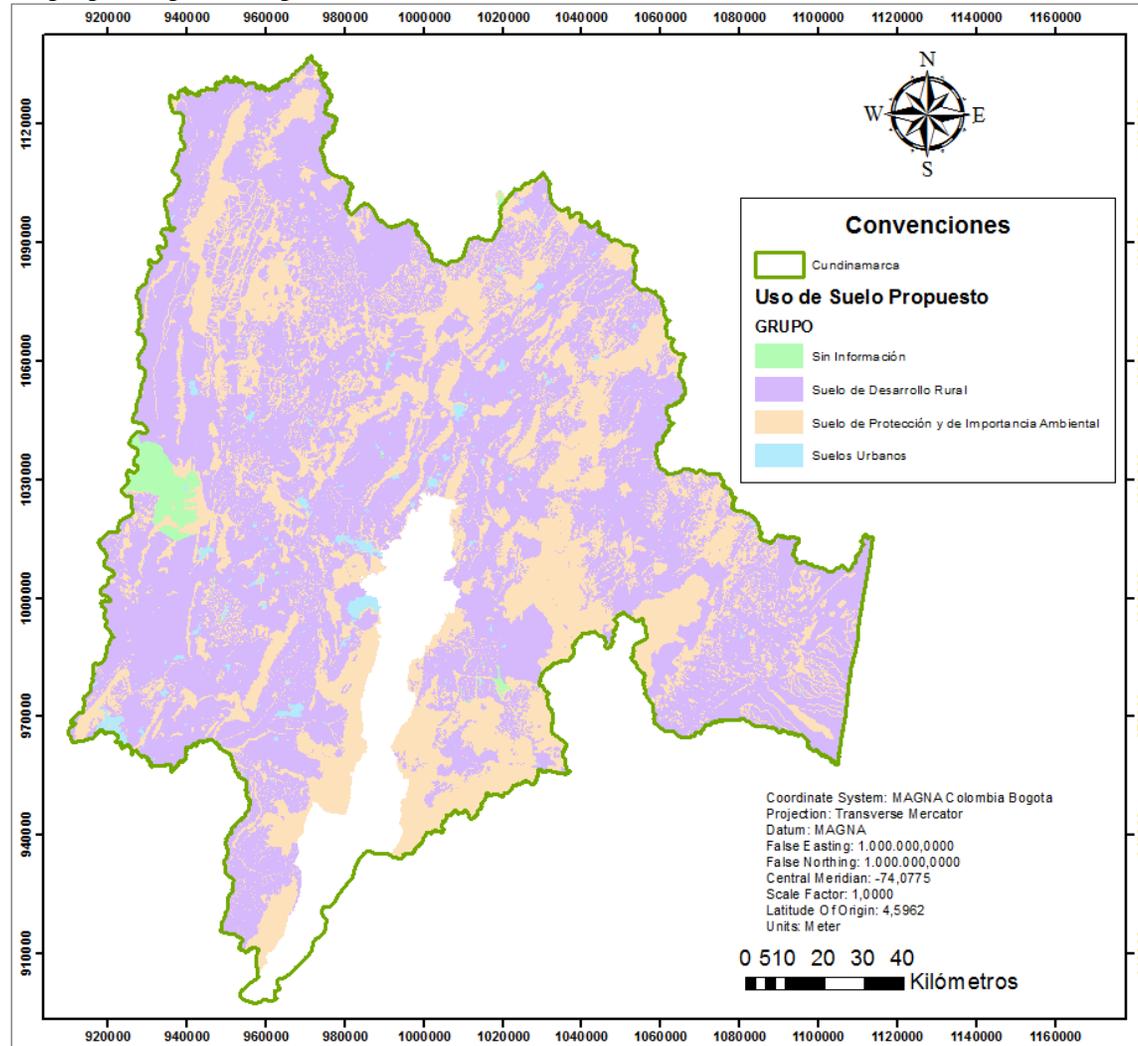
Fuente: El autor

6.11. Anexo 11. Mapa de pendientes para el departamento de Cundinamarca



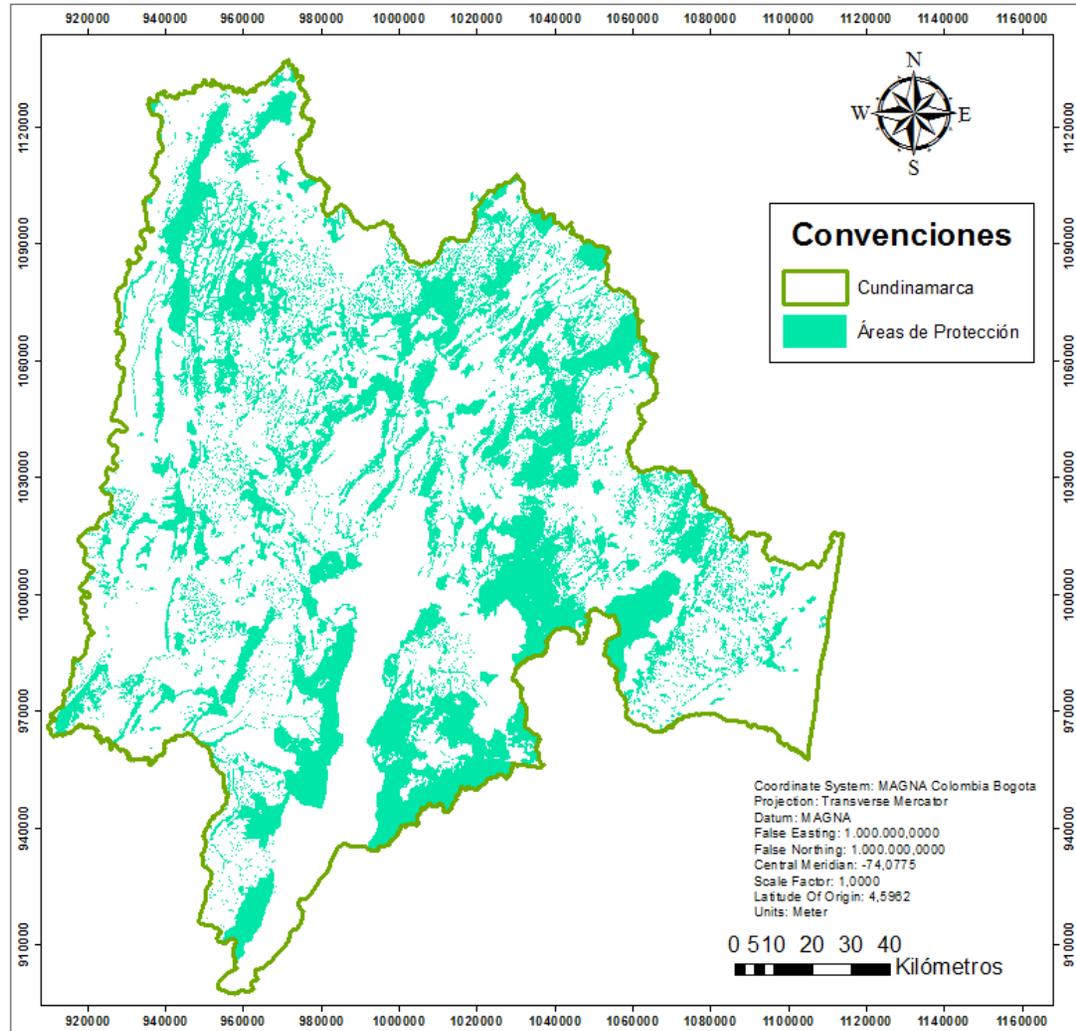
Fuente: El autor

6.12. Anexo 12. Uso de Suelo propuesto para el departamento de Cundinamarca



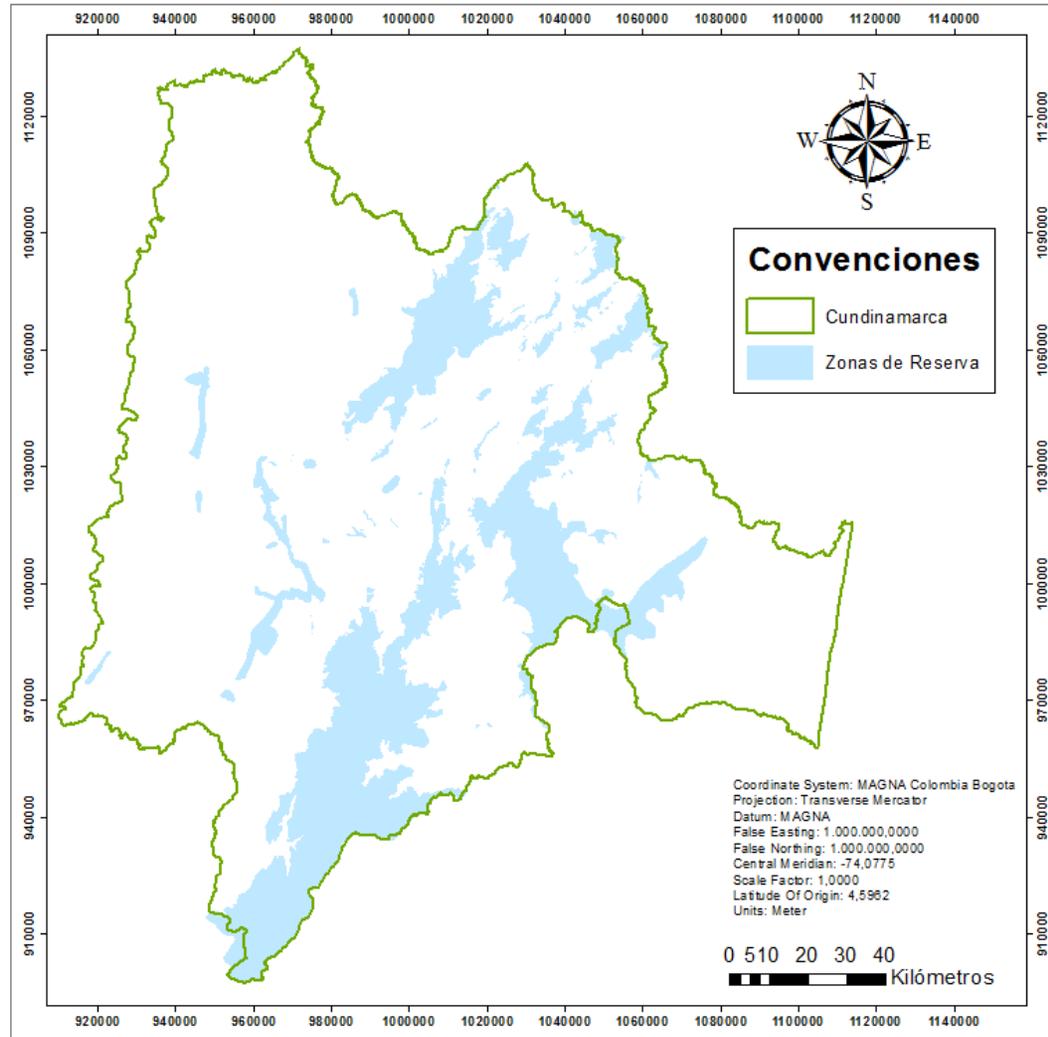
Fuente: El autor

6.13. Anexo 13. Áreas de protección del departamento de Cundinamarca



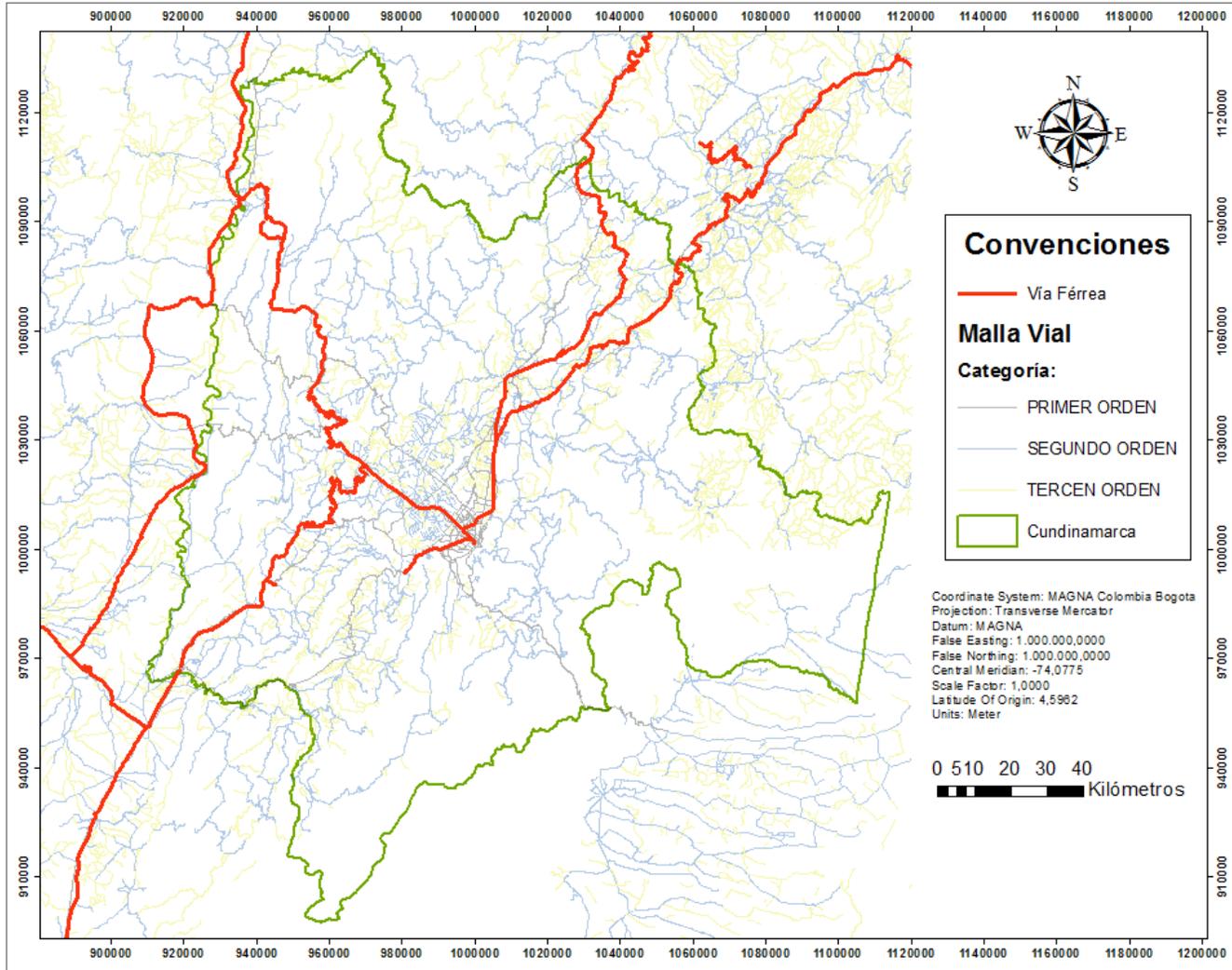
Fuente: El autor

6.14. Anexo 14. Zonas de reserva del departamento de Cundinamarca



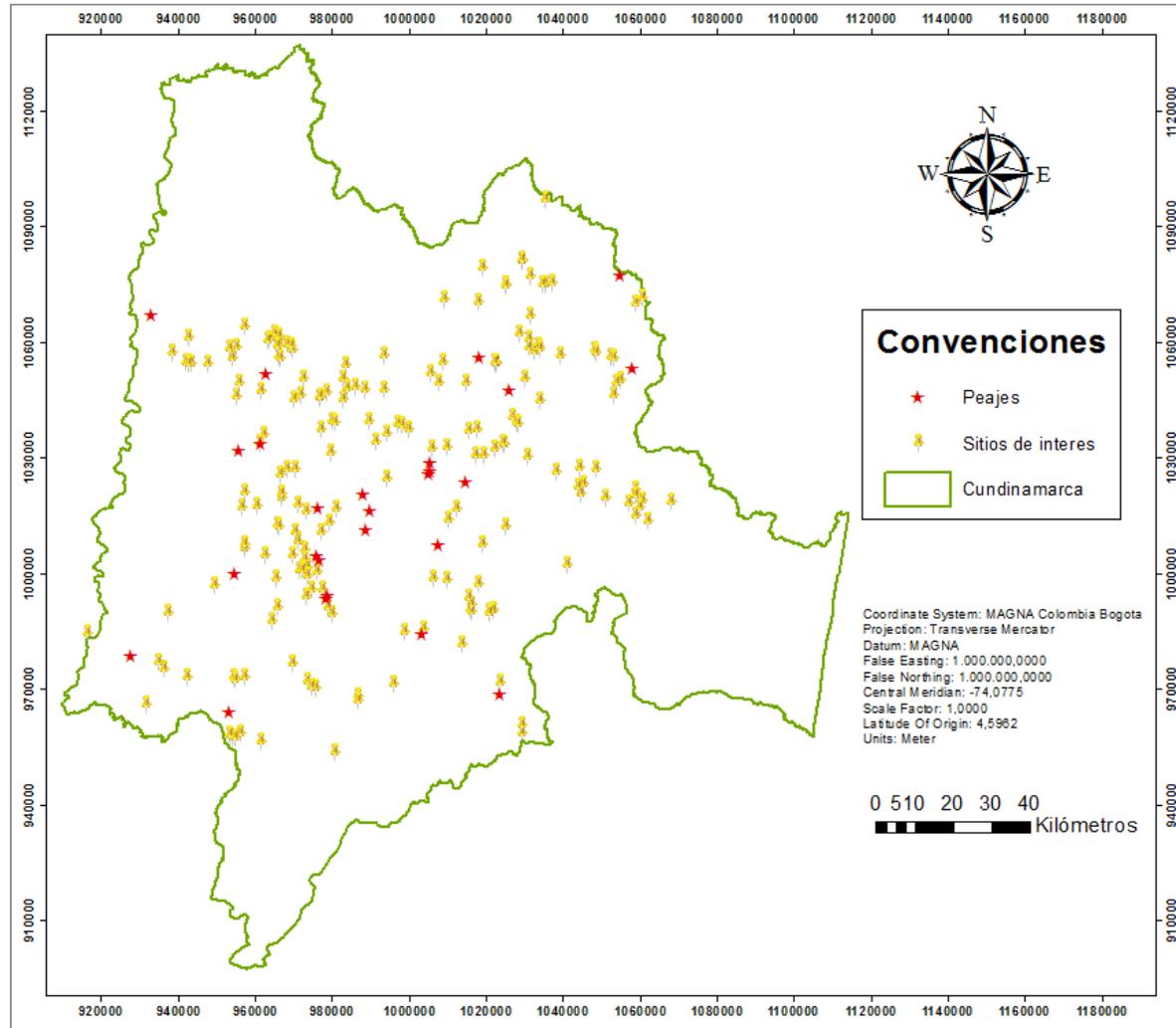
Fuente: El autor

6.15. Anexo 15. Malla vial y férrea del departamento de Cundinamarca



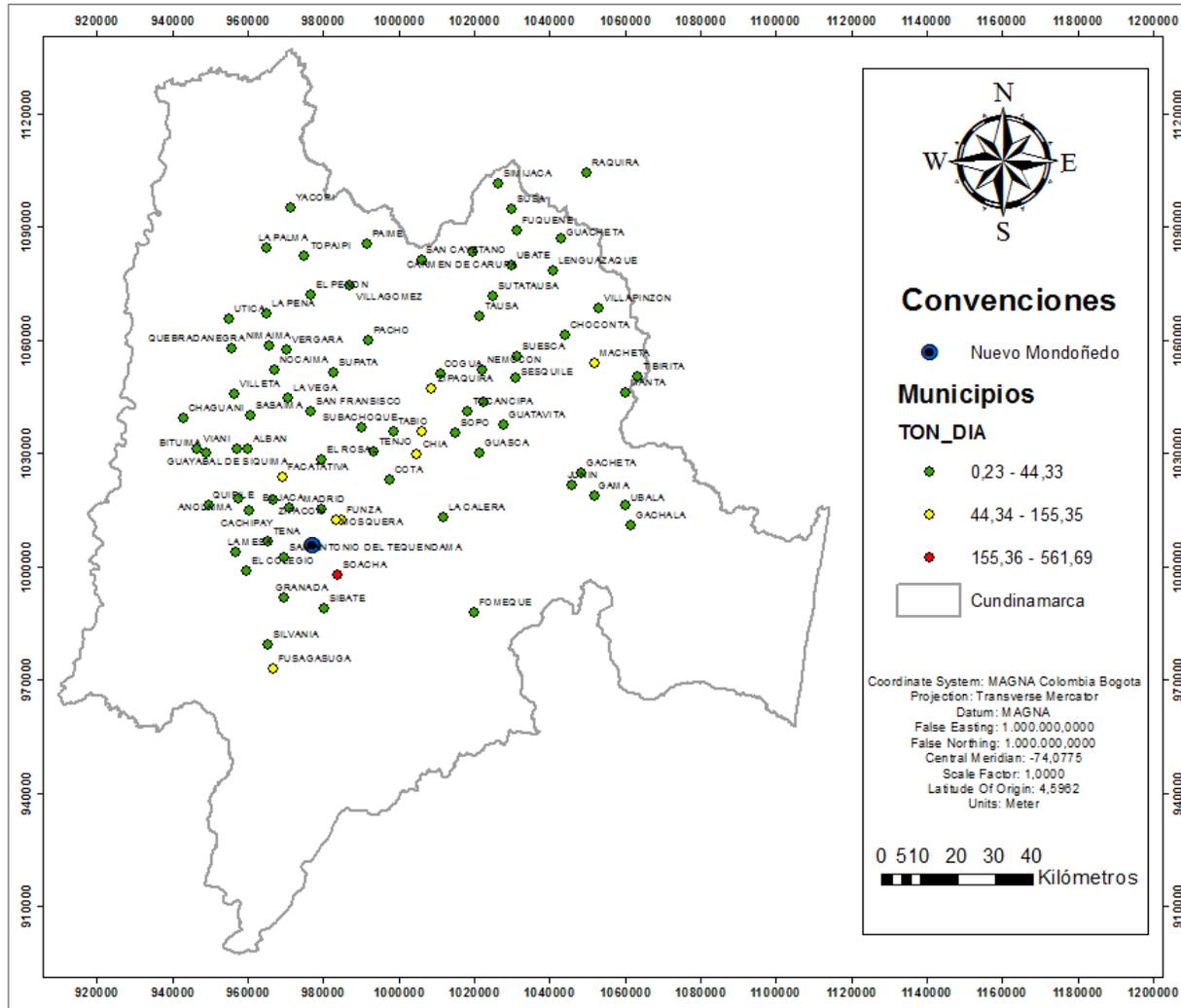
Fuente: El autor

6.16. Anexo 16. Peajes y sitios de interés al SIG

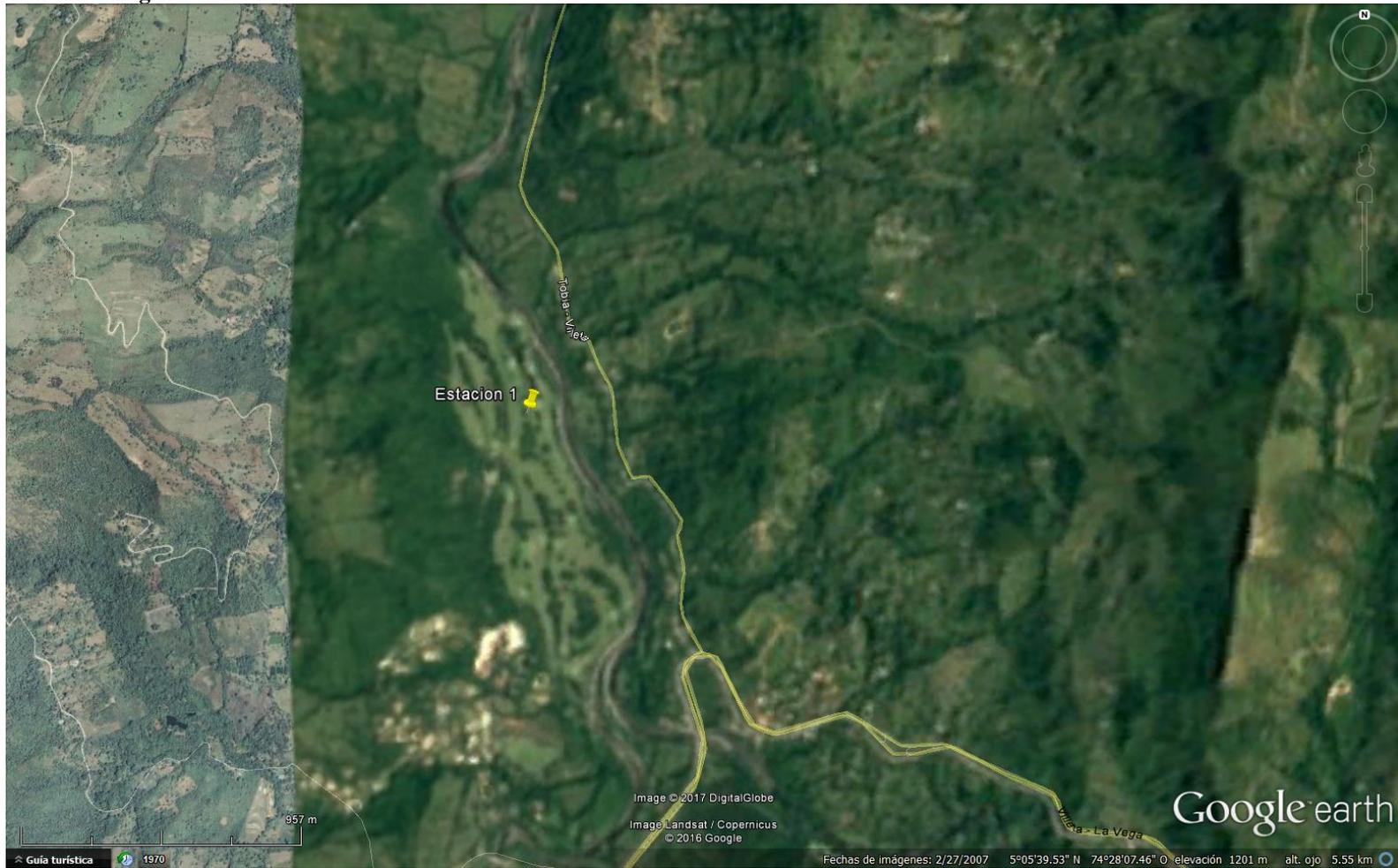


Fuente: El autor

6.17. Anexo 17. Asociación del criterio de operación de más de 50 toneladas al día al SIG

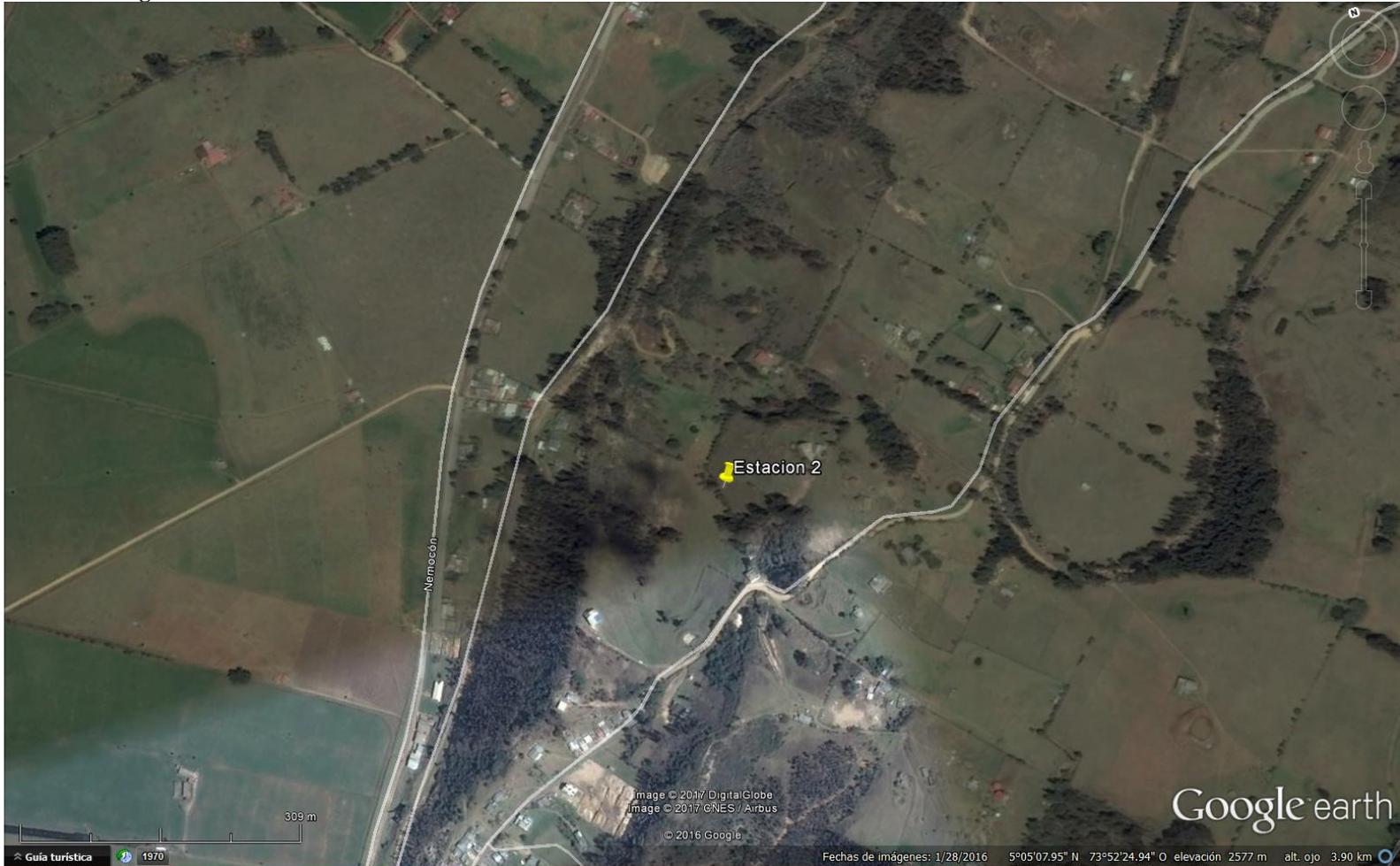


Fuente: El autor

6.18. Anexo 18. Imagen Satelital. Estación 1

Fuente: El autor

6.19. Anexo 19. Imagen Satelital. Estación 2



Fuente: El autor

6.20. Anexo 20. Imagen Satelital. Estación 3

Fuente: El autor

6.21. Anexo 21. Costos sin transferencia entre 2018 y 2048

Año	Costo (\$)
2018	\$ 5.591.035
2019	\$ 5.591.030
2020	\$ 5.591.026
2021	\$ 5.591.021
2022	\$ 5.591.017
2023	\$ 5.591.013
2024	\$ 5.591.009
2025	\$ 5.591.005
2026	\$ 5.591.001
2027	\$ 5.590.997
2028	\$ 5.590.994
2029	\$ 5.590.991
2030	\$ 5.590.987
2031	\$ 5.590.984
2032	\$ 5.590.981
2033	\$ 5.590.978
2034	\$ 5.590.975
2035	\$ 5.590.972
2036	\$ 5.590.970
2037	\$ 5.590.967
2038	\$ 5.590.964
2039	\$ 5.590.962
2040	\$ 5.590.959
2041	\$ 5.590.957
2042	\$ 5.590.955
2043	\$ 5.590.953
2044	\$ 5.590.950
2045	\$ 5.590.948
2046	\$ 5.590.946
2047	\$ 5.590.944
2048	\$ 5.590.942

Fuente: El autor

6.22. Anexo 21 Costos mensuales con transferencia sin separación entre 2018 y 2048

Vehículo	COMPACTADORES					TRENES			VEHICULOS DE GRAN CAPACIDAD	TOTAL, TODOS \$/
	Instalación	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Sin estación	Total	Estación 1	Estación 2		
2018	\$ 872.203	\$ 1.591.990	\$ 784.119	\$ 466.328	\$ 3.714.639	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.096	\$ 3.830.044
2019	\$ 872.145	\$ 1.591.966	\$ 784.105	\$ 466.316	\$ 3.714.531	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.073	\$ 3.829.913
2020	\$ 872.087	\$ 1.591.943	\$ 784.091	\$ 466.305	\$ 3.714.426	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.050	\$ 3.829.786
2021	\$ 872.019	\$ 1.591.920	\$ 784.078	\$ 466.294	\$ 3.714.310	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.028	\$ 3.829.647
2022	\$ 871.960	\$ 1.591.898	\$ 784.065	\$ 466.283	\$ 3.714.207	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.007	\$ 3.829.523
2023	\$ 871.903	\$ 1.591.878	\$ 784.053	\$ 466.273	\$ 3.714.106	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.987	\$ 3.829.402
2024	\$ 871.846	\$ 1.591.858	\$ 784.042	\$ 466.263	\$ 3.714.008	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.967	\$ 3.829.285
2025	\$ 871.790	\$ 1.591.838	\$ 784.031	\$ 466.254	\$ 3.713.913	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.948	\$ 3.829.170
2026	\$ 871.735	\$ 1.591.820	\$ 784.020	\$ 466.244	\$ 3.713.819	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.930	\$ 3.829.058
2027	\$ 871.682	\$ 1.591.801	\$ 784.009	\$ 466.235	\$ 3.713.728	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.912	\$ 3.828.949
2028	\$ 871.628	\$ 1.591.784	\$ 783.999	\$ 466.227	\$ 3.713.639	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.895	\$ 3.828.843
2029	\$ 871.576	\$ 1.591.767	\$ 783.989	\$ 466.219	\$ 3.713.551	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.879	\$ 3.828.739
2030	\$ 871.525	\$ 1.591.751	\$ 783.980	\$ 466.211	\$ 3.713.466	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.863	\$ 3.828.638
2031	\$ 871.474	\$ 1.591.735	\$ 783.971	\$ 466.203	\$ 3.713.383	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.847	\$ 3.828.539
2032	\$ 871.424	\$ 1.591.720	\$ 783.962	\$ 466.195	\$ 3.713.301	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.832	\$ 3.828.442
2033	\$ 871.375	\$ 1.591.705	\$ 783.953	\$ 466.188	\$ 3.713.221	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.818	\$ 3.828.348
2034	\$ 871.327	\$ 1.591.690	\$ 783.945	\$ 466.181	\$ 3.713.143	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.803	\$ 3.828.255
2035	\$ 871.279	\$ 1.591.676	\$ 783.937	\$ 466.174	\$ 3.713.066	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.790	\$ 3.828.165
2036	\$ 871.232	\$ 1.591.663	\$ 783.929	\$ 466.167	\$ 3.712.991	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.776	\$ 3.828.077
2037	\$ 871.186	\$ 1.591.650	\$ 783.921	\$ 466.160	\$ 3.712.918	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.763	\$ 3.827.990
2038	\$ 871.140	\$ 1.591.637	\$ 783.914	\$ 466.154	\$ 3.712.845	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.751	\$ 3.827.905
2039	\$ 871.096	\$ 1.591.624	\$ 783.907	\$ 466.148	\$ 3.712.775	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.739	\$ 3.827.822
2040	\$ 871.051	\$ 1.591.612	\$ 783.900	\$ 466.142	\$ 3.712.705	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.727	\$ 3.827.741
2041	\$ 871.008	\$ 1.591.600	\$ 783.893	\$ 466.136	\$ 3.712.637	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.715	\$ 3.827.661
2042	\$ 870.965	\$ 1.591.589	\$ 783.887	\$ 466.130	\$ 3.712.570	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.704	\$ 3.827.583
2043	\$ 870.922	\$ 1.591.578	\$ 783.880	\$ 466.125	\$ 3.712.505	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.693	\$ 3.827.507
2044	\$ 870.880	\$ 1.591.567	\$ 783.874	\$ 466.119	\$ 3.712.441	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.682	\$ 3.827.432
2045	\$ 870.839	\$ 1.591.556	\$ 783.868	\$ 466.114	\$ 3.712.377	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.671	\$ 3.827.358
2046	\$ 870.799	\$ 1.591.546	\$ 783.862	\$ 466.109	\$ 3.712.315	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.661	\$ 3.827.286
2047	\$ 870.758	\$ 1.591.536	\$ 783.856	\$ 466.104	\$ 3.712.254	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.651	\$ 3.827.215
2048	\$ 870.719	\$ 1.591.526	\$ 783.850	\$ 466.099	\$ 3.712.195	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.642	\$ 3.827.145

Fuente: El autor

6.23. Anexo 23. Costos mensuales con transferencia con separación entre 2018 y 2048

Vehículo Instalación	COMPACTADORES					TRENES			VEHICULOS DE GRAN CAPACIDAD	TOTAL, TODOS \$
	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Sin estación	Total	Estación 1	Estación 2	Total		
2018	\$ 872.203	\$ 1.591.990	\$ 784.119	\$ 466.328	\$ 3.714.639	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.096	\$ 3.830.044
2019	\$ 872.145	\$ 1.591.966	\$ 784.105	\$ 466.316	\$ 3.714.531	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.073	\$ 3.829.913
2020	\$ 872.087	\$ 1.591.943	\$ 784.091	\$ 466.305	\$ 3.714.426	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.113	\$ 3.829.848
2021	\$ 872.019	\$ 1.591.920	\$ 784.078	\$ 466.294	\$ 3.714.310	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.090	\$ 3.829.709
2022	\$ 871.960	\$ 1.591.898	\$ 784.065	\$ 466.283	\$ 3.714.207	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.135	\$ 3.829.651
2023	\$ 871.903	\$ 1.591.878	\$ 784.053	\$ 466.273	\$ 3.714.106	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.112	\$ 3.829.527
2024	\$ 871.846	\$ 1.591.858	\$ 784.042	\$ 466.263	\$ 3.714.008	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.163	\$ 3.829.480
2025	\$ 871.790	\$ 1.591.838	\$ 784.031	\$ 466.254	\$ 3.713.913	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.140	\$ 3.829.362
2026	\$ 871.735	\$ 1.591.820	\$ 784.020	\$ 466.244	\$ 3.713.819	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.198	\$ 3.829.326
2027	\$ 871.682	\$ 1.591.801	\$ 784.009	\$ 466.235	\$ 3.713.728	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.176	\$ 3.829.212
2028	\$ 871.628	\$ 1.591.784	\$ 783.999	\$ 466.227	\$ 3.713.639	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.250	\$ 3.829.198
2029	\$ 871.576	\$ 1.591.767	\$ 783.989	\$ 466.219	\$ 3.713.551	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.228	\$ 3.829.088
2030	\$ 871.525	\$ 1.591.751	\$ 783.980	\$ 466.211	\$ 3.713.466	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.206	\$ 3.828.981
2031	\$ 871.474	\$ 1.591.735	\$ 783.971	\$ 466.203	\$ 3.713.383	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.185	\$ 3.828.877
2032	\$ 871.424	\$ 1.591.720	\$ 783.962	\$ 466.195	\$ 3.713.301	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.165	\$ 3.828.775
2033	\$ 871.375	\$ 1.591.705	\$ 783.953	\$ 466.188	\$ 3.713.221	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.146	\$ 3.828.676
2034	\$ 871.327	\$ 1.591.690	\$ 783.945	\$ 466.181	\$ 3.713.143	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.127	\$ 3.828.578
2035	\$ 871.279	\$ 1.591.676	\$ 783.937	\$ 466.174	\$ 3.713.066	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.108	\$ 3.828.483
2036	\$ 871.232	\$ 1.591.663	\$ 783.929	\$ 466.167	\$ 3.712.991	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.090	\$ 3.828.390
2037	\$ 871.186	\$ 1.591.650	\$ 783.921	\$ 466.160	\$ 3.712.918	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.073	\$ 3.828.299
2038	\$ 871.140	\$ 1.591.637	\$ 783.914	\$ 466.154	\$ 3.712.845	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.056	\$ 3.828.210
2039	\$ 871.096	\$ 1.591.624	\$ 783.907	\$ 466.148	\$ 3.712.775	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.039	\$ 3.828.123
2040	\$ 871.051	\$ 1.591.612	\$ 783.900	\$ 466.142	\$ 3.712.705	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.023	\$ 3.828.038
2041	\$ 871.008	\$ 1.591.600	\$ 783.893	\$ 466.136	\$ 3.712.637	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 107.008	\$ 3.827.954
2042	\$ 870.965	\$ 1.591.589	\$ 783.887	\$ 466.130	\$ 3.712.570	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.993	\$ 3.827.872
2043	\$ 870.922	\$ 1.591.578	\$ 783.880	\$ 466.125	\$ 3.712.505	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.978	\$ 3.827.792
2044	\$ 870.880	\$ 1.591.567	\$ 783.874	\$ 466.119	\$ 3.712.441	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.963	\$ 3.827.713
2045	\$ 870.839	\$ 1.591.556	\$ 783.868	\$ 466.114	\$ 3.712.377	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.949	\$ 3.827.636
2046	\$ 870.799	\$ 1.591.546	\$ 783.862	\$ 466.109	\$ 3.712.315	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.936	\$ 3.827.560
2047	\$ 870.758	\$ 1.591.536	\$ 783.856	\$ 466.104	\$ 3.712.254	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.922	\$ 3.827.486
2048	\$ 870.719	\$ 1.591.526	\$ 783.850	\$ 466.099	\$ 3.712.195	\$ 3.836	\$ 4.473	\$ 8.309	\$ 106.909	\$ 3.827.413

Fuente: El autor

6.24. Anexo 24. Costos totales sin transferencia entre 2018 y 2048

Año	Costo (\$)
2018	\$ 7.144.788.443
2019	\$ 7.282.252.143
2020	\$ 7.419.252.595
2021	\$ 7.559.176.448
2022	\$ 7.697.382.236
2023	\$ 7.835.588.025
2024	\$ 7.973.793.814
2025	\$ 8.111.999.603
2026	\$ 8.250.205.391
2027	\$ 8.388.411.180
2028	\$ 8.526.616.969
2029	\$ 8.664.822.758
2030	\$ 8.803.028.547
2031	\$ 8.941.234.335
2032	\$ 9.079.440.124
2033	\$ 9.217.645.913
2034	\$ 9.355.851.702
2035	\$ 9.494.057.490
2036	\$ 9.632.263.279
2037	\$ 9.770.469.068
2038	\$ 9.908.674.857
2039	\$ 10.046.880.645
2040	\$ 10.185.086.434
2041	\$ 10.323.292.223
2042	\$ 10.461.498.012
2043	\$ 10.599.703.800
2044	\$ 10.737.909.589
2045	\$ 10.876.115.378
2046	\$ 11.014.321.167
2047	\$ 11.152.526.956
2048	\$ 11.290.732.744

Fuente: El autor

6.25. Anexo 26. Costos totales anuales con transferencia sin separación

Vehículo	COMPACTADORES					TRENES			VEHICULOS DE GRAN CAPACIDAD	TOTAL TODOS
	Instalación	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Sin estación	Total	Estación 1	Estación 2		
2018	\$ 38.898.676	\$ 413.420.254	\$ 356.867.010	\$ 241.789.116	\$ 1.050.975.056	\$ 171.087	\$ 1.161.565	\$ 1.332.652	\$ 81.329.296	\$ 1.133.637.005
2019	\$ 39.211.313	\$ 421.465.156	\$ 364.065.986	\$ 246.436.606	\$ 1.071.179.061	\$ 172.474	\$ 1.184.186	\$ 1.356.660	\$ 82.875.708	\$ 1.155.411.429
2020	\$ 39.523.324	\$ 429.470.273	\$ 371.250.328	\$ 251.066.192	\$ 1.091.310.116	\$ 173.857	\$ 1.206.696	\$ 1.380.553	\$ 84.417.419	\$ 1.177.108.089
2021	\$ 39.904.898	\$ 438.055.956	\$ 378.472.566	\$ 255.709.345	\$ 1.112.142.766	\$ 175.550	\$ 1.230.837	\$ 1.406.387	\$ 86.011.400	\$ 1.199.560.553
2022	\$ 40.235.363	\$ 446.228.347	\$ 385.680.498	\$ 260.366.404	\$ 1.132.510.612	\$ 177.015	\$ 1.253.817	\$ 1.430.832	\$ 87.569.689	\$ 1.221.511.133
2023	\$ 40.565.829	\$ 454.400.738	\$ 392.888.430	\$ 265.023.462	\$ 1.152.878.459	\$ 178.481	\$ 1.276.796	\$ 1.455.277	\$ 89.127.977	\$ 1.243.461.714
2024	\$ 40.896.294	\$ 462.573.129	\$ 400.096.362	\$ 269.680.521	\$ 1.173.246.305	\$ 179.947	\$ 1.299.776	\$ 1.479.722	\$ 90.686.266	\$ 1.265.412.294
2025	\$ 41.226.759	\$ 470.745.520	\$ 407.304.294	\$ 274.337.579	\$ 1.193.614.152	\$ 181.412	\$ 1.322.755	\$ 1.504.168	\$ 92.244.555	\$ 1.287.362.874
2026	\$ 41.557.224	\$ 478.917.911	\$ 414.512.226	\$ 278.994.638	\$ 1.213.981.999	\$ 182.878	\$ 1.345.735	\$ 1.528.613	\$ 93.802.843	\$ 1.309.313.455
2027	\$ 41.887.690	\$ 487.090.302	\$ 421.720.158	\$ 283.651.696	\$ 1.234.349.845	\$ 184.344	\$ 1.368.714	\$ 1.553.058	\$ 95.361.132	\$ 1.331.264.035
2028	\$ 42.218.155	\$ 495.262.692	\$ 428.928.090	\$ 288.308.755	\$ 1.254.717.692	\$ 185.809	\$ 1.391.694	\$ 1.577.503	\$ 96.919.421	\$ 1.353.214.615
2029	\$ 42.548.620	\$ 503.435.083	\$ 436.136.021	\$ 292.965.813	\$ 1.275.085.538	\$ 187.275	\$ 1.414.673	\$ 1.601.948	\$ 98.477.709	\$ 1.375.165.196
2030	\$ 42.879.085	\$ 511.607.474	\$ 443.343.953	\$ 297.622.872	\$ 1.295.453.385	\$ 188.741	\$ 1.437.653	\$ 1.626.393	\$ 100.035.998	\$ 1.397.115.776
2031	\$ 43.209.551	\$ 519.779.865	\$ 450.551.885	\$ 302.279.930	\$ 1.315.821.231	\$ 190.206	\$ 1.460.632	\$ 1.650.839	\$ 101.594.287	\$ 1.419.066.357
2032	\$ 43.540.016	\$ 527.952.256	\$ 457.759.817	\$ 306.936.989	\$ 1.336.189.078	\$ 191.672	\$ 1.483.612	\$ 1.675.284	\$ 103.152.575	\$ 1.441.016.937
2033	\$ 43.870.481	\$ 536.124.647	\$ 464.967.749	\$ 311.594.047	\$ 1.356.556.924	\$ 193.138	\$ 1.506.591	\$ 1.699.729	\$ 104.710.864	\$ 1.462.967.517
2034	\$ 44.200.946	\$ 544.297.038	\$ 472.175.681	\$ 316.251.106	\$ 1.376.924.771	\$ 194.603	\$ 1.529.571	\$ 1.724.174	\$ 106.269.153	\$ 1.484.918.098
2035	\$ 44.531.412	\$ 552.469.429	\$ 479.383.613	\$ 320.908.164	\$ 1.397.292.617	\$ 196.069	\$ 1.552.550	\$ 1.748.619	\$ 107.827.441	\$ 1.506.868.678
2036	\$ 44.861.877	\$ 560.641.819	\$ 486.591.545	\$ 325.565.223	\$ 1.417.660.464	\$ 197.535	\$ 1.575.530	\$ 1.773.064	\$ 109.385.730	\$ 1.528.819.258
2037	\$ 45.192.342	\$ 568.814.210	\$ 493.799.476	\$ 330.222.282	\$ 1.438.028.310	\$ 199.000	\$ 1.598.509	\$ 1.797.510	\$ 110.944.019	\$ 1.550.769.839
2038	\$ 45.522.807	\$ 576.986.601	\$ 501.007.408	\$ 334.879.340	\$ 1.458.396.157	\$ 200.466	\$ 1.621.489	\$ 1.821.955	\$ 112.502.308	\$ 1.572.720.419
2039	\$ 45.853.273	\$ 585.158.992	\$ 508.215.340	\$ 339.536.399	\$ 1.478.764.003	\$ 201.932	\$ 1.644.468	\$ 1.846.400	\$ 114.060.596	\$ 1.594.671.000
2040	\$ 46.183.738	\$ 593.331.383	\$ 515.423.272	\$ 344.193.457	\$ 1.499.131.850	\$ 203.397	\$ 1.667.448	\$ 1.870.845	\$ 115.618.885	\$ 1.616.621.580
2041	\$ 46.514.203	\$ 601.503.774	\$ 522.631.204	\$ 348.850.516	\$ 1.519.499.697	\$ 204.863	\$ 1.690.427	\$ 1.895.290	\$ 117.177.174	\$ 1.638.572.160
2042	\$ 46.844.668	\$ 609.676.165	\$ 529.839.136	\$ 353.507.574	\$ 1.539.867.543	\$ 206.329	\$ 1.713.407	\$ 1.919.735	\$ 118.735.462	\$ 1.660.522.741
2043	\$ 47.175.134	\$ 617.848.556	\$ 537.047.068	\$ 358.164.633	\$ 1.560.235.390	\$ 207.794	\$ 1.736.386	\$ 1.944.181	\$ 120.293.751	\$ 1.682.473.321
2044	\$ 47.505.599	\$ 626.020.946	\$ 544.255.000	\$ 362.821.691	\$ 1.580.603.236	\$ 209.260	\$ 1.759.366	\$ 1.968.626	\$ 121.852.040	\$ 1.704.423.902
2045	\$ 47.836.064	\$ 634.193.337	\$ 551.462.931	\$ 367.478.750	\$ 1.600.971.083	\$ 210.726	\$ 1.782.345	\$ 1.993.071	\$ 123.410.328	\$ 1.726.374.482
2046	\$ 48.166.529	\$ 642.365.728	\$ 558.670.863	\$ 372.135.808	\$ 1.621.338.929	\$ 212.191	\$ 1.805.325	\$ 2.017.516	\$ 124.968.617	\$ 1.748.325.062
2047	\$ 48.496.995	\$ 650.538.119	\$ 565.878.795	\$ 376.792.867	\$ 1.641.706.776	\$ 213.657	\$ 1.828.304	\$ 2.041.961	\$ 126.526.906	\$ 1.770.275.643
2048	\$ 48.827.460	\$ 658.710.510	\$ 573.086.727	\$ 381.449.925	\$ 1.662.074.622	\$ 215.122	\$ 1.851.284	\$ 2.066.406	\$ 128.085.194	\$ 1.792.226.223

Fuente: El autor

6.26. Anexo 27 Costos totales anuales con transferencia con separación

Vehículo	COMPACTADORES					TRENES			VEHICULOS DE GRAN CAPACIDAD	TOTAL TODOS
	Instalación	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Sin estación	Total	Estación 1	Estación 2		
2018	\$ 38.898.676	\$ 413.420.254	\$ 356.867.010	\$ 241.789.116	\$ 1.050.975.056	\$ 171.087	\$ 1.161.565	\$ 1.332.652	\$ 81.329.296	\$ 1.133.637.005
2019	\$ 39.211.313	\$ 421.465.156	\$ 364.065.986	\$ 246.436.606	\$ 1.071.179.061	\$ 172.474	\$ 1.184.186	\$ 1.356.660	\$ 82.875.708	\$ 1.155.411.429
2020	\$ 39.523.324	\$ 429.470.273	\$ 371.250.328	\$ 251.066.192	\$ 1.091.310.116	\$ 173.857	\$ 1.206.696	\$ 1.380.553	\$ 80.196.548	\$ 1.172.887.218
2021	\$ 39.904.898	\$ 438.055.956	\$ 378.472.566	\$ 255.709.345	\$ 1.112.142.766	\$ 175.550	\$ 1.230.837	\$ 1.406.387	\$ 81.710.830	\$ 1.195.259.983
2022	\$ 40.235.363	\$ 446.228.347	\$ 385.680.498	\$ 260.366.404	\$ 1.132.510.612	\$ 177.015	\$ 1.253.817	\$ 1.430.832	\$ 78.812.720	\$ 1.212.754.164
2023	\$ 40.565.829	\$ 454.400.738	\$ 392.888.430	\$ 265.023.462	\$ 1.152.878.459	\$ 178.481	\$ 1.276.796	\$ 1.455.277	\$ 80.215.180	\$ 1.234.548.916
2024	\$ 40.896.294	\$ 462.573.129	\$ 400.096.362	\$ 269.680.521	\$ 1.173.246.305	\$ 179.947	\$ 1.299.776	\$ 1.479.722	\$ 77.083.326	\$ 1.251.809.354
2025	\$ 41.226.759	\$ 470.745.520	\$ 407.304.294	\$ 274.337.579	\$ 1.193.614.152	\$ 181.412	\$ 1.322.755	\$ 1.504.168	\$ 78.407.871	\$ 1.273.526.191
2026	\$ 41.557.224	\$ 478.917.911	\$ 414.512.226	\$ 278.994.638	\$ 1.213.981.999	\$ 182.878	\$ 1.345.735	\$ 1.528.613	\$ 75.042.275	\$ 1.290.552.886
2027	\$ 41.887.690	\$ 487.090.302	\$ 421.720.158	\$ 283.651.696	\$ 1.234.349.845	\$ 184.344	\$ 1.368.714	\$ 1.553.058	\$ 76.288.906	\$ 1.312.191.809
2028	\$ 42.218.155	\$ 495.262.692	\$ 428.928.090	\$ 288.308.755	\$ 1.254.717.692	\$ 185.809	\$ 1.391.694	\$ 1.577.503	\$ 72.195.276	\$ 1.328.490.471
2029	\$ 42.548.620	\$ 503.435.083	\$ 436.136.021	\$ 292.965.813	\$ 1.275.085.538	\$ 187.275	\$ 1.414.673	\$ 1.601.948	\$ 73.356.046	\$ 1.350.043.532
2030	\$ 42.879.085	\$ 511.607.474	\$ 443.343.953	\$ 297.622.872	\$ 1.295.453.385	\$ 188.741	\$ 1.437.653	\$ 1.626.393	\$ 74.516.815	\$ 1.371.596.593
2031	\$ 43.209.551	\$ 519.779.865	\$ 450.551.885	\$ 302.279.930	\$ 1.315.821.231	\$ 190.206	\$ 1.460.632	\$ 1.650.839	\$ 75.677.584	\$ 1.393.149.654
2032	\$ 43.540.016	\$ 527.952.256	\$ 457.759.817	\$ 306.936.989	\$ 1.336.189.078	\$ 191.672	\$ 1.483.612	\$ 1.675.284	\$ 76.838.353	\$ 1.414.702.715
2033	\$ 43.870.481	\$ 536.124.647	\$ 464.967.749	\$ 311.594.047	\$ 1.356.556.924	\$ 193.138	\$ 1.506.591	\$ 1.699.729	\$ 77.999.123	\$ 1.436.255.776
2034	\$ 44.200.946	\$ 544.297.038	\$ 472.175.681	\$ 316.251.106	\$ 1.376.924.771	\$ 194.603	\$ 1.529.571	\$ 1.724.174	\$ 79.159.892	\$ 1.457.808.837
2035	\$ 44.531.412	\$ 552.469.429	\$ 479.383.613	\$ 320.908.164	\$ 1.397.292.617	\$ 196.069	\$ 1.552.550	\$ 1.748.619	\$ 80.320.661	\$ 1.479.361.898
2036	\$ 44.861.877	\$ 560.641.819	\$ 486.591.545	\$ 325.565.223	\$ 1.417.660.464	\$ 197.535	\$ 1.575.530	\$ 1.773.064	\$ 81.481.430	\$ 1.500.914.959
2037	\$ 45.192.342	\$ 568.814.210	\$ 493.799.476	\$ 330.222.282	\$ 1.438.028.310	\$ 199.000	\$ 1.598.509	\$ 1.797.510	\$ 82.642.200	\$ 1.522.468.020
2038	\$ 45.522.807	\$ 576.986.601	\$ 501.007.408	\$ 334.879.340	\$ 1.458.396.157	\$ 200.466	\$ 1.621.489	\$ 1.821.955	\$ 83.802.969	\$ 1.544.021.081
2039	\$ 45.853.273	\$ 585.158.992	\$ 508.215.340	\$ 339.536.399	\$ 1.478.764.003	\$ 201.932	\$ 1.644.468	\$ 1.846.400	\$ 84.963.738	\$ 1.565.574.142
2040	\$ 46.183.738	\$ 593.331.383	\$ 515.423.272	\$ 344.193.457	\$ 1.499.131.850	\$ 203.397	\$ 1.667.448	\$ 1.870.845	\$ 86.124.507	\$ 1.587.127.202
2041	\$ 46.514.203	\$ 601.503.774	\$ 522.631.204	\$ 348.850.516	\$ 1.519.499.697	\$ 204.863	\$ 1.690.427	\$ 1.895.290	\$ 87.285.277	\$ 1.608.680.263
2042	\$ 46.844.668	\$ 609.676.165	\$ 529.839.136	\$ 353.507.574	\$ 1.539.867.543	\$ 206.329	\$ 1.713.407	\$ 1.919.735	\$ 88.446.046	\$ 1.630.233.324
2043	\$ 47.175.134	\$ 617.848.556	\$ 537.047.068	\$ 358.164.633	\$ 1.560.235.390	\$ 207.794	\$ 1.736.386	\$ 1.944.181	\$ 89.606.815	\$ 1.651.786.385
2044	\$ 47.505.599	\$ 626.020.946	\$ 544.255.000	\$ 362.821.691	\$ 1.580.603.236	\$ 209.260	\$ 1.759.366	\$ 1.968.626	\$ 90.767.584	\$ 1.673.339.446
2045	\$ 47.836.064	\$ 634.193.337	\$ 551.462.931	\$ 367.478.750	\$ 1.600.971.083	\$ 210.726	\$ 1.782.345	\$ 1.993.071	\$ 91.928.354	\$ 1.694.892.507
2046	\$ 48.166.529	\$ 642.365.728	\$ 558.670.863	\$ 372.135.808	\$ 1.621.338.929	\$ 212.191	\$ 1.805.325	\$ 2.017.516	\$ 93.089.123	\$ 1.716.445.568
2047	\$ 48.496.995	\$ 650.538.119	\$ 565.878.795	\$ 376.792.867	\$ 1.641.706.776	\$ 213.657	\$ 1.828.304	\$ 2.041.961	\$ 94.249.892	\$ 1.737.998.629
2048	\$ 48.827.460	\$ 658.710.510	\$ 573.086.727	\$ 381.449.925	\$ 1.662.074.622	\$ 215.122	\$ 1.851.284	\$ 2.066.406	\$ 95.410.661	\$ 1.759.551.690

Fuente: El autor