

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
CAMPUS OMAR DENGO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

“Propuesta para el diseño de micro-rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el casco central comercial de la ciudad de San José”

Presentada por:

Deivis Anchía Leitón

Proyecto de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ciencias Geográficas con Énfasis en Ordenamiento del Territorio

Profesor tutor:

M.Sc. Daniel Avendaño Leadem

Lectores:

Lic. Luis Sandoval Murillo

Dr. Jorge Herrera Murillo

Heredia, 8 de enero del 2018

TABLA DE CONTENIDOS

1. CAPITULO INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	6
1.3. Objetivos de investigación	9
1.3.1 Objetivo general	9
1.3.2 Objetivos específicos	9
1.4. Justificación del estudio	10
1.5. Área de estudio.....	16
1.5.1 Delimitación del área de estudio	16
2. CAPITULO. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Los residuos sólidos urbanos	18
2.2. Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU)	20
2.2.1 Etapas del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos.....	21
2.2.2 Jerarquía de la Gestión Integral de Residuos Sólidos.....	28
2.3. Los residuos sólidos valorizables.....	30
2.3.1 Diseño de rutas de recolección selectiva	31
2.4. Residuos sólidos y su legislación vigente en Costa Rica.....	35
2.5. Geografía y Gestión Integral de Residuos Sólidos.....	38
3. MARCO METODOLÓGICO.....	40
3.1. Enfoque y tipo de investigación	40
3.2. Etapas de la investigación	42
3.2.1 Fase I. Bases de datos geoespaciales para el diseño de las rutas.....	43
3.2.2 Fase II. Modelo teórico-empírico para la elaboración de rutas óptimas de recolección	50
3.2.3 Fase III. Propuesta de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables	52
4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	54
4.1. Bases de datos geoespaciales	54
4.2. Diseño del modelo para la elaboración de micro rutas optimas de recolección de residuos sólidos valorizables	63

4.2.1 Casos análogos como insumo para el diseño de rutas de recolección	63
4.2.2 Propuesta de sectores y subsectores para el servicio de recolección selectiva.....	69
4.2.3 Modelo propuesto para la elaboración de rutas de recolección	74
4.3. Trazado de micro rutas de recolección.....	78
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1. Conclusiones	91
5.2. Recomendaciones.....	94
6. TRABAJOS CITADOS	96
7. ANEXOS	99

INDICE DE MAPAS

Mapa 1 Casco Central Comercial del Cantón de San José, área de estudio, 2017.....	17
Mapa 2 Predios comerciales del Casco Central Comercial del cantón de San José, 2017	55
Mapa 3 Red vial del Casco Central Comercial del cantón de San José, 2017	57
Mapa 4 Sentidos viales del Casco Central Comercial del cantón de San José, 2017	59
Mapa 5 Pendientes en porcentaje del Casco Central Comercial del cantón de San José, 2017	61
Mapa 6 Subsectores del Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017	73
Mapa 7 Secuencia recorrido micro ruta D1, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017	79
Mapa 8 Secuencia recorrido micro ruta D2, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017	81
Mapa 9 Secuencia recorrido micro ruta D3, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017	83
Mapa 10 Secuencia recorrido micro ruta D4, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017	85
Mapa 11 Secuencia recorrido micro ruta D5 Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017	87
Mapa 12 Secuencia recorrido micro ruta D6, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017	89

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Etapas de la Gestión Integral de Residuos Solidos.....	22
Figura 2 Sistema lineal de Gestión Integral de Residuos Sólidos.....	24
Figura 3. Sistema Cíclico de Gestión Integral de Residuos Sólidos.....	27
Figura 4. Jerarquía de la Gestión Integral de Residuos Sólidos.....	29

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Caracterización de residuos sólidos comerciales por distrito en el cantón de San José, en porcentaje, 2014.....	13
Tabla 2. Principal marco legal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos en Costa Rica.	36
Tabla 3. Caracterización de residuos sólidos comerciales en el distrito Carmen, Merced, Hospital y Catedral, en porcentaje, 2014.	45
Tabla 4. Categorías de pendiente en función del relieve.	49
Tabla 5 Densidad según tipo de material valorizable.	51
Tabla 6. Comparación entre las rutas actuales y las rutas optimizadas mediante SIG en la ciudad de Cuenca, Ecuador, 2015.	67
Tabla 7 Caracterización de residuos valorizables según subsector, 2017.....	70

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Diagrama metodológico	42
Diagrama 2. Relación de tablas mediante el uso del SIG	47
Diagrama 3. Modelo para el diseño de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el cantón de San José.	77

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Generación de papel y cartón (m3), según micro ruta, 2017	71
Gráfico 2 Generación de plástico (m3), según micro ruta, 2017.....	72

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de residuos sólidos comerciales por distrito, 2014.....	99
Anexo 2. Caracterización general de los residuos para el sector comercial de San José, porcentajes, 2014.	100
Anexo 3. Legislación costarricense aplicada al manejo de residuos sólidos	101
Anexo 4. Definición y operacionalización de variables.....	104
Anexo 5. Categorización y codificación de actividades económicas	105

1. CAPITULO INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El acelerado proceso de urbanización, e industrialización, acompañado de la generación constante de nuevos y más sofisticados servicios, y la desigual distribución ocasiona cada vez más población excluida, así como el incremento constante de bienes para el consumo, son solamente algunas de las características del actual modelo de desarrollo que favorece el aumento de la contaminación ambiental directamente relacionada con la generación excesiva de residuos sólidos y su deficiente gestión.

A partir de lo anterior, los convenios internacionales en materia de conservación y ambiente se han convertido en un importante instrumento legal que permite regular el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, desde el derecho internacional. Actualmente son una herramienta de discusión, negociación, planificación, cooperación y compromiso entre Estados.

En el año 1992 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo efectuada en Rio de Janeiro se firmó la Declaración de la Carta a la Tierra, más conocida como Cumbre de la Tierra, la cual fue una conferencia internacional convocada por la Organización de Naciones Unidas (ONU). La declaratoria fue un intento por inculcar en los países y sus habitantes una cultura de transición hacia estilos de vida y desarrollo humano sostenibles. A través de una serie de principios, el documento, entre otros temas, indica que los patrones dominantes de producción y consumo están causando devastación ambiental, agotamiento de recursos y una extinción masiva de especies.

“El desarrollo sostenible satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. (Ingunza, 2012, pág. 133). Este concepto se encuentra en constante evolución y consiste en la voluntad de mejorar la calidad de vida de todos, incluyendo la de las futuras generaciones, mediante la conciliación del crecimiento económico, el desarrollo social, la protección del medio ambiente y la planificación del crecimiento urbano. En este proceso, la educación cumple un papel importante, orientado a fomentar cambios de actitudes, comportamientos, estilos de vida, formas de ser, pensar, sentir, actuar y relacionarse con los otros, consigo mismo y con el planeta.

Posteriormente, se presentó la vigésimo primera Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), conocida como la COP21. La Conferencia se llevó a cabo en París entre el 30 de noviembre y el 11 de diciembre del año 2015. Como resultado se obtuvo un nuevo tratado internacional jurídicamente vinculante que establece el marco global de lucha contra el cambio climático a partir del 2020 aplicable a todos los países, con el objetivo de mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C. La Conferencia es una de las actividades más significativas relacionada con el tema de Cambio Climático.

Con la firma de la COP21, Costa Rica está obligada a implementar las estrategias idóneas para disminuir los efectos del cambio climático. El inadecuado manejo de los residuos sólidos urbanos y la falta de una cultura de reúso, repercuten cada vez más en la aparición de botaderos clandestinos, mayor presencia de residuos en sitios públicos y beneficia el crecimiento en la cantidad de residuos que se dirigen hacia los rellenos sanitarios del país. Los residuos y los sitios de disposición final antes mencionados han sido identificados como puntos significativos de generación de Dióxido de Carbono (CO₂). En este sentido, si se desarrolla una gestión responsable de los residuos generados, se reducirían e inclusive eliminarían dichos espacios y por ende se contribuiría a disminuir la generación de CO₂ en gran medida.

A parte de los ya mencionados acuerdos internacionales, Costa Rica participa en la Convención sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES), Convenio para la Protección del Patrimonio Natural y Cultural de la UNESCO, Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS), Convenio Regional para el Manejo y Conservación de los Ecosistemas Naturales Forestales y el Desarrollo de Plantaciones Forestales, Convención Internacional de Protección Fitosanitaria, Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), Convenio internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos, entre otros. (Echavarría, 2009, pág. 14)

Los compromisos adquiridos mediante la firma de los ya mencionados tratados internacionales no han sido materializados en la realidad costarricense. Los problemas ambientales que se presentaban en el pasado antes de la firma de dichos convenios, son los mismos que prevalecen en la actualidad e incluso algunos han aumentado negativamente su

escala de afectación, aun después de aproximadamente dos décadas de que el país se comprometiera con los objetivos planteados internacionalmente en materia de conservación y ambiente.

Dado lo anterior han pasado 25 años aproximadamente desde que se firmó la Declaración de la Carta a la Tierra y todavía en Costa Rica no se ha logrado pasar de la teoría a la práctica. A pesar de estar comprometido, el Estado no ha logrado concientizar a los ciudadanos acerca de la problemática actual e incluso no ha implementado las estrategias que le permitan minimizar el impacto negativo de un gran número de situaciones que degradan los recursos naturales del territorio costarricense.

La situación en torno al inadecuado manejo de los residuos sólidos urbanos es uno de los problemas ambientales que más preocupa a los municipios. Esto se debe a que desde décadas atrás y hasta la fecha se generan focos de contaminación dentro de espacios geográficos importantes para el desarrollo económico y social del país y con ello la reproducción de vectores de enfermedades como ratas, cucarachas, e insectos. Cabe mencionar los impactos que se están presentando en suelos, flora y fauna, paisaje, sanidad y fuentes de agua superficial y subterránea.

Conscientes de la problemática que gira en torno al manejo de los residuos sólidos en San José, indica el Departamento de Servicios Ambientales Municipalidad de San José que en el año 2001 la Municipalidad inauguró el relleno sanitario Parque Tecnología Ambiental La Carpio -La Uruca, operado por la empresa canadiense Les Entreprises Berthier Inc (EBI). La apertura de este sitio marca el inicio de una época de cambios importantes en el tema de gestión integral de residuos sólidos ya que posterior a la entrada en vigencia del relleno, la municipalidad inició a implementar una serie de proyectos dirigidos a reducir los impactos ambientales negativos que producen los residuos sólidos en el cantón, situando basureros en algunos sectores del cantón, cerrando con malla electro soldada los lotes baldíos, limpiando tramos del alcantarillado urbano, entre otros. (Municipalidad de San José, 2014, pág. 5)

Por otro lado, el inadecuado manejo de los residuos sólidos se ve acentuado debido a la falta de educación que reciben las y los estudiantes costarricenses, tanto de primaria como de secundaria, sobre el tema. Antes del año 2010 no existía ninguna directriz o mandato de ley que exigiera la incorporación de temas de gestión integral de residuos sólidos en los diferentes

sistemas de educación existentes en el país, lo que no quiere decir que actualmente se esté haciendo. Sin embargo, con la entrada en vigencia de la Ley No. 8839, Ley para la Gestión Integral de los Residuos, mediante el artículo 19, se gira la directriz para que “El Consejo Superior de Educación emitiera las políticas educativas nacionales que orienten el Programa Nacional de Educación sobre la Gestión Integral de Residuos, en todos los niveles de la Educación Preescolar, General Básica y Diversificada, tanto pública como privada.” (Ministerio de Salud Costa Rica, 2011, pág. 12)

En el año 2014, la Municipalidad de San José contrató al Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional de Heredia, para desarrollar uno de los más recientes estudios para el mejoramiento de la gestión de los residuos sólidos del cantón. El estudio se denominó "Estudio de caracterización de residuos sólidos y definición de rutas de recolección para el cantón de San José”.

El objetivo del proyecto fue desarrollar un estudio de generación y caracterización de los residuos sólidos, generados en el sector residencial y comercial del cantón de San José, en la cual se identificar las siguientes variables: generación promedio de residuos sólidos en kilogramos por habitante por día en cada uno de los distritos del cantón; caracterización de los componentes presentes en los residuos sólidos generados tanto en viviendas como en comercios, variación temporal y espacial de las propiedades físicas y químicas de los residuos sólidos generados en el sector residencial y comercial, así como desarrollar una propuesta de rediseño de rutas para la recolección de residuos en el cantón de San José. (Méndez Henderson, Otárola Carvajal, Villalobos Araya, & Herrera Murillo, 2014, pág. 12)

El Estudio de Caracterización permitió conocer la generación de residuos *per cápita*, así como la ubicación espacial de dicha generación según vivienda o comercio en los 11 distritos del cantón de San José. Además, se realizaron algunos análisis de laboratorio para determinar peso volumétrico, humedad, pH, cenizas, entre otros.

Cabe resaltar la gran importancia y el vínculo existente entre el Estudio de Caracterización y el desarrollo del presente proyecto de investigación. Dicho estudio generó información base para la toma de decisiones a nivel municipal, sin embargo, por el nivel de detalle al cual fue elaborado, se obtuvieron una serie de datos que dieron apertura a un abanico de opciones para el

desarrollo de una serie de proyectos de investigación. Posterior a la presentación pública de los resultados arrojados por el Estudio de Caracterización, se identificaron algunos datos de interés que fueron utilizados como insumo para el desarrollo de esta investigación, la cual mediante una propuesta desde el quehacer geográfico beneficiará a la municipalidad de San José en materia de planificación urbana a través de la gestión integral de residuos sólidos.

El principal dato que motivó el planteamiento del presente proyecto fue la tipología de los residuos generados y su porcentaje de generación en el principal sector comercial de los distritos centrales del cantón de San José (Merced, Hospital, El Carmen y Catedral). Se identificó que en dicha área se generaban porcentajes elevados de materiales (papel, cartón y plástico), que por sus características podrían ser valorizados y reincorporados al sistema de producción y consumo, al mismo tiempo que generarían ganancias económicas y ambientales para el cantón.

Con el interés por sumar esfuerzos para contrarrestar el actual impacto negativo que los residuos sólidos están generando dentro de la planificación urbana del cantón, nació la iniciativa de brindar una propuesta de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el área central comercial de la ciudad de San José. El presente proyecto brinda un aporte desde la geografía, específicamente en el tema de planificación urbana. Precisamente, “dentro de los temas ambientales ligados a la planeación urbana se encuentra la gestión integral de residuos. La generación de residuos urbanos está unida al aumento de población de la ciudad, sus formas de consumo, el manejo de sus desechos y, finalmente, las decisiones para el transporte y disposición final de los mismos.” (Castro Buitrago, Vásquez Santamaría, & Jaramillo de los Ríos, 2011, pág. 144).

1.2. Planteamiento del problema

El inadecuado manejo de los residuos sólidos se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales a los que se enfrentan las ciudades actualmente, considerando así mismo que la generación de residuos sólidos evoluciona conjuntamente con la urbanización y la industrialización. El crecimiento urbano es un proceso territorial y socioeconómico que provoca una transformación radical de la cobertura y uso de la tierra. Además, constituye el proceso que mayores cambios produce en el medio ambiente y en el funcionamiento de los ecosistemas.

Indican (Bertolino, Fogwill, Chidiak, Cinquangelis, & Forgiione, 2015, pág. 10), en su texto Participación ciudadana y gestión integral de residuos, experiencias urbanas de gestión integral de residuos en 10 municipios de Argentina (s, f) que: “América Latina es la región más urbanizada del mundo en vías de desarrollo, no es difícil proyectar el enorme impacto que la generación creciente de residuos y la escasa infraestructura existente ejercen sobre el ambiente”

En Costa Rica, el cantón de San José ha experimentado un crecimiento urbano acelerado y con ello un aumento en la cantidad de residuos sólidos generados, situación que pone a prueba la capacidad de reacción municipal para solventar los impactos negativos que estos pudieran generar. En su momento, el municipio no logró planificar ni estimar el crecimiento urbano, lo que se tradujo en un problema ambiental que está degradando los recursos naturales existentes. En el año 2010, entró en vigencia la Ley No. 8839 para la Gestión Integral de Residuos, la cual obliga a las municipalidades a desarrollar la estructura necesaria para cumplir con el manejo adecuado de los residuos sólidos producidos en el cantón. En el artículo No. 8, se indica que “las municipalidades serán responsables de la gestión integral de los residuos generados en su cantón” (Ministerio de Salud Costa Rica, 2011, pág. 7).

Producto de la lectura y análisis de la Ley No. 8839, la Municipalidad de San José (MSJ) cumple únicamente con una parte del proceso de gestión integral de residuos. Actualmente el municipio cuenta con una estrategia clara para la recolección y manejo de los residuos sólidos ordinarios, no así para la recuperación y posterior valorización de materiales reciclables/reutilizables. A pesar de ser un mandato de ley desde el año 2010, la MSJ no ha

logrado desarrollar una estructura que brinde un servicio eficiente para la recolección selectiva de estos materiales valorizables.

Según el “Estudio de caracterización de residuos sólidos y definición de rutas de recolección para el cantón de San José” desarrollado por la UNA, del total de residuos sólidos producidos, un 27% es papel y cartón, un 27% es material biodegradable, un 20% son otros componentes, un 16% es plástico, un 3% son textiles, un 2% es material peligroso y metales y un 1% es vidrio, polilaminados y electrónicos. (Méndez Henderson, Otárola Carvajal, Villalobos Araya, & Herrera Murillo, 2014, pág. 58). Evidenciando, un gran porcentaje de residuos que puede ser recuperado y posteriormente valorizado.

Actualmente, los residuos recolectados en el cantón de San José son enviados hacia los distintos rellenos sanitarios del país de forma indiscriminada y en menor cantidad hacia otros destinos, sin tomar en cuenta que un porcentaje de estos posee las características idóneas para ser recuperados y valorizados. Esto hace que en el país la técnica de disposición de residuos sólidos que mayormente se aplica es la de los rellenos sanitarios, a pesar de no ser la más idónea y eficiente desde una perspectiva ambiental. Según el geógrafo Jonathan Arias, en la actualidad la MSJ envía aproximadamente 320 toneladas diarias de residuos sólidos hacia los rellenos sanitarios, provocando primeramente, contaminación del aire debido a los malos olores que emanan estos sitios, contaminación del recurso hídrico en cuerpos de agua superficiales y subterráneos producto de los lixiviados generados, así como la contaminación del suelo. La existencia de este tipo de sitios de disposición final genera impactos significativos dentro del paisaje geográfico así como malestar por parte de la población en comunidades aledañas en la periferia de los mismos.

La problemática que se presenta actualmente en torno a la contaminación de los recursos naturales en el cantón de San José se ve incrementada debido a un problema de planificación urbana que hasta el momento el municipio no ha logrado resolver. A pesar de que es un mandato de ley, dicho municipio no cuenta con rutas óptimas de recolección selectiva de materiales valorizables que motiven la separación de residuos sólidos desde la fuente generadora. Los habitantes del cantón no poseen un servicio municipal de recogida selectiva, por lo que mezclan sus materiales y los disponen en el servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios que actualmente se brinda.

La inexistencia de rutas óptimas de recolección selectiva de materiales valorizables en el cantón de San José está provocando incumplimiento de la legislación nacional vigente y problemas socio-ambientales dentro del territorio municipal. Indica el artículo 8 de la Ley 8839, las municipalidades deben “Dictar los reglamentos en el cantón para la clasificación, recolección selectiva y disposición final de residuos, los cuales deberán responder a los objetivos de esta Ley y su Reglamento” (Ministerio de Salud Costa Rica, 2011, pág. 7). Debido a que actualmente no se recolectan de forma separada los residuos con potencial para ser valorizados, estos están siendo transportados en el mejor de los casos hacia los rellenos sanitarios, mientras que lamentablemente otra parte de ellos sigue disponiéndose en lugares inapropiados en el interior de la ciudad, lo que conlleva al estancamiento del alcantarillado sanitario público y provocando inundaciones urbanas, generando negocios ilícitos, alimentando botaderos clandestinos y desarrollando ambientes insalubres en el entorno urbano de San José.

Como contribución de la presente investigación, la MSJ contará con una propuesta de rutas óptimas de recolección de residuos sólidos valorizables en el área comercial principal de la ciudad de San José. Se habla de trazado de rutas óptimas cuando estas logran dar servicio al cien por ciento del territorio definido como área de estudio, de manera que todos y cada uno de los comercios existentes en dicho espacio cuenten con un servicio al cual entregar sus residuos sólidos valorizables. Dicha propuesta le permitirá al municipio subsanar distintos problemas que le generan el no brindar un servicio de recogida selectiva de materiales a los ciudadanos del cantón y disminuir la cantidad de materiales que diariamente se dirigen hacia los rellenos sanitarios.

1.3. Objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de micro rutas de recolección selectiva de residuos sólidos valorizables en el casco central comercial del cantón de San José para la gestión integral de residuos sólidos y la planificación urbana del cantón.

1.3.2 Objetivos específicos

- 1.3.2.1 Crear una base de datos geoespaciales para el diseño de las micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el área del proyecto.
- 1.3.2.2 Definir un modelo para la elaboración de micro rutas óptimas de recolección de residuos sólidos valorizables adaptada a las condiciones de la ciudad de San José.
- 1.3.2.3 Diseñar una propuesta para la optimización de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el casco central comercial del cantón de San José.

1.4. Justificación del estudio

San José es el centro de negocios del país, así como la capital y ciudad con mayor concentración de población en el territorio nacional. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) obtenidos del censo realizado en el año 2011, el cantón de San José aparte de ser 100% urbano, cuenta con una población residente total de 288 054 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016). Las características de ciudad capital y principal centro de negocios del país hacen que San José atraiga un gran número de visitantes que ingresan a diario para atender asuntos laborales u otras actividades personales. La población residente junto con la que diariamente visita el cantón produce una cantidad significativa de residuos sólidos, la cual actualmente está generando un problema ambiental producto de su inadecuado manejo.

Según la MSJ en el escrito *Diagnóstico sobre la Gestión de los Residuos Sólidos en el Cantón de San José* (2011):

En el cantón de San José, la actividad residencial permanente y la población flotante (no residente), representa probablemente el principal actor privado del sistema de Gestión Residuos Sólidos municipal por su gran número (...). El otro dato del censo a resaltar es que, de acuerdo con la Memoria de la Municipalidad de San José del 2007, elaborada por el Departamento de Servicios Ambientales, San José tiene una población flotante de 1.000.000 de personas aproximadamente. (Municipalidad de San José, 2011, págs. 35,36)

La ciudad de San José es la fachada del país y durante los últimos años el gobierno local junto con otras instituciones ha desarrollado esfuerzos para ofrecer tanto a los habitantes del cantón, como a los visitantes una ciudad ambientalmente agradable. Por ello, los esfuerzos realizados están dirigidos principalmente a solventar situaciones actuales y futuras que puedan impactar de forma negativa el medio ambiente.

A través de una mirada geográfica y espacial, se colaboró con la municipalidad en la gestión integral de los residuos que se producen específicamente en el área central comercial de San José. La principal contribución que se dio desde las ciencias geográficas mediante la

elaboración de la presente investigación es un modelo para llevar a cabo el diseño óptimo de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables, con la particularidad que puede ser replicado y adaptado en otras realidades del país. Además, se aplicó junto con técnicas y herramientas geográficas para generar un trazado de los recorridos ideales que deben realizar los vehículos para brindar de forma eficiente el servicio de recolección.

El aporte toma en cuenta la mayor cantidad de variables con posibilidad de generar impactos en el diseño y trazado de las rutas. Esto con el fin de presentar una propuesta que tome en consideración la realidad del área de estudio, cumpla con lo establecido en la ley No. 8839 y con los requerimientos necesarios por parte de la municipalidad para sea ejecutado en el momento que el municipio considere conveniente.

Además desde el año 2010 existe un mandato establecido por la Ley para la Gestión Integral de Residuos No.8839 y que fue acogido por la municipalidad en el Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PMGIRS) del cantón de San José y elaborado en el año 2011. Con los resultados de esta investigación, el municipio cuenta con un producto que le permita cumplir con la legislación vigente, ya que ésta las obliga a contar con rutas de recolección selectiva de materiales valorizables. Al mismo tiempo le permite incorporar en la sociedad una actividad que incentive a la población a adoptar prácticas de separación, reúso y reciclaje, en pro del medio ambiente.

Con el sistema de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables operando, se obtienen los materiales que le permiten a la MSJ iniciar un proceso de valorización de los mismos. Sobre dicho tema, Ibáñez y Corropoli expresan que:

Cuando la generación de estos residuos es inevitable, deben pasar a ser considerados como un recurso a partir del cual pueden ser recuperados materiales re - usables, materia prima, nutrientes orgánicos e incluso energía. A este proceso de recuperación y tratamiento que pone a gran parte de los desechos en condiciones técnicas y económicas de ser vueltos al mercado se lo denomina proceso de valorización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) (Ibáñez & Corropoli, 2002, pág. 45).

Los residuos sólidos son un bien que pertenece al municipio, los cuales son transportados desde el punto de su origen hasta el punto donde son tratados y valorizados o hacia donde se disponen finalmente según sean estos ordinarios o valorizables. Por ello, la presente propuesta se enmarca en la planificación urbana y en el análisis de redes de transporte. Además, el proyecto incorpora el análisis espacial muy propio del quehacer geográfico, el trabajo de campo y la percepción, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), entre otras técnicas y herramientas que a lo largo de la investigación fueron necesarias para lograr el trazado idóneo de las rutas de recolección.

El espacio geográfico sobre el cual se georreferencia esta propuesta es la ciudad de San José y fue elegido debido a que es la zona donde se concentra una gran cantidad de negocios dedicados al sector comercial, que a su vez generan elevadas cantidades de residuos sólidos valorizables. Esto se debe a que coincide en un porcentaje con el área comercial¹ establecida en la zonificación realizada por el plan regulador del cantón de San José.

El sector comercial y el de servicios constituyen los dos pilares de la actividad económica de San José. En este sentido, el sector comercial está constituido por el comercio general y las tiendas comerciales incluyendo supermercados, mini súper, pulperías, abastecedores, boutiques, bazares, zapaterías, etc., y representa casi el 50% de la actividad económica de San José. (Municipalidad de San José, 2011, pág. 41)

En una entrevista realizada al geógrafo Jonathan Arias Garro, funcionario del Departamento de Servicios Ambientales (DSA) de la MSJ, resaltó que el área seleccionada es idónea para implementar rutas óptimas de recolección de residuos valorizables. El funcionario manifestó que los intereses del Departamento están centrados en recolectar el material valorizable de todo el cantón, ya que como se observa en la tabla N°1 el cantón genera un gran porcentaje de residuos valorizables. Además manifestó el gran interés por parte del Departamento por brindar el servicio en el área comercial ubicada en el centro de la ciudad de San José. Añadió que dicha área posee una tarifa por el servicio de recolección más elevada que

¹ Según la municipalidad de San José en el documento *Reformas a los Reglamentos de Desarrollo Urbano del Cantón de San José*, (2014), “Zona Comercial y Servicios-2 (ZC-2). Corresponde al centro actual del cantón de San José. La delimitación precisa de esta zona se encuentra en el mapa de zonificación de uso del suelo de los RDU. Se caracteriza por poseer lotes con un promedio de 430 m².” (Municipalidad de San José, 2014, pág. 55)

otras zonas del cantón debido a que se presta el servicio seis días de la semana. (Arias Garro, 2016)

Material		Carmen	Merced	Hospital	Catedral	Zapote	San Francisco	Uruca	Mata Redonda	Pavas	Hatillo	San Sebastián
Papel y cartón	Papel blanco y de color	1,10	0,12	0,67	18,64	1,87	3,17	2,52	0,41	1,56	1,65	0,84
	Periódico	1,59	0,03	2,30	2,90	1,00	0,67	0,59	0,21	0,76	1,91	0,50
	Cartón	2,19	16,93	12,32	8,00	20,57	7,55	11,10	5,17	20,59	18,59	2,14
	Cartoncillo	2,12	6,81	3,51	4,92	1,19	3,68	2,80	1,57	3,31	3,26	2,87
	Otros papeles	4,29	7,56	9,57	11,77	8,51	9,11	9,21	8,24	7,06	4,80	13,51
Plástico	PET	2,32	1,87	2,51	3,43	1,95	7,81	2,13	3,14	1,64	3,27	2,32
	HDPE	1,83	1,27	1,32	0,11	0,78	1,13	1,16	3,40	0,61	1,13	2,40
	LDPE	4,19	9,59	2,90	0,57	2,24	2,70	2,49	1,34	3,36	1,84	5,41
	Otros plásticos	3,09	9,84	12,05	6,21	5,91	9,72	9,32	7,71	5,21	10,04	7,74
Metales	Aluminio	0,45	0,60	0,23	0,35	0,24	0,60	0,17	0,66	0,24	0,74	0,47
	Ferroso	3,40	0,12	0,52	0,42	0,75	0,82	7,14	0,61	1,09	2,73	0,81
	No ferroso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Textiles		1,87	4,65	3,55	1,88	2,07	5,50	4,47	0,01	3,80	0,54	3,05
Polilaminados		0,83	3,15	0,69	1,52	0,47	1,73	0,53	0,91	0,91	1,44	2,98
Peligrosos		0,91	1,84	0,46	3,00	1,84	4,16	2	0,65	2,34	0,28	1,02
Electrónicos		0,54	0,15	0,52	0,04	0,49	6,07	1,44	0,00	1,19	3,12	1,26
Vidrio	Transparente	0,70	1,37	1,18	1,30	3,12	0,72	1,02	0,61	2,51	1,94	0,00
Biodegradables	Cáscaras	21,84	6,84	19,06	8,01	9,40	11,27	12,40	11,72	7,89	16,47	7,60
	Jardín	0,46	0,03	0,04	2,51	0,96	1,99	2,71	20,64	1,31	5,53	0,00
	Otros biodegradables	15,89	14,24	16,33	3,40	17,16	8,26	9,57	11,79	19,44	5,24	9,25
Otros componentes		30,39	13,01	10,30	22,02	19,47	13,30	17,26	21,21	15,12	15,49	35,82
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Estudio de caracterización realizado por el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, 2014

Tabla 1 Caracterización de residuos sólidos comerciales por distrito en el cantón de San José, en porcentaje, 2014.

Arias expresa que el sector comercial produce cantidades elevadas de papel, cartón y plástico. Lo cual está basado en su experiencia en el Departamento y por los resultados del Estudio de Caracterización. Además, expresa que es idóneo iniciar con el proyecto piloto en esta área debido a que los materiales son entregados limpios, lo que significa que, no están contaminados con residuos orgánicos, contrario a lo que sucedería si se elige un sector residencial. “Iniciar el proyecto en esta área beneficiaría el proceso de sensibilización y educación de la población del cantón, lo que permitiría posteriormente ampliar dicho proyecto a escala cantonal con una mayor facilidad y con la experiencia de un estudio piloto” (Arias Garro, 2016)

Los tres principales factores que influyeron en la elección del área de estudio y tipo de material a recolectar fueron, en primer lugar, lo expuesto en el Diagnóstico sobre la Gestión de los Residuos Sólidos en el Cantón de San José del 2011; de segundo, la información recolectada a través de la entrevista al señor Arias y, por último, el trabajo de campo que se llevó a cabo con el fin de ampliar y verificar información. Cabe resaltar que los residuos sólidos valorizables que incorpora la presente propuesta para ser recolectados en el área de estudio son únicamente papel, cartón y plástico. Esto se debe a que, según el estudio de caracterización, son los tres materiales que se producen en un gran porcentaje dentro del casco central comercial de la ciudad de San José (Ver anexo 1, 2 y 3).

Actualmente, opera un sistema para la recolección de residuos valorizables que no posee una estructura planificada. El servicio se brinda a los habitantes que mediante una llamada telefónica u otra vía se comuniquen con la municipalidad para hacerles saber que están interesados en que se les recolecte material valorizable. Posterior a ello, la municipalidad les indica los días en que visitarán el distrito para hacer efectiva la recolección del material e incluso, junto con la persona, establecen visitas semanales o mensuales según la cantidad producida. Básicamente, el sistema actual está determinado por la demanda y se planifica una ruta de recolección según la ubicación de hogares o comercios que hayan solicitado el servicio.

Los materiales valorizables recolectados bajo el sistema actual son trasladados hacia el Centro de Recuperación de Residuos Valorizables que se ubica en Hatillo desde el año 2010. Según el Boletín Informativo publicado por el Observatorio Municipal, “el centro cuenta con varios socios comerciales que compran el material que la municipalidad recolecta, clasifica y compacta. Entre los materiales que se comercializan tenemos el papel, cartón, diferentes tipos de plástico, aluminio, hojalatería, tetrabrik, vidrio y electrónicos” (Municipalidad de San José, 2014, pág. 12)

El impacto que el proyecto va a tener en sus inicios va a ser a escala menor, sin embargo, se espera que posteriormente sea replicado en todo el cantón. Además, el proyecto es un insumo que a mediano plazo puede permitir el diseño de rutas diferenciadas para todos los tipos de materiales generados en el cantón (orgánico, cartón, papel, vidrio, electrónicos, entre otros), con ello, se minimiza la generación de residuos mezclados y se analizan los medios económicos y

ambientales más apropiados para separar y aprovechar los componentes que tengan valor y reducir los residuos que se envíen a otras formas de disposición final.

Con este proyecto se pretende contribuir para que la MSJ logre situarse a la vanguardia en la atención de problemas ambientales y sanitarios. Esto significa un cambio del sistema actual para el manejo de los residuos sólidos urbanos.

Esto es un cambio de paradigma: pasamos “de la cultura tradicional de recoger y enterrar basura hacia una nueva visión de gestión integral de residuos; pasamos de una cultura de la basura hacia una cultura del residuo, donde estos son vistos como materiales que tienen valor y se promueve una cultura de consumo sostenible y racional” (Ministerio de Salud Costa Rica, 2011)

El sistema al cual se desea pasar establece prioridad en las opciones de manejo de residuos a través de un orden de preferencia que parte de la reducción en la fuente, reúso, reciclaje, tratamiento, valorización y disposición en rellenos sanitarios como última opción. Es decir, la propuesta es un incentivo para que la municipalidad incorpore técnicas novedosas de reutilización, recuperación y reciclado de materiales utilizadas actualmente en otras latitudes, las cuales permiten insertar nuevamente los residuos al flujo económico.

1.5. Área de estudio

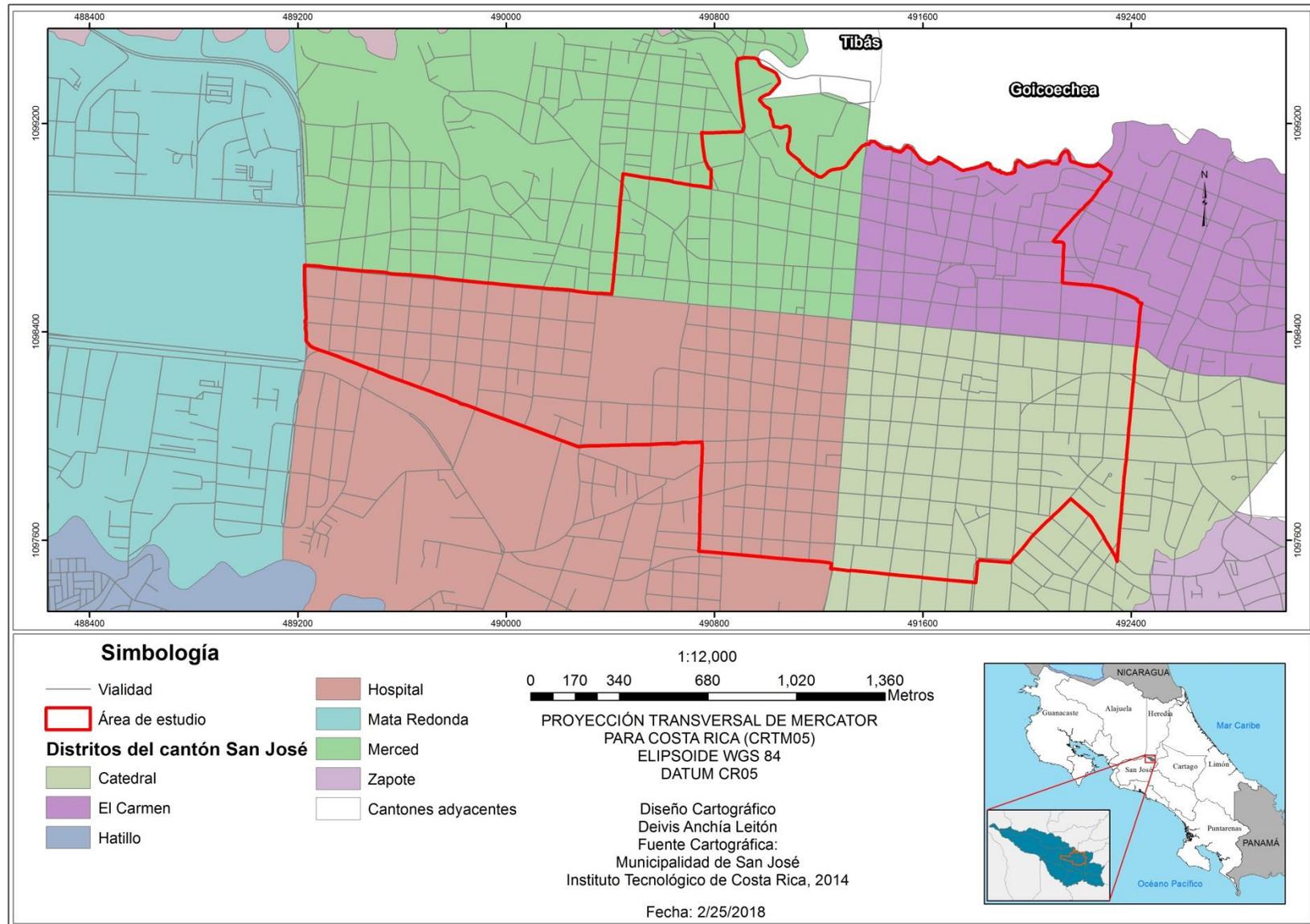
1.5.1 Delimitación del área de estudio

El área de estudio es conocida como Casco Central Comercial y comprende sectores de los distritos Merced, Carmen, Hospital y Catedral, del cantón de San José (Ver mapa N°1). Según una entrevista realizada al geógrafo Jonathan Arias Garro funcionario del Departamento de Servicios Ambientales de la MSJ, dicha área posee ese nombre debido a una delimitación creada por la municipalidad para brindar el servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios. Arias indica que es una zona donde se concentra la mayor cantidad de establecimientos comerciales, que incluso la tarifa por el servicio de recolección es diferente a las demás zonas del cantón debido a que se brinda el servicio con mayor frecuencia (Arias Garro, 2016).

El área de estudio posee una extensión territorial de 10.77 Km² aproximadamente. Está caracterizada por un entorno en su totalidad urbano, compuesto por tiendas, supermercados, mini súper, sucursales bancarias, entre otros establecimientos comerciales y de servicio que dan dinamismo a dicho espacio. El cantón de San José posee una población total de 288 054 de la cual 151 683 son mujeres y 136 371 son hombres. Sin embargo, la población que se verá directamente impactada producto de esta investigación será la de los distritos Merced, Carmen, Hospital y Catedral, los cuales poseen una población total de 12 257, 2 702, 19 270 y 12 936 respectivamente (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016).

Por otro lado, cabe mencionar que es una zona altamente transitada por vehículos automotores. Gran cantidad de rutas de transporte público dirigen autobuses hacia el interior del área que comprende la ciudad, lo que la hace difícil de transitar. Además, se agrega una enorme cantidad de taxis que operan en el interior de la misma y junto a ello una impresionante cantidad de vehículos privados que circulan por las principales calles y avenidas josefinas.

Mapa 1 Casco Central Comercial del Cantón de San José, área de estudio, 2017.



2. CAPITULO. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene como finalidad dar a conocer los diferentes conceptos y teorías necesarias para comprender el desarrollo de este proyecto. Primeramente, se expone de forma breve la evolución del concepto “basura” y cómo cambió hasta llegar a lo que actualmente se conoce como “residuo”. Además, se expone la manera en que el nuevo concepto influyó para que se migrara de un sistema lineal a un sistema cíclico para la gestión y tratamiento de los residuos sólidos urbanos. Es decir, se pretende analizar cómo la migración de un concepto a otro influyó en el desarrollo de un sistema integral de residuos sólidos urbanos.

Posteriormente se describirá en qué consiste el sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos y cuáles son las etapas necesarias para lograr incorporar dicho sistema dentro de la planificación urbana de un distrito, cantón e incluso a escala nacional. Además, se incorporará la jerarquía para el manejo idóneo de los residuos sólidos urbanos. Se abarca el tema de los residuos sólidos valorizables y cómo el manejo adecuado de ellos se torna cada vez más importante desde el punto de vista ambiental y económico para la MSJ. Se expone acerca del diseño de las rutas de recolección selectiva y los aspectos que se deben tomar en cuenta para implementarlas y que cumplan a cabalidad con las características del área de estudio.

Finalmente, se busca la relación entre la geografía y la gestión integral de residuos sólidos, se pretende mostrar cuál es el papel que juega la geografía dentro de este tipo de temas ambientales y sin duda alguna de planificación urbana. Lo expuesto dentro de este capítulo es la base para comprender tanto el desarrollo de este proyecto como los resultados generados por el mismo.

2.1. Los residuos sólidos urbanos

Durante muchos años las sociedades hacían uso del término “basura” para referirse a cualquier cosa que sobrara de un proceso de producción u otra actividad. La falta de mecanismos para el aprovechamiento de dicha basura era lo que fundamentaba el uso del concepto; el no contar con tecnologías e incluso la falta de conciencia ambiental y visión para reutilizar algunos materiales y obtener algún beneficio de ellos, fomentaba una cultura de desechar cualquier

material resultante de diversas actividades de producción y consumo. Es decir, el material resultante de las actividades productivas era considerado como simple basura.

Con el paso del tiempo la visión fue cambiando hasta considerar los residuos como materiales de los cuales se puede obtener un retorno de la inversión. El proceso de globalización y con ello la introducción de tecnologías incorporó nuevas técnicas de tratamiento de residuos, generando un cambio de conciencia en la sociedad e incidiendo en que se comenzara a ver la basura como algo con valor, como una posible fuente generadora de ingresos para los municipios a través de la valorización de materiales, así como una vía para alcanzar un desarrollo más sostenible. Según la Ley No. 8839 para la Gestión Integral de Residuos en Costa Rica “residuo es material sólido, semisólido, líquido o gas, cuyo generador o poseedor debe o requiere deshacerse de él, y que puede o debe ser valorizado o tratado responsablemente o, en su defecto, ser manejado por sistemas de disposición final adecuados” (Ministerio de Salud Costa Rica, 2011). Esta ley delimita el alcance del concepto de residuo, sin embargo, para el desarrollo del presente proyecto se va a tomar en cuenta únicamente los residuos sólidos y particularmente los valorizables.

El paso de un concepto de basura que era básicamente desechar todo material resultante de cualquier proceso de producción o consumo a un concepto de residuo que motivara a la valorización y permitiera incorporar nuevamente dichos materiales al ciclo económico, fue lo que incentivó el desarrollo de un sistema para la gestión integral de residuos sólidos de manera que fuese compatible con las preocupaciones actuales por los problemas ambientales, la salud pública y con los deseos del público y el municipio respecto a la reutilización y reciclaje de los materiales.

2.2. Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU)

La gestión integral de residuos sólidos es una iniciativa que permite la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas idóneos para lograr metas y objetivos específicos para el manejo adecuado del total de residuos generados en un área geográfica, con el objetivo de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población. Las actividades involucradas en la GIRS se vinculan tanto con el estudio de los residuos sólidos en sí mismos, así como también de las distintas fases involucradas en su generación y en su posterior manejo.

En cuanto a la definición conceptual de la GIRS, la Ley No. 8839 para la Gestión Integral de Residuos en Costa Rica indica que es “un conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final” (Ministerio de Salud Costa Rica, 2011). Esto quiere decir que se busca incorporar instituciones públicas y privadas, así como a la población en general, de modo que se comprometan desde el inicio (generación en la fuente) hasta la disposición final (reciclaje, compost, entre otros).

Bonivento, S. (2005) explica que el objetivo fundamental de la GIRS es lograr el aprovechamiento de la mayor cantidad de residuos sólidos que se generen en un territorio. Así mismo, define aprovechamiento como “proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y económicos” (Bonivento, 2005, pág. 15)

En el caso de Costa Rica, la gestión integral de residuos tiene pendiente algunas de sus etapas, es por ello que a nivel nacional todavía no se puede hablar de la existencia de un sistema de gestión integral como lo establece la bibliografía consultada. En el país y específicamente en el cantón de San José, se ha brindado más importancia al manejo de los residuos sólidos ordinarios y la gestión de los mismos se ha enfocado principalmente en la disposición final. Se han concentrado pocos esfuerzos en tratar y valorizar los residuos, sin dejar de lado la poca atención que se ha prestado al tema de evitar y reducir la generación desde su origen.

2.2.1 Etapas del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos

Cabe destacar que según Timm, J. en su escrito “*Gestión de residuos sólidos urbano, documento destinado a docentes*” (2013), la estructura del sistema de gestión integral de residuos sólidos está conformada por siete etapas bien identificadas, las cuales son: generación, disposición inicial, recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final. (Timm, 2013, pág. 12). Estas son consideradas las etapas que conforman el sistema cíclico del residuo.

Para implementar un sistema de gestión integral de residuos sólidos, la MSJ debe analizar cuáles de las etapas se están presentando actualmente y si éstas cumplen según lo establecido. Además, debe desarrollar las estrategias necesarias para incorporar aquellas etapas que no se encuentren en el sistema de manejo de residuos con que se cuenta actualmente. Cabe destacar que el municipio debe, por un lado, incentivar a la población para que se incorporen en las etapas correspondientes, y por otro, trabajar ardua y eficientemente en las etapas que le concierna.

ETAPAS DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

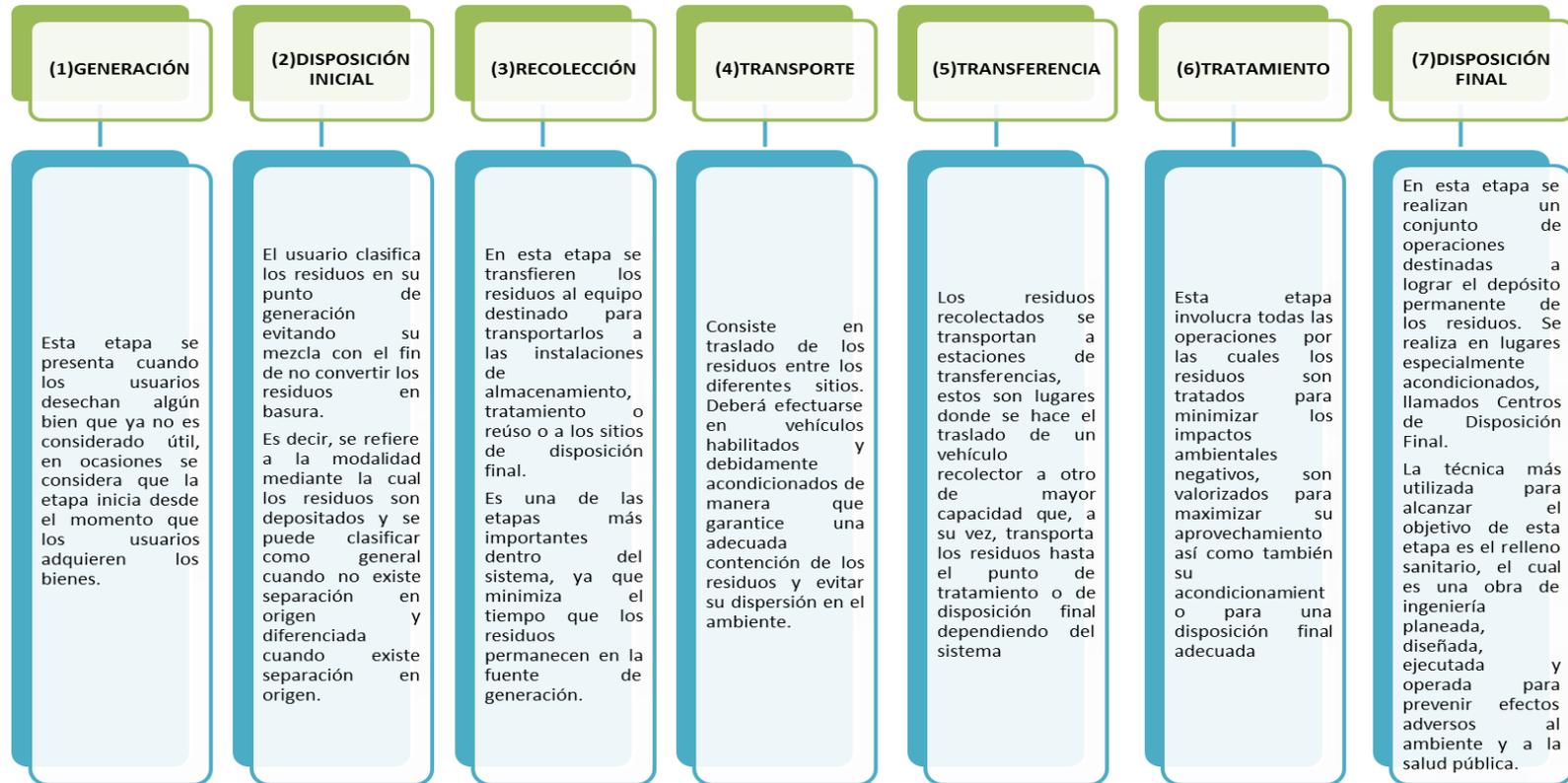


Figura 1 Etapas de la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Fuente: Elaboración propia, a partir de información expuesta por Timm. (2013, pág. 12)

La primera etapa está representada por el generador, éste consiste en toda persona física o jurídica que produce residuos y pueden ser clasificados de dos formas: los generadores individuales siendo todos aquellos que no requieren de programas particulares de gestión, como pueden ser las familias, por otro lado, los generadores especiales que son los que requieren de programas particulares de gestión, como por ejemplo las empresas. Dentro del sistema de gestión integral, se espera que sea cual sea el generador, éste clasifique los residuos evitando que se mezclen y se conviertan en basura. Posteriormente, los sistemas de recolección tienen la función de recorrer las áreas donde están ubicadas las fuentes de generación, recolectar los residuos sólidos y transportarlos a los sistemas de transferencia, de tratamiento o de disposición final.

Es importante destacar que el producto del presente proyecto va impactar de forma positiva en la etapa de recolección, aunque claramente los resultados servirán de insumo para mejorar el sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos. Se debe recordar que el fin último de este trabajo es brindarle a la MSJ el insumo que le permita recolectar los residuos sólidos valorizables en un área específica dentro del cantón. Posteriormente, el tratamiento involucra procesos físicos, químicos y biológicos, tales como la incineración con aprovechamiento de energía, el compostaje y la producción de combustible auxiliar, el reciclaje, entre otros. Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y sus desventajas y su elección dependerá de las limitaciones existentes, los beneficios ambientales y sociales esperados, así como las limitaciones económicas existentes. El tratamiento se realiza en instalaciones especialmente habilitadas para tal fin, denominadas Plantas de Tratamiento.

Los materiales que no pudieron ser involucrados dentro de la etapa de tratamiento, es decir, todos aquellos que por sus características no se trataron para ser reincorporados al sistema de consumo, serán transportados hacia un sitio de disposición final. Históricamente, en Costa Rica el relleno sanitario se ha empleado como el método más aceptable para la disposición final de los residuos desde el punto de vista económico. Hoy el relleno representa el paso imprescindible en los sistemas de manejo de los residuos municipales.

En Costa Rica el Reglamento sobre Rellenos Sanitarios lo define como “la técnica mediante la cual diariamente los desechos sólidos se depositan, esparcen, acomodan, compactan y cubren empleando maquinaria. Su fin es prevenir y evitar daños a la salud y al ambiente, especialmente por la contaminación de los cuerpos de agua, de los suelos, de la atmósfera y a la

población al impedir la propagación de artrópodos y roedores” (Ministerio de Ambiente y Energía, 2015)

En estas distintas etapas el residuo requiere un estudio y un tratamiento distinto por la naturaleza del proceso, lo que hace que el residuo posea y asuma una expresión económica social y territorial diferente en cada una de esas realidades. Esas distintas fases que adquiere el residuo hacen que hoy sea muy propio del análisis geográfico. Incluso algunos geógrafos franceses sostienen que “los residuos son objetos completamente geográficos, en la medida que generan territorios, paisajes, flujos, conflictos, sectores económicos y movilidades a lo largo de su trayectoria” (Sepúlveda Vargas, 2013, pág. 28)

2.2.1.1 Gestión lineal versus Gestión Cíclica de los Residuos

Como se comentó anteriormente, dentro de un sistema de gestión integral de residuos sólidos existen siete etapas bien diferenciadas. Sin embargo, en un gran número de municipios costarricenses se cuenta principalmente con la etapa de *generación, recolección, transporte y disposición final (sistema lineal)*, dejando de lado tres fases (*Disposición inicial, transferencia y tratamiento*), imprescindibles de un sistema cíclico y por ende indispensables para alcanzar los objetivos de la GIRS.



Figura 2 Sistema lineal de Gestión Integral de Residuos Sólidos

Fuente: Elaboración propia, 2016

Actualmente para el manejo de los residuos sólidos urbanos del cantón, la MSJ cuenta con un sistema de gestión lineal de los mismos. Inicia con la fase de generación, la cual está compuesta por generadores del sector residencial y generadores del sector comercial donde se pueden encontrar supermercados, bancos, tiendas de abarrotes, talleres, industrias entre otros. Estos sectores producen una gran cantidad de residuos, los cuales no son separados y llegan a la etapa de transporte mezclados incluso con residuos orgánicos, lo que los convierte en basura.

La primera fase dentro del sistema lineal limita y caracteriza lo que resta del proceso. Es decir, la mezcla de materiales desde la fase inicial tiene como consecuencia que éstos pasen únicamente por la etapa de recolección, transporte y disposición final en la mayoría de los casos. Lo anterior debido a que incurrir en el tratamiento y posterior valorización de materiales ya mezclados implica un gran costo económico para los municipios y en algunas ocasiones es imposible de realizar, por lo que de forma esperada son recolectados y trasladados hacia los rellenos sanitarios. Entre los aspectos negativos que genera el funcionamiento de un sistema lineal en el cantón de San José se encuentra el poco fomento e incentivo que recibe la población para involucrarse, imposibilitando la generación de conciencia sobre el problema actual de manejo de residuos sólidos, en contradicción a los objetivos planteados por la GIRS.

El sistema lineal de gestión de residuos no discrimina por tipo de material; dentro de este proceso todos los residuos son vistos con igualdad de características y por ende son tratados de la misma forma y enviados a los rellenos sanitarios indiscriminadamente. Esto en primer lugar provoca que las personas adquieran bienes elaborados con materiales de primera mano y no de materiales reutilizados, contribuyendo al aumento de los residuos sólidos generados. Por otro lado, este sistema incentiva la proliferación de más y mayores sitios de disposición final tanto dentro como fuera de los límites cantonales, impactando la planificación urbana de los territorios. Estos sitios son vistos como instalaciones no deseadas y representan un problema de gran importancia práctica y de fuerte contenido geográfico.

Desde un punto de vista geoespacial, las instalaciones donde se generan, tratan o depositan los residuos constituyen variables de índole puntual, a las cuales se les debe otorgar una localización concreta en un espacio, identificar y asociar la población y otros elementos del territorio sensibles a los efectos negativos de los residuos sólidos, ya que estas se sitúan en muchos puntos de la superficie espacial. Existe por ello una distribución espacial irregular con

respecto a la posible afectación de estas instalaciones. En este contexto, el problema geográfico se concentra principalmente a la búsqueda de una localización óptima para la instalación de estos sitios de disposición final.

Por otro lado, los desplazamientos o traslados entre los lugares de generación y de tratamiento o disposición final pueden realizarse de diversas maneras sobre el espacio geográfico, sin embargo, lo común es que se realicen a través de la red vial existente como calles, avenidas, autopistas, entre otros, las cuales deben contar con características idóneas que permitan el tránsito de camiones recolectores. Es precisamente en este contexto que se pretende brindar un aporte a la situación actual en San José desde la ciencia geográfica.

Lo anteriormente expuesto deja en evidencia que los sistemas lineales de gestión de residuos sólidos, a pesar de generar cierto grado de beneficios en los espacios urbanos, no son los que idealmente se deben implementar. Estos sistemas tienen repercusiones serias principalmente en el tema ambiental debido a que fomenta el consumo de bienes generados con materiales de primera mano, los cuales necesitan una gran cantidad de recursos naturales para ser creados, sin dejar de lado las implicaciones en la salud pública y degradación del paisaje geográfico. El presente proyecto lejos de contribuir con un seguimiento del sistema de gestión lineal para el manejo de los residuos sólidos urbanos en San José, es un aporte dirigido a fomentar la incorporación de un sistema cíclico para el manejo de los mismos.

Para lograr la incorporación de un sistema cíclico de gestión integral de residuos sólidos, la municipalidad debe reforzar el trabajo que se está haciendo actualmente en algunas fases e implementar las etapas faltantes. La estructura del sistema cíclico puede verse en la siguiente figura.

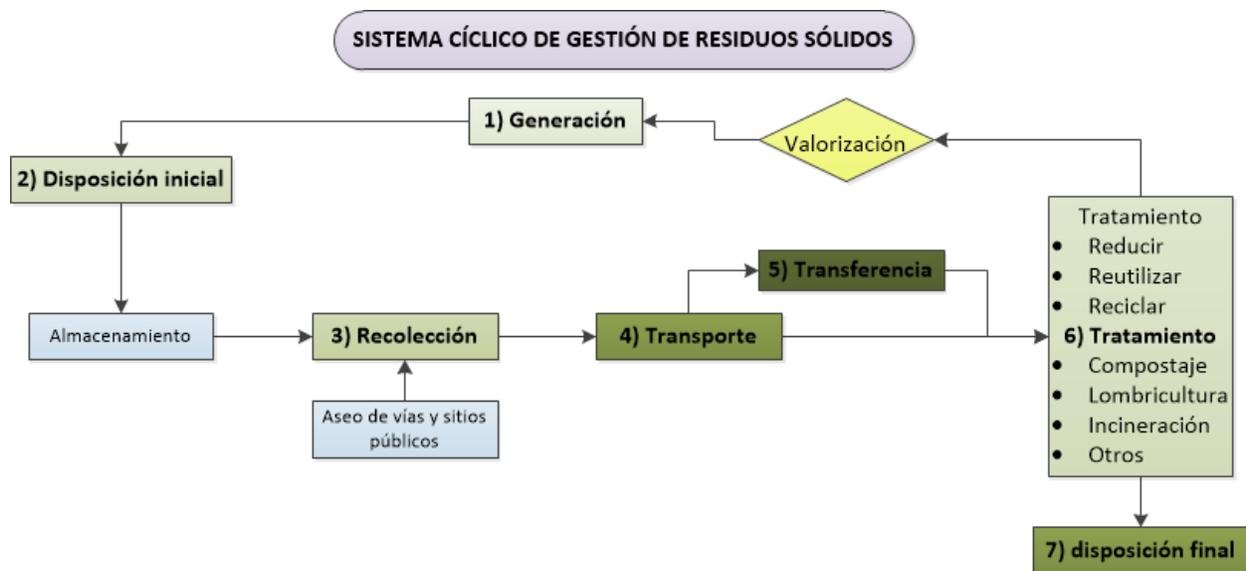


Figura 3. Sistema Cíclico de Gestión Integral de Residuos Sólidos

Fuente: Elaboración propia a partir de (Timm, 2013).

Como se puede observar en la figura anterior, el sistema cíclico de gestión integral de residuos sólidos incorpora siete etapas organizadas estratégicamente. Con diferencia al sistema lineal, el cíclico permite el tratamiento y valorización de los materiales que cuenten con las características idóneas, lo que permite reincorporarlos al mercado del consumo. Para el caso de San José, la implementación de un sistema cíclico de manejo de residuos sólidos, es decir, un sistema de gestión integral requiere trabajar en algunos aspectos fundamentales. Entre los que se encuentran notificar e incentivar a los comercios del casco central comercial para iniciar un proceso de disposición inicial selectiva y almacenamiento en cada uno de sus locales, es decir, asegurar la participación ciudadana. Posteriormente, se deberán seleccionar los vehículos idóneos para la recolección y el transporte de los materiales seleccionados, sin dejar de lado otros aspectos importantes para el funcionamiento del sistema y principalmente para dar solución al problema presente.

El sistema cíclico a diferencia del sistema lineal obliga a los municipios a contar con centros de tratamiento, los cuales serán abastecidos idealmente de materiales obtenidos del eficiente funcionamiento de etapas anteriores. Esto permitirá valorizar un gran porcentaje de los materiales producidos en el área de estudio y disminuir significativamente la cantidad de materiales que día a día son trasladados hacia los rellenos sanitarios.

Evidentemente, el presente proyecto impacta directamente en la etapa de recolección, sin embargo, al ser el producto final una propuesta de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables impacta el sistema en general, debido a que se exige a los generadores en las primeras fases del sistema a seleccionar los materiales y entregarlos de forma diferenciada a la etapa de recolección. Como se comentó en párrafos anteriores, lo que se realice en la primera y segunda fase del sistema de gestión de residuos, determinará la ruta que continúe el residuo, que puede ser el sistema lineal o el sistema cíclico. Esto deja en evidencia que el desarrollo de este proyecto fomenta la incorporación de un sistema de gestión integral cíclico de residuos sólidos urbanos.

La incorporación de este tipo de sistemas genera una serie de implicaciones de carácter geográfico. En primera instancia se desmotiva la expansión y creación de rellenos sanitario, los cuales usualmente se catalogan como estructuras no deseadas que impactan la distribución de la población y la configuración espacial urbana. En el caso de la presente propuesta, no se limita exclusivamente al tránsito de camiones recolectores sobre el casco central comercial de San José. Implica un análisis geográfico del área, donde se busca conocer las particularidades geomorfológicas, características de vialidad, restricciones de paso, entre otros aspectos que puedan impactar la eficiente prestación del servicio. Dicho análisis permitirá tomar las previsiones necesarias para que la ejecución del proyecto no afecte la dinámica urbana del área de estudio.

2.2.2 Jerarquía de la Gestión Integral de Residuos Sólidos

En la Ley No. 8839, se ha establecido un orden jerárquico mediante el cual debe realizarse la gestión integral de residuos en el país. Ante esto, el Centro Nacional de Producción Más Limpia (CNP+L) ha generado el cono de lo deseable, que ilustra de manera clara la jerarquía de manejo de los residuos sólidos:



Figura 4. Jerarquía de la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Fuente: CNP+L citado por (Marín, R; Ramírez, S., 2010).

Evitar: La bibliografía menciona que el mejor residuo es aquel que no se genera, es decir, se debe evitar al máximo su generación.

Reducir: Pretende concientizar para que, si no fue posible evitar la generación, al menos se reduzca la generación normal.

Reciclar/Reutilizar: Consiste en aprovechar los materiales que la sociedad descarta, con el fin de darles un nuevo valor y que pueda ser reutilizado en la fabricación de nuevos productos.

Valorizar/Co-procesar: Es el uso de residuos como materia prima o fuente de energía en procesos industriales, para el reemplazo de recursos naturales no renovables, como minerales y combustibles fósiles, tales como carbón, petróleo o gas natural.

Tratar: Esta fase es debe ser aplicada principalmente para residuos peligrosos o de ciertas características perjudiciales que no deben ser almacenados sin el previo almacenamiento.

Disponer/Eliminar: Esta fase es la menos deseada, y consiste en eliminar todos aquellos residuos que por sus características físicas no pudieron ser tratados en ninguna de las etapas anteriores.

2.3. Los residuos sólidos valorizables

En los últimos años, el Gobierno de Costa Rica ha identificado la necesidad que se tiene a nivel país de incorporar estrategias que permitan la valorización de materiales, por lo que incorpora en la Ley No. 8839 los lineamientos necesarios para que los municipios incorporen el tema de recuperación y valorización de residuos dentro de la planificación urbana. Se indica en esta ley que “La valorización es un procedimiento que permite el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente” (Ministerio de Salud Costa Rica, 2011).

En cuanto al concepto de residuo valorizable, el reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios, 2010, indica que “son aquellos que pueden ser recuperados de la corriente de los residuos sólidos ordinarios para su valorización.” (Procuraduría General de la República, 2015). Actualmente, en San José se produce una gran cantidad de materiales que presentan las características idóneas para ser valorizados. Sin embargo, el sistema municipal de gestión integral de residuos sólidos existente, el cual no presenta una estrategia clara para el manejo responsable de los mismos, junto con la falta de voluntad política y recursos económicos, hace que un porcentaje de estos materiales estén siendo transportados en conjunto con los residuos sólidos ordinarios hacia rellenos sanitarios, mientras que algunos carecen de gestión y son dispuestos de tal manera que bloquean el alcantarillado sanitario e incluso alimentan botaderos clandestinos, entre otros destinos.

Para lograr la recuperación y posterior valorización de materiales, la MSJ debe redoblar esfuerzos en dos áreas principalmente. Primeramente, dicha entidad debe incorporar a la población en el proceso, incentivándola a separar los materiales en el punto de su generación. Segundo, es imprescindible contar con un modelo adecuado de recolección selectiva de materiales en origen dentro del sistema de gestión integral de residuos. Debido al alto coste de las plantas de tratamiento se resalta la importancia que tiene la recolección selectiva de materiales valorizables dentro del proceso de recuperación y valorización de las materias primas contenidas en los residuos sólidos urbanos.

2.3.1 Diseño de rutas de recolección selectiva

El diseño planificado e incorporación de rutas de recolección selectiva es una de las vías para optimizar el rendimiento en la prestación del servicio de recolección que se brinda actualmente por parte de la MSJ. La creación de rutas de recolección selectiva consiste en dividir el área a la cual se pretende brindar el servicio en sectores, de manera que se asigne a cada equipo de recolección una zona que pueda ser atendida eficaz y eficientemente. Seguidamente, los sectores pueden ser divididos en otros más pequeños dentro de los cuales se establecen rutas de recolección. El propósito es dividir el área en sectores de manera que cada sector asigne a cada equipo de recolección una cantidad más apropiada de trabajo y desarrollar una ruta para cada subsector, facilitándole a cada equipo llevar a cabo el trabajo con una menor cantidad de tiempo y recorrido.

En algunos casos, las rutas se diseñan de forma intuitiva, lo que repercute en la eficiente prestación del servicio. Se debe contar con estudios de caracterización y tasas de generación de residuos sólidos, así como otros estudios pertinentes, sin dejar de lado el conocimiento adquirido sobre el área de estudio y en el caso de San José, la experiencia obtenida a través de la recolección de residuos ordinarios que se ha brindado por varios años. Cabe mencionar que, durante el proceso de delimitación de sectores, los límites topográficos existentes y barreras naturales como ríos, lagos, bosques, entre otros, juegan un papel fundamental, con el propósito de disminuir los costos al intentar cruzar dichas barreras. Así mismo, será menos difícil para las cuadrillas recolectoras identificar los sectores y subsectores que deben atender.

Un sistema de rutas correctamente diseñado genera un servicio de recolección y transporte de los residuos sólidos valorizables eficiente. En otras palabras, resulta en una mejora notable en el diseño de rutas, reduce costos de operación y mantenimiento, reduce las distancias muertas, se modifica la proporción de las distancias productivas respecto a la distancia total recorrida, se brinda el servicio a la población tal como se ha proyectado, se aprovecha la capacidad de los vehículos recolectores, se aprovecha la jornada de trabajo completa, y se obtiene mayor colaboración del personal al darse cuenta que los nuevos recorridos le permiten ahorrar trabajo improductivo. Además, permite en un momento dado la adquisición de más unidades de recolección.

A continuación, se exponen las definiciones que han brindado diferentes autores sobre las macro y micro rutas, las cuales por su alcance pueden impactar de forma positiva el desarrollo del presente proyecto.

2.3.1.1 Macro rutas

Márquez, J. (S, f) indica que se denomina macro rutas a “la división de la ciudad en sectores operativos, a la determinación del número de vehículos en cada una y a la asignación de un área del sector en cada vehículo recolector” (Márquez Pérez, S. f, pág. 42). El macroruteo consiste en determinar el tamaño de cada una de las rutas (sectores) de forma que la cantidad de trabajo diario que realiza una cuadrilla sea similar al de cualquier otra, con el máximo de utilización de los recursos. El tamaño de cada una de las rutas, generalmente se determina en función del número de manzanas, kilómetros y generación de residuos.

Sobre un plano de la ciudad se busca dividir la recolección en grandes zonas lo más homogéneas posibles en cuanto a sus características de generación de residuos, topografía, tipo de residuos y cuyos límites estén delimitados por accidentes geográficos o por instalaciones urbanas. Así un río o una avenida de amplio tráfico servirán como límites. El objeto de esto es lograr una amplia fluidez dentro de las rutas. Para el caso específico de esta investigación, se cuenta únicamente con una macro ruta y corresponde al Casco Central Comercial de San José. Esto debido a que es un área que representa un espacio muy focalizado en la ciudad y representa un proyecto piloto.

2.3.1.2 Micro rutas

En cuanto a las micro rutas de recolección, Bonivento indica que “Es la descripción detallada a nivel de las calles y manzanas del trayecto de un vehículo o cuadrilla, para la prestación del servicio de recolección o del barrido manual o mecánico, dentro del ámbito de una frecuencia predeterminada” (Bonivento, 2005, pág. 16). Márquez, J. (S, f), indica que una micro ruta es “el recorrido específico que deben realizar los vehículos diariamente para cumplir con labor de recolección.” (Márquez Pérez, S. f, pág. 47). Como se puede ver, ambas definiciones la

hacen énfasis en el trazado específico de las rutas. Para el caso de esta investigación se trabajará más a fondo con el diseño de las micro rutas y se les conoce como subsectores.

Es necesario destacar que el establecimiento de las micro rutas no es una tarea fácil, ya que se debe establecer la ruta óptima entre dos puntos, tomando en cuenta el estado de la misma, vialidad, tráfico vehicular, horarios y frecuencias de recolección, características de los vehículos recolectores, entre otros. Actualmente existen diversos métodos y recomendaciones para encontrar la ruta óptima entre un punto y otro y que además cumpla con los objetivos y las restricciones establecidas. Estos métodos, que serán discutidos más adelante en el documento, permitirán contar con los pre-diseños factibles de las rutas que necesariamente deberán ser probados en campo. Para cumplir con los objetivos de la presente investigación, dichas micro rutas fueron definidas con base en tres criterios principalmente, número de predios, kilómetros de recorrido y generación de residuos sólidos valorizables.

2.3.1.3 Los sistemas de Información Geográfica (SIG) en el diseño de rutas de recolección de residuos

De acuerdo con Seguí *et al.* (2004), “Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como tecnología, constituyen además una extraordinaria aportación de carácter metodológico, que desde su origen, hace ya tres décadas, se encuentra estrechamente vinculada al análisis territorial de los sistemas de transporte.” (Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004, pág. 73). Las mismas autoras citan a Goodchild, (1987) quien define el concepto de SIG como:

Un sistema que utiliza una base de datos espacial para proporcionar respuestas a consultas de naturaleza geográfica. El SIG genérico puede entenderse como un número de rutinas espaciales específicas construida sobre un sistema de gestión de bancos de datos relacional. (Goodchild, 1987. Citado en (Seguí Pons & Martínez Reynés, 2004, pág. 73)

Cada una de las variables involucradas en el diseño de las rutas de recolección puede agregarse a un SIG, ya sea como una serie de información en los casos de población o tasa de generación, o como y dato geográfico, como por ejemplo la red vial para posteriormente interrelacionarlos entre sí. El uso de la tecnología SIG en el diseño de rutas de recolección de

residuos sólidos puede generar resultados positivos, ya que, dentro del diseño de las mismas, muchas de las variables involucradas son temporales, varían de un año a otro, o inclusive de una estación del año a otra, por lo que permite estar actualizando las rutas de recolección en caso de que sea necesario, lo cual resulta ser relativamente sencillo si se utiliza un SIG en comparación a otras técnicas.

Se consultaron algunos proyectos análogos a nivel internacional, en los cuales se logró identificar que el uso de SIG's en el diseño de las rutas de recolección ha generado resultados positivos, tal es el caso del proyecto *Análisis del Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG)* desarrollado por Gutiérrez (2008). Dicho proyecto se llevó a cabo en México y fue creado con el objetivo de proponer un procedimiento para diseñar rutas de recolección de residuos sólidos utilizando sistemas de información geográfica. El autor concluye que:

La aplicación de los sistemas de información geográfica resulta ser de gran ayuda en el análisis de diseño de rutas de recolección de residuos sólidos, ya que tradicionalmente el análisis se limita a minimizar el tiempo que se tarda el vehículo en los traslados de un punto a otro y cuantificar el tiempo que se emplea en el vaciado de tambos y canastas en las áreas de servicio y en el tiradero o relleno sanitario, para determinar el recorrido óptimo. (Gutiérrez Galicia, 2008, pág. 85)

Por otro lado, bajo el título *Sistemas de Información Geográfica Aplicados a Residuos Sólidos Urbanos*, estudiantes de ingeniería industrial de la Universidad de Vigo en España desarrollaron un proyecto con el objetivo de optimizar las rutas de recogida de residuos en el municipio de Bueu en la provincia de Pontevedra, España. Para lograrlo utilizaron un SIG mediante el cual buscaban integrar información referente de las rutas y características de la población, para obtener el camino más corto para los camiones encargados de la recolección. (Goicoechea Castaño & Goicoechea Castaño , s.f) Otro de los proyectos consultados fue la tesis sobre “*La optimización de rutas de recolección de desechos sólidos domiciliarios mediante uso de herramientas SIG*” elaborada por Cusco Picón. (2015). El proyecto consistió en brindar una contribución para mejorar el transporte y recolección de los residuos sólidos de la ciudad de

Cuenca, buscando una optimización de las rutas de recolección actuales mediante la herramienta de ArcGis llamada Network Analyst. (CUSCO Tenesaca & Picón Aguirre, 2015)

Los Sistemas de Información Geográfica, con sus diversas herramientas y funciones, han sido un aporte para el desarrollo de la geografía. La facilidad con la que permiten reunir, organizar, compartir y analizar la información espacial, ha favorecido la toma de decisiones, la planificación, el análisis y la gestión de datos geográficos. Al ser un instrumento que permite la gestión del territorio, los SIG han perfeccionado sus funciones para ofrecer una mayor gama de soluciones, entre las que se destaca la logística del transporte, tema clave en el desarrollo de este proyecto. En el ámbito de los transportes, los SIG facilitan el control del movimiento de los vehículos, ahorrarán los gastos operativos ocasionados por el desplazamiento vehicular y ayuda a la planificación de las rutas, obteniendo el máximo rendimiento de la flota vehicular al mismo tiempo que aumenta la vida útil de las unidades.

2.4. Residuos sólidos y su legislación vigente en Costa Rica

“Debido a un impacto poco significativo por parte del Plan Nacional de Manejo de Desechos de Costa Rica elaborado en el año 1991, a lo largo de estos años, se ha generado legislación protectora del ambiente” (Plataforma Interinstitucional, 2007, pág. 52), tal es el caso de leyes como la Ley Orgánica del Ambiente, la Ley de Vida Silvestre y la Ley de Biodiversidad, así como algunos reglamentos específicos en la materia. A pesar de la existencia de un Plan Nacional y una serie de Leyes y Reglamentos, hasta el año 2007 la legislación costarricense no contaba con instrumentos que reglamentaran una gestión integral de residuos sólidos (GIRS), más bien existía una dispersión normativa y traslapes de competencias entre distintos ministerios del gobierno. Es a partir de ese año que el Gobierno de Costa Rica decide incorporar la GIRS dentro de la normativa nacional.

Ley/ Plan/Política	Numero/ Fecha	Temas más relevantes para la GIRS
Política Nacional para Gestión Integral de residuos Sólidos	2011	Tiene como propósito definir el marco normativo acorde a las responsabilidades de los diferentes sectores, instituciones y organizaciones que trabajan con la gestión integral de residuos. Fomentar e implementar el tema de la gestión integral de

2010-2021.		residuos en programas de estudios formales e informales. Fortalecimiento de las municipalidades para la formulación e implementación de los Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos en cada cantón. Contribuir al desarrollo sostenible del hábitat humano mediante la protección, restauración, mejoramiento y uso del ambiente, para promover una adecuada calidad de vida.
Ley para la Gestión Integral de Residuos	Ley No. 8839. 13 de julio del 2010	Esta Ley tiene por objeto regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación.
Plan Nacional de Residuos Sólidos (PRESOL)	Marzo 2007	Garantizar que el manejo de todos los residuos generados en Costa Rica se realice de forma ambiental, social y económicamente adecuada. Aumentar la valorización de los residuos. Crear una base para inversiones futuras en la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS). Fomentar soluciones regionales y la cooperación entre gobiernos locales.
Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PMGIRS) del Cantón de San José	1 de diciembre, 2011	Fortalecer la capacidad institucional para garantizar la sostenibilidad en el proceso de gestión y manejo integral de los residuos sólidos. Fortalecer a través de la participación ciudadana la implementación del PMGIRS. Planificar la gestión integral de los servicios y las operaciones. Implementar el manejo integral de los residuos sólidos en el Cantón de San José, con la participación de los actores sociales, que coadyuve con la calidad ambiental y de vida de la población. Desarrollar un proceso de educación, información y comunicación, en el plano institucional y cantonal, que afirme los valores y acciones en materia de gestión integral de residuos sólidos que propicie una sociedad responsable, una mejor calidad de vida y con una cultura ambiental.

Tabla 2. Principal marco legal para la Gestión Integral de Residuos Sólidos en Costa Rica.

Fuente: elaboración propia a partir de Política Nacional para Gestión Integral de residuos Sólidos 2010-2021(2011), Ley para la Gestión Integral de Residuos (2010), Plan Nacional de Residuos Sólidos (PRESOL) (2007) y Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PMGIRS) del cantón de San José (2011).

Con respecto al ámbito de los residuos sólidos, el cuadro anterior presenta un resumen del principal marco legal-administrativo vigente y un breve análisis de lo propuesto legislativamente en Costa Rica. En el país, la estructura legislativa en el tema de residuos sólidos

está compuesta primeramente por la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, de la cual se desprende la Ley para la Gestión Integral de Residuos y por último, de esta Ley se desprenden el Plan Nacional de Residuos Sólidos y el Plan Municipal.

La Política para la Gestión Integral de Residuos está interrelacionada y fue precedida por el Plan de Residuos Sólidos Costa Rica (PRESOL), el cual surgió de la necesidad por resolver el problema de la deficiente gestión de los residuos sólidos y sus impactos ambientales y sanitarios negativos en el país. Con PRESOL se pretendió cambiar el paradigma al pasar de la cultura tradicional (sistema lineal) de manejo adecuado de los desechos a la cultura de la gestión integral de residuos sólidos (sistema cíclico).

La Ley para la Gestión Integral de Residuos es la más reciente incorporación a la legislación costarricense en la materia mediante la cual se busca un cambio de visión y un manejo ambientalmente adecuado de los residuos que se generan en el país. Ante la misma, las municipalidades serán responsables directas de la gestión integral de los residuos generados en su jurisdicción. Sin embargo, esta legislación está dirigida a involucrar en lo máximo posible a la población en general en los diferentes niveles y procesos de esta gestión. Se busca regular el uso eficiente de los recursos mediante la planificación y ejecución de acciones operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación.

Así mismo, la Constitución Política de Costa Rica en su artículo 169 y el Código Municipal en sus artículos 3 y 4 confirman que el gobierno y la administración de los intereses y servicios cantonales estarán a cargo del gobierno municipal, quien al mismo tiempo deberá prestar los servicios públicos municipales. A pesar de ello, las municipalidades actualmente desempeñan un papel poco participativo según el que se les asigna por ley, ya que no existe comunicación intermunicipal ni con otras instituciones de gobierno. Cabe resaltar que la legislación descrita anteriormente no es la única en materia de manejo de residuos sólidos. Existen una serie de leyes y otros reglamentos como lo es el Reglamento para el Manejo de Residuos Sólidos, Reglamento para el Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos e Industriales, Reglamento para el Manejo de Rellenos Sanitarios, Ley Orgánica del Ambiente, Ley General de Salud, entre otros. En este apartado, se describe una parte de la legislación existente, sin embargo, se podrá ampliar información en el anexo N°8.

2.5. Geografía y Gestión Integral de Residuos Sólidos

La revisión bibliográfica demuestra que son las ciencias ingenieriles las que se involucran primero en el tema de la gestión de residuos, siendo esto comprensible debido a la necesidad de contar rápidamente con soluciones tecnológicas de mayor escala y eficiencia. Posteriormente, se analizan y evalúan los aspectos económicos debido a la necesidad de conocer acerca de los costos de implementación de dichas tecnologías. Como tercer paso surge el tema de la localización de los rellenos sanitarios, el cual se torna complejo debido al rechazo generalizado por parte de la ciudadanía de instalarlos en lugares cercanos a sus residencias.

La población suele reaccionar con protestas y oposición ante la ubicación de un relleno sanitario en sus proximidades. Desde la oposición a que tales servicios se instalen en las cercanías de su domicilio, se han presentado expresiones como NIMBY (Not in My Backyard) lo que significa “No en mi patio trasero”, u otra expresión como LULU (Locally Unwanted Land Use) que significa “Uso del suelo localmente indeseable”. Incluso expresan que la situación ha llegado al punto de anteponerse absolutamente a la creación de tales centros en ningún lugar, al considerar que es necesario llevar adelante políticas de reciclado absoluto y nula generación de residuos donde se generan expresiones como BANANA (Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anything). (Bosque Sendra, y otros, 1999, pág. 296)

Las investigaciones geográficas se han relacionado con los residuos sólidos urbanos principalmente en el tema de modelos de localización óptima de rellenos sanitarios, incluso es el área de la GIRS donde se encuentra mayormente legitimada. Sin embargo, los residuos forman parte de un sistema que corresponde a la trayectoria que ejerce el residuo al momento que es generado. Este recorrido es el que se reconoce en la mayoría de los estudios basados en la gestión integral, como manejo cíclico del residuo dentro de un sistema de gestión integral. Si se realiza una analogía, éste se comporta al igual que un insumo dentro de una cadena productiva, pasando por distintas fases de tratamiento hasta su desaparición, requiriendo ser trasladado de un lugar a otro.

Los distintos estadios del residuo requieren un estudio y un tratamiento distinto por la naturaleza del proceso que se torna cada vez más dinámico debido a las variables que influyen en

su comportamiento, como por ejemplo los factores que influyen en su generación, manejo y disposición. Lo anterior hace que el residuo posea y asuma una expresión económica y territorial diferente en cada una de esas realidades. Esas distintas fases que adquiere el residuo hacen que hoy sea muy propio del análisis geográfico. “Algunos geógrafos franceses sostienen que los residuos son objetos completamente geográficos en la medida que generan territorios, paisajes, flujos, conflictos, sectores económicos y movilidades a lo largo de su trayectoria.” (Sepúlveda Vargas, 2013, pág. 28)

Por su parte, en el sistema de gestión integral de residuos intervienen distintos actores que interactúan ocupando espacios geográficos y administrativos en diferentes niveles, posibilitando una escala de análisis variada. Todos estos puntos de interpretación dan cuenta de la complejidad del sistema completo de los residuos en el cual se introduce la geografía como ciencia y disciplina, con la posibilidad de contribuir a su análisis desde una dimensión temporal y espacial.

El residuo, que es el objeto de estudio en dicho sistema, se traslada de un punto a otro siguiendo una trayectoria que puede ser rastreada en el espacio desde su generación y hasta su disposición final (gestión lineal) o retorno al proceso productivo (gestión cíclica). En este contexto, el sistema de gestión cíclica de los residuos posee relación con la movilidad y el comportamiento de los medios de transportes que lo sustentan, lo que hace que esté muy relacionado con aspectos de la geografía de transportes, que forman parte de una subdivisión de las teorías económicas espaciales y de la geografía económica. (Sepúlveda Vargas, 2013, pág. 32)

La misma autora recalca que la operación de la recolección de los residuos es, dentro del sistema de gestión integral, la que aborda el traslado principal de los residuos y cuyos flujos de movimiento pueden ser medidos y evaluados económica y espacialmente. La actividad de recolección posee ciertas relaciones espaciales que, entre otros aspectos, dependen básicamente de las características del medio de transporte que lo sustenta, como también de las características del entorno en el que se mueve. Desde un punto de vista de la geografía espacial, “se reconoce en el sistema del ciclo de los residuos, los cambios de ciertos patrones de distribución de los generadores y de los lugares de disposición, como las interacciones espaciales entre dichos puntos, y que tienen un impacto en la gestión financiera de un municipio” (Sepúlveda Vargas,

2013, pág. 33). Además, indica que un determinado patrón de distribución espacial de los residuos está asociado a las motivaciones propias de una sociedad de consumo que se mueve y localiza en el espacio para satisfacer ciertas necesidades de sobrevivencia u ocio, quienes posteriormente pasaran a transformarse en los generadores de residuos, y que marcaran una demanda espacial del servicio de recolección.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque y tipo de investigación

Desde el punto de vista metodológico, el presente estudio tiene un enfoque mixto ya que busca la complementariedad entre lo cuantitativo y cualitativo. Como indica Barrantes (1999) “ambos enfoques pueden vigorizarse uno al otro para brindar la percepción que ninguno de los dos por separado podría conseguir” (Barrantes Echeverría, 1999, pág. 73). La investigación se desarrolló con base a un diseño exploratorio secuencial comparativo. El mismo se define como un diseño “en cuya primera fase, se recolectan y se analizan los datos cualitativos, para explorar un problema y elaborar una base de datos; y luego, se recolectan y se analizan los datos cuantitativos y se elabora otra base de datos” (Barrantes Echeverría, 2013, pág. 247). Se permite dar prioridad a uno u otro enfoque dependiendo del estudio, sin embargo, finalmente se deben integrar mediante una interpretación del informe final.

Dentro de las variables cualitativas incorporadas en este proyecto destacan la vialidad del área de estudio, morfología, restricciones de paso y origen de los residuos sólidos valorizables. Esto permitió elaborar una base de datos con la información y la cual se incorporó al Sistema de Información Geográfica. Desde el punto de vista cuantitativo, se empleó la variable cuantitativa de generación total según tipo de material (papel y cartón, plástico), producida en el sector comercial del casco central comercial de San José. Los datos procedieron del Estudio de Caracterización mencionado en apartados anteriores, así mismo, estos datos fueron incorporados en el SIG para cada uno de los predios. Es decir, al Shape-file de predios del sector comercial, se le incorporó una columna donde se indica la cantidad de papel, cartón y plástico que produce cada uno de ellos diariamente.

Ambos enfoques fueron integrados a través del Sistema de Información Geográfica, ya que se incorporaron variables cuantitativas como la generación de residuos, con variables cualitativas como pendiente y vialidad, para llevar a posteriormente visualizar y analizar los datos. Mediante este proceso se obtuvo una propuesta de micro rutas de recolección que obedecen a la generación de residuos valorizables en el área de estudio. Posteriormente, se introdujo al SIG las demás variables cualitativas con el fin de que el modelo cuente con la vialidad, la morfología y demás variables mencionadas anteriormente para el diseño óptimo de las micro rutas.

Desde el punto de vista epistemológico, la investigación se desarrolla desde el enfoque de la geografía aplicada, cuya importancia se centra en la búsqueda de soluciones a problemas reales, en este caso a la propuesta de rutas de recolección de residuos sólidos desde el ordenamiento territorial y la gestión ambiental.

La geografía aplicada se define como “la síntesis de los conocimientos existentes y los principios geográficos para atender las necesidades específicas de un cliente en particular, por lo general una empresa, gobierno o agencia pública” (Pacione, 2011, pág. 9). Por otro lado, Pacione, M. (2011) define la geografía aplicada como “la aplicación de conocimientos y habilidades geográficas para la resolución de problemas sociales, económicos y ambientales” (Pacione, 2011, pág. 10).

El tipo o alcance de la investigación se caracteriza por ser un estudio de tipo exploratorio-descriptivo. Las razones para señalar que la investigación posee un fundamento exploratorio se debe a que, en Costa Rica el tema de los residuos sólidos se ha abordado con más profundidad en las últimas décadas, no sucede lo mismo con el tema de diseño de rutas de recolección de residuos sólidos valorizables. Las estrategias para el manejo de residuos se han concentrado principalmente en la recolección de residuos de forma generalizada y sin discriminación, así como también en la disposición final de los mismos. Dentro del sistema de gestión integral se está trabajando únicamente en las dos etapas mencionadas anteriormente. Las etapas restantes del sistema no se han abordado de forma clara, por lo que la presente investigación es un aporte exploratorio que contempla el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos valorizables, tomando como base los resultados del estudio sobre caracterización y tasas de generación realizado para el cantón de San José en el año 2014.

3.2. Etapas de la investigación

En este apartado se describe detalladamente los aspectos y fases necesarias para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación. Primeramente, se exponen cada una de las etapas que componen la investigación, las cuales se resumen mediante un gráfico metodológico. Posteriormente, se procede a describir de forma detallada y con base a dicho diagrama el proceso que se llevó a cabo para cumplir con cada una de dichas etapas.



Diagrama 1. Diagrama metodológico

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.2.1 Fase I. Bases de datos geospaciales para el diseño de las rutas

A continuación se describe el proceso que permitió la depuración de la base de datos proveniente del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos en el cantón de San José, el cual fue realizado para la MSJ mediante contratación del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional en el año 2014, en adelante referido como Estudio de Caracterización. Cabe resaltar que dicho proceso de depuración se realizó con el fin de generar una nueva base de datos que incluyera los datos de generación total de papel, cartón y plástico por predio y según actividad económica para el Casco Central Comercial del cantón de San José. Asimismo, se toma en cuenta el proceso que se llevó a cabo para la recopilación y validación de datos espaciales correspondientes a vialidad, curvas de nivel y restricciones de paso dentro del área de estudio.

3.2.1.1 Depuración base de datos del Estudio de Caracterización

La base de datos que se utilizó como base para este estudio fue un resultado del Estudio de Caracterización de Residuos sólidos del cantón de San José. La misma cuenta con datos de generación de residuos sólidos ordinarios tanto para el sector comercial como residencial. Debido a lo anterior, se procedió a realizar un filtro que permitió obtener únicamente la información correspondiente a los distritos comprendidos en el área de estudio (Carmen, Merced, Catedral y Hospital). En vez de crear una base de datos nueva, se consideró la información del Estudio de Caracterización lo que facilitó combinar ciertos datos para obtener la información requerida. El dato correspondiente a la identificación de los predios (ID Predio) obtenida de dicho estudio, sirvió de base para relacionarlo con la información sobre generación de residuos valorizables.

Seguidamente, contemplando únicamente los datos correspondientes a los distritos del área de estudio, se eliminó la información que corresponde a generación de residuos sólidos ordinarios y otras columnas con información que no necesarias para el caso en estudio, tales como: observaciones, área, generación de residuos sólidos ordinarios en el sector comercial y residencial, entre otros. Las columnas que se obtuvieron del proceso anterior fueron ID PREDIO,

actividad económica, código por actividad económica, unidades múltiples, promedio de empleados por actividad económica y generación de papel, cartón y plástico por día, según categorías del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos. Estos campos son de suma importancia incluirlos en la tabla para completar satisfactoriamente la presente investigación, ya que con dicha base fue posible obtener los datos de generación por tipo de material. A continuación, se describe cada uno de los campos dentro de la base de datos:

- **Id predio**

Para el caso concreto de esta investigación, predio hace referencia a una porción de terreno que se encuentra espacialmente delimitada y que puede o no estar construida. Para el desarrollo de este proyecto, se contemplaron únicamente los predios correspondientes al sector comercial y en los cuales se desarrollara alguna actividad productiva. Un predio puede ser el área donde se encuentra un centro comercial, un edificio de apartamentos o un taller mecánico. Para el caso de los dos primeros ejemplos, cabe resaltar que es un único predio pero puede presentar múltiples actividades. El ID predio consiste en un código asignado por la Municipalidad de San José (MSJ) para contabilizar cada uno de los predios que existen según distrito. Este código inicia en 1 y termina según la cantidad de predios existentes en el área.

- **Actividad económica y su código**

La información se obtuvo del Estudio de Caracterización. Con la colaboración de la MSJ, se adquirió la actividad económica a la cual se dedica cada uno de los predios del cantón, agrupándolas posteriormente en 24 categorías, 3 de ellas para el sector residencial. Cada una de las categorías mencionadas fue dotada de un número entre 1 y 24, en donde los tres primeros corresponden al estrato bajo, medio y alto del sector vivienda. Es importante destacar que para el presente proyecto se tomaron en cuenta únicamente los predios del sector comercial, los códigos entre cuatro y veinticuatro (Ver anexo 6).

- **Unidades múltiples**

Unidades múltiples se les llama a los predios que cuentan con más de una actividad económica entre los que se pueden encontrar torres de condominios, centros comerciales, plazas, entre otras. Se consideró dicha información debido a que el trabajo de observación en campo y

mediante SIG permitió distinguir un único predio, sin embargo, en el interior de dicho predio existe una variedad de actividades que por sus características generan residuos sólidos valorizables que también deben ser contabilizados y considerados en las rutas de recolección propuestas. La MSJ a través de un estudio de habitabilidad logró determinar cada una de las actividades que se desarrollan por cada predio, en los casos donde efectivamente se lleve a cabo más de una actividad.

- Promedio de empleados por actividad económica y por distrito.

Esta información se obtuvo del Sistema Centralizado de Recaudación de la Caja Costarricense de Seguro Social (SICERE). En dicha base de datos se detalla la cantidad de trabajadores registrados por patrono y que laboran dentro del cantón de San José. Posteriormente, dependiendo de la actividad económica a la que se dedicaba cada patrono, se agruparon dentro de las 21 categorías del sector comercial del Estudio de Caracterización. Finalmente, del total de patronos existentes dentro de una misma categoría, se obtuvo un promedio de empleados que representara cada una de las categorías.

- Generación de papel, cartón y plástico por día, según categorías y distrito.

El Estudio de Caracterización logró determinar el porcentaje de generación según tipo de residuo valorizable generado por día en el sector comercial de cada distrito en San José, ver tabla N° 2.

Caracterización en porcentaje	Carmen	Merced	Hospital	Catedral
Papel y Cartón (%)	11.29	31.45	28.37	27.59
Plástico (%)	11.43	25.71	18.78	10.32

Tabla 3. Caracterización de residuos sólidos comerciales en el distrito Carmen, Merced, Hospital y Catedral, en porcentaje, 2014.

Fuente: Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos, 2014

Además, se determinó la tasa de generación de residuos sólidos ordinarios en kilogramos por empleado por día (Kg/empleado/día) y según actividad económica. Con el fin de conocer de ese total de generación de residuos sólidos ordinarios cuánto correspondía a generación de papel, cartón y/o plástico por empleado por día y según distrito, se procedió a utilizar la siguiente fórmula:

$$GEM = GTO_{e/d} * \%GT_{e/d}$$

GEM: Generación por empleado según tipo de material.

$GTO_{e/d}$: Generación total de residuos sólidos ordinarios por empleado y día.

$\%GT_{e/d}$: Porcentaje de generación según tipo de material por empleado y día.

Posteriormente, los resultados obtenidos de la formula anterior se multiplicaron por el promedio de empleados que se registra en cada actividad económica y por la cantidad de actividades múltiples que se encuentran en un mismo predio. De esta forma se obtuvo el dato correspondiente a la generación por predio según tipo de material valorizable.

$$GPMV = (U_m * P_e) * GTMe$$

GPMV: Generación por predio según tipo de material valorizable.

U_m : Unidades múltiples.

P_e : Promedio de empleados según actividad económica.

$GTMe$: Generación según tipo de material por empleado.

3.2.1.2 Análisis espacial del sector comercial

A continuación se expone una serie de procedimientos que fueron necesarios para realizar el análisis geográfico de los datos existentes y que permitieron comprender la distribución espacial de la generación de residuos sólidos valorizables, reduciendo la información de una escala distrital mediante un filtro para que presentara los datos únicamente del área de estudio. Para completar satisfactoriamente esta etapa, se realizaron distintos procesos mediante el uso de SIG dentro de los cuales se encuentra la relación de tablas, creación de Shape-files con predios del sector comercial, selección de predios dentro del límite del área de estudio, entre otros procesos que se ilustran en el diagrama 2.

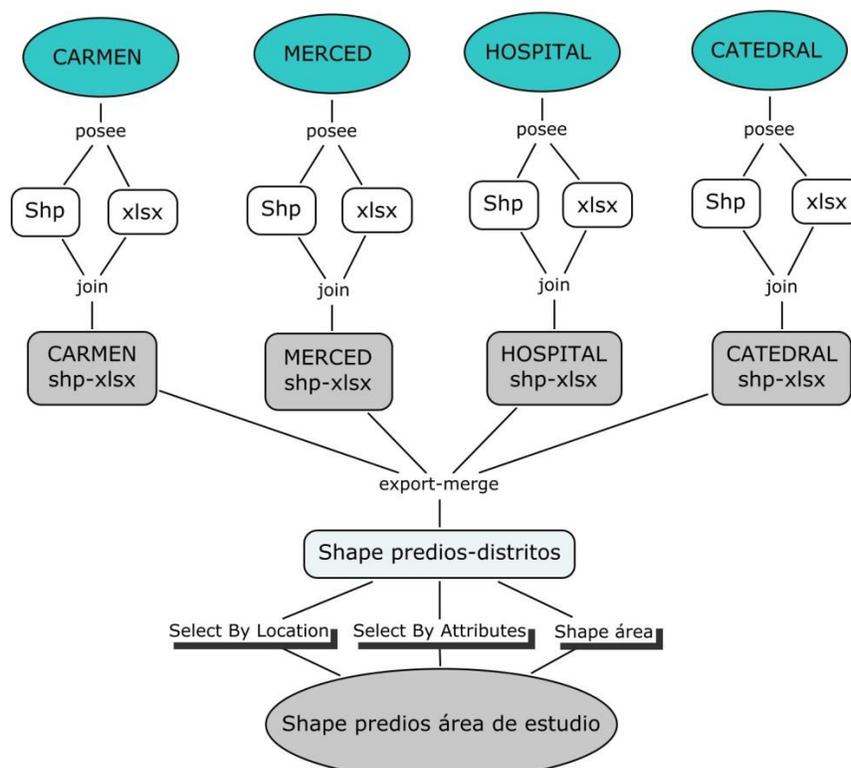


Diagrama 2. Relación de tablas mediante el uso del SIG

Fuente: Elaboración propia, 2016

Inicialmente se contó con cuatro Shape files (Shp) con los predios y cuatro tablas de Excel (xlsx) con la información acerca de la generación de residuos valorizables, uno para cada distrito. A través de la herramienta *join* se realizó una relación de tablas, mediante el campo ID_PREDIO. El resultado de dicha relación fue cuatro Shape-files cada uno de ellos con información del Estudio de Caracterización (archivo xlsx) entre las que se encuentra la generación de residuos sólidos valorizables y los atributos del Shape file de cada uno de los predios en los cuatro distritos involucrados.

Posteriormente, se exportaron y se crearon cuatro nuevos Shapes los cuales mediante la herramienta *merge* se unieron y formaron uno solo. El resultado de este proceso fue una nueva capa donde se encontraban unidos los cuatro distritos y con la generación de residuos sólidos valorizables correspondiente. El Shape file con la forma del área de estudio se interpuso en el SIG con el Shape-file resultante del proceso anterior. Se procedió a seleccionar los predios del sector comercial, los que contarán con el código del 4 al 24 (*Select By Attributes*) y que al mismo tiempo se localizan dentro del área de estudio (*Select By Location*).

3.2.1.3 Procesamiento y presentación de datos geospaciales

A continuación se integran los datos de vialidad, curvas de nivel y restricciones de paso presentes en el área de estudio, los cuales fueron suministrados por el Departamento de Servicios Ambientales (DSA) de la MSJ. La incorporación de dicha información fue necesaria para conocer las particularidades del área de estudio que podría incidir significativamente en el trazado óptimo de las rutas y por ende ser analizados con detenimiento. Mediante la implementación de SIG y giras de campo, se analizaron espacialmente aspectos como conexión de vías, giros no permitidos, puentes angostos, pasos a desnivel, pendientes, entre otros de gran relevancia para el óptimo diseño de las micro rutas.

- **Shape-file de vialidad**

A la capa vialidad se le realizó una revisión topológica en el SIG mediante la herramienta *Topology*. Lo anterior sirvió para verificar que la vialidad tuviera interconexión. Los resultados fueron positivos al no contar con ningún tipo de error. No obstante, con la ayuda de Arias Garro (2015) del DSA, se eligieron algunos de los tramos viales sobre los cuales pudiera existir algún cambio de sentido vial, sin embargo, no se obtuvieron nuevos datos. Este proceso permitió contar con una capa de vialidad conectada idóneamente y que permite el tránsito de los camiones de recolección de residuos sólidos valorizables.

- **Shape-file de restricciones de paso**

Los datos fueron suministrados por el DSA y se encuentran actualizados, caracterizados y georreferenciados para todo el cantón de lo contrario se pueden presentar inconvenientes en el recorrido de los camiones recolectores de residuos sólidos ordinarios. Este Shape-file se interpuso en el SIG junto con el Shape file del área de estudio para determinar su existencia , segmentos viales que por sus características no permite el tránsito de un vehículo recolector.

- **Shape-file de curvas de nivel**

Para los objetivos del presente proyecto fue relevante conocer las pendientes en porcentaje que se encuentran dentro del área de estudio, ya que es una variable que incide directamente en el trazado óptimo de las rutas, pero también en la optimización de los recursos municipales, lo

que permite conocer vías con alta pendiente sobre las cuales los vehículos recolectores no deberían transitar cargados y en contra de la pendiente, lo que incide en un menor desgaste del vehículo, menor tiempo de recorrido, entre otros. Con la capa de curvas de nivel se realizó un mapa de pendientes que permitió mostrar a lo largo del área de estudio, cuales son las zonas con porcentajes de pendientes desfavorables para el trazado de las rutas. A este mapa se le agregó la capa de vialidad con el fin de conocer cuáles son las vías que se encuentran en zonas donde se debe prestar mayor atención. (Ver mapa 3).

El conocimiento y análisis de dichos resultados permitió diseñar las micro rutas de tal forma que el camión recolector, en la medida de lo posible, transite a favor de la pendiente para reducir el esfuerzo del mismo y los costos de operación. Para elaborar el mapa de pendientes se tomó en cuenta las categorías de pendiente en función del relieve establecidas por el Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM publicado en La Gaceta el 9 de noviembre de 1988, las cuales se exponen a continuación (Ver tabla 3):

Descripción	Pendiente en porcentaje
Plano o casi plano	0 – 3 %
Ligeramente ondulado	3 – 8 %
Moderadamente ondulado	8 – 15 %
Ondulado	15 – 30 %
Fuertemente ondulado	30 – 60 %
Escarpado	60 - 75%
Fuertemente escarpado	75 % <

Tabla 4. Categorías de pendiente en función del relieve.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM, Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2016)

3.2.2 Fase II. Modelo teórico-empírico para la elaboración de rutas óptimas de recolección

Para alcanzar satisfactoriamente esta etapa se procedió a realizar una investigación bibliográfica que permitió analizar distintas metodologías y proyectos análogos exitosos a escala nacional e internacional para la creación de rutas óptimas de recolección de residuos sólidos valorizables en áreas urbanas, mediante los cuales se logró determinar las distintas variables que fueron tomadas en cuenta para el diseño de las mismas. El análisis y estudio de metodologías existentes y proyectos exitosos brindó información clave para la construcción de un modelo adaptable a la realidad costarricense, particularmente del cantón josefino, para la propuesta de micro rutas de recolección.

El objetivo principal de esta etapa fue definir una metodología para el diseño idóneo de las rutas, motivo por el cual, se realizó la búsqueda de experiencias exitosas con el fin de conocer y aprender de las metodologías existentes o proponer una que pudiera ser implementada en el caso en estudio. Dentro de esta etapa se consideraron datos de soporte como resultados de entrevistas a especialistas, infraestructura vial, morfología, restricciones de paso, catastro y subsectores que son atendidos por las micro rutas actuales para la recolección de residuos sólidos ordinarios. Estos datos fueron obtenidos a partir de la consulta de fuentes primarias y secundarias. Además, se ejecutaron técnicas e instrumentos de investigación cuantitativa y cualitativa en geografía para la recolección de dicha información.

La información primaria procedió de datos directos obtenidos por medio de la aplicación de entrevistas no estructuradas. Para la aplicación de esta técnica se contempló la definición que expone Taylor Bogdan citado por Barrantes (1999), quien define la entrevista no estructurada como:

Son reiterados encuentros cara a cara entre entrevistador y entrevistados, dirigidos hacia la comprensión de las perspectivas que tienen los informantes respecto de sus vidas, experiencias o situaciones, tal como las expresan con sus propias palabras. Es una especie de conversación entre iguales, y no un intercambio formal de preguntas y respuestas. El investigador es el principal instrumento de la

investigación, y no un protocolo o formulario de entrevista. (Barrantes Echevarría, 1999, pág. 208)

Para la aplicación de las entrevistas se identificaron informantes claves tanto de cuadrillas de recolección como de los departamentos administrativos a cargo del servicio de recolección actual en distintas municipalidades. Además, dentro del trabajo diario de los funcionarios municipales, se procedió a realizar diferentes preguntas dirigidas a conocer las características reales relacionadas con el planteamiento de la presente investigación. (Ver anexo N°5).

La información de fuentes secundarias procedió de textos físicos y digitales, así como de datos en formato JPEG y Shapefile que se encuentran en la MSJ. Dentro de la investigación se definieron las macro y micro rutas de recolección, los sectores y subsectores que deben ser atendidos por el trazado de las rutas.

Dentro de esta investigación se procedió a crear las micro rutas, tomando en cuenta principalmente la generación de residuos, pero además se tomó en cuenta la cantidad de predios comerciales y la cantidad de kilómetros de red vial que debían ser recorridos. Es importante destacar que la generación total de residuos valorizables se obtuvo del Estudio de Caracterización y que los datos se encontraban en toneladas. Sin embargo, para calcular la cantidad de vehículos necesarios para recolectar el total de residuos generados, se debió trasladar de toneladas a metros cúbicos tomando en consideración la densidad de cada tipo de material. En la tabla N°4, se muestran las densidades tomadas en cuenta para realizar los cálculos mencionados anteriormente.

Tipo de material	Densidad kg/m³
Papel y Cartón	69.5
Plástico	65

Tabla 5 Densidad según tipo de material valorizable.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1984)

Conociendo las densidades, se procedió a utilizar la siguiente fórmula para determinar los metros cúbicos de material valorizable:

$$x = \frac{(MV \text{ kg} * m^3)}{Dm \text{ kg}}$$

X: Metros cúbicos de material valorizable.

MV kg: Material Valorizable en kilogramos.

m³: Equivalencia en m³ de MV kg.

Dm: Densidad según tipo de material.

Para conocer los metros cúbicos a los que equivale una cantidad “X” de Kg, se deben sustituir en la fórmula anterior: MV por la cantidad en kilogramos de papel, cartón y plástico que se generan en la zona de estudio. Además, se debe sustituir Dm por la densidad según tipo de material visualizando la tabla N°4.

Cabe destacar que en la información obtenida de la MSJ no refleja el dato indicando cuál es el frente de cada uno de los predios, por ende, no se tiene certeza sobre a cuál de los cuatro lados de una cuadra disponen los comercios sus residuos. Para subsanar esta deficiencia, el diseño de las rutas contempló el tránsito de los vehículos recolectores en cada uno de los segmentos de calle que se ubican dentro del área de estudio con el fin de que las micro rutas de recolección brindaran el servicio en toda el área de estudio.

El resultado de esta fase fue un modelo, al cual es posible incorporarle variables como vialidad, pendiente, restricciones de paso y subsectores, lo anterior con el fin de generar un trazado óptimo de las micro rutas y que se tomaran en cuenta dichas variables. Asimismo, para la creación del modelo se tomó en cuenta la información obtenida del análisis de diferentes experiencias y proyectos análogos a esta investigación.

3.2.3 Fase III. Propuesta de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables

El desarrollo de esta fase tiene como propósito principal emplear el modelo creado en la etapa anterior para el diseño y trazado idóneo de las rutas en cada uno de los subsectores ya predefinidos. Asimismo, se realizaron distintos análisis para validar dicho trazado y con ello se procedió a generar cartografía para ser empleada y posteriormente validada mediante giras de campo. Primeramente, se procedió a completar el modelo creado para el diseño óptimo de micro

rutas de recolección de residuos con los datos obtenidos de procesos realizados en etapas anteriores y ejecutarlo. En este caso, se desplegaron los Shapes-files de vialidad, pendientes, subsectores y fotografías aéreas del área de estudio en el software ArcGis. Se tomaron en consideración dichos datos con el fin de que el trazado de las micro rutas no coincidiera con accidentes geográficos presentes en el área de estudio ni incidiera negativamente en el tránsito de los camiones recolectores.

El análisis espacial y trabajo de campo se realizó en procura de un resultado idóneo que permitiera la optimización de los recursos municipales. El presente proyecto permitió trazar las rutas de recolección de forma que los camiones recolectores no inviertan extensos periodos de tiempo para rodear un accidente geográfico con el fin de atender un sector que perfectamente pueda ser atendido en otra micro ruta.

Además, se planificó que los camiones recolectores no ascendieran por sectores de mediana o alta pendiente cuando transportaban altas cantidades de residuos recolectados y que el tránsito sea a favor de la pendiente. Al considerar estas variables, se colaboró en la disminución del consumo de combustible, desgaste del vehículo, tiempo de recorrido, costo de mano de obra, entre otras situaciones que repercuten negativamente en el óptimo desempeño del servicio. Habiendo realizado los análisis correspondientes, se procedió a generar cartografía del área de estudio y proponer los recorridos de las micro rutas, lo cual fue la base para validar los resultados mediante trabajo de campo.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

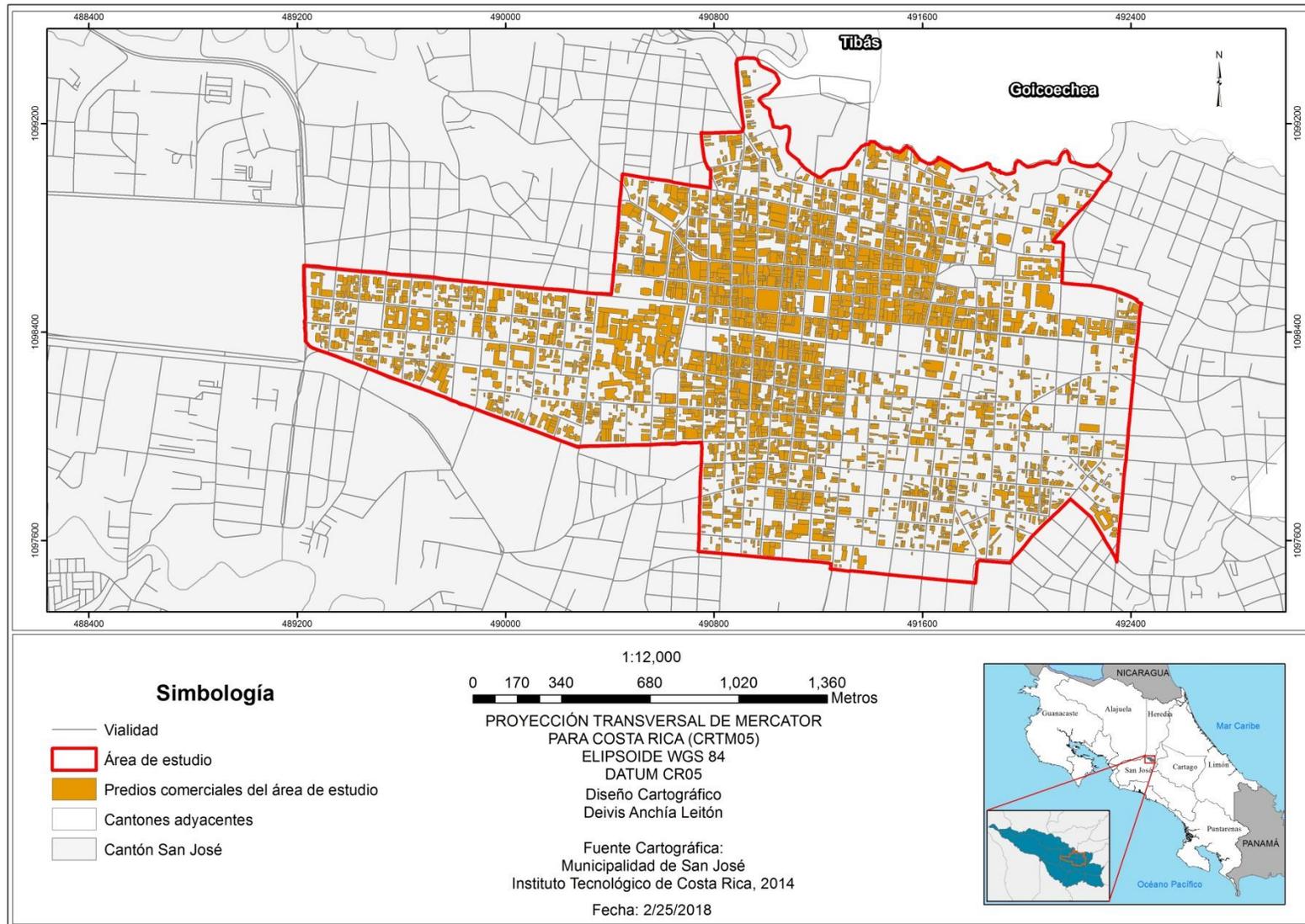
El presente capítulo tiene la finalidad de exponer los resultados obtenidos a partir del desarrollo de las diferentes etapas planteadas anteriormente. Primeramente, se exponen los resultados del proceso de construcción de las bases de datos geoespaciales. Seguidamente, se exponen los resultados del modelo para el diseño de micro rutas óptimas y finalmente, se muestran las micro rutas resultantes de la aplicación del modelo creado.

4.1. Bases de datos geoespaciales

Los resultados obtenidos del proceso de depuración de la base de datos proveniente del estudio de caracterización muestran que se genera diariamente un total de 40.9 toneladas de papel y cartón y 25.9 toneladas de plástico. Se debe destacar que dicha generación es de los cuatro distritos en los cuales se encuentra el área de estudio, a saber: El Carmen, Merced, Hospital y Catedral. El Casco Central Comercial de San José (Área de estudio), cuenta con una extensión territorial de 10.77 km², lo que representa un área relativamente pequeña si se compara con la extensión total del cantón. En ella se localizan aproximadamente 3 274 predios que corresponden a negocios comerciales como se observa en el mapa N°2, donde se evidencia que existe una alta densidad de establecimientos comerciales a los cuales se les debe brindar un servicio de recolección de materiales valorizables.

Los cálculos realizados indicaron que dentro del área de estudio se generan aproximadamente 23 800 kilogramos de papel y cartón y 17 120 kilogramos de plástico diariamente. Lo que se traduce en 342.45 m³ de papel y cartón y 263.38 m³ de plástico al día. Según indicó Arias Garro (2016), la capacidad volumétrica de los vehículos recolectores de la MSJ varía entre 15 y 23 m³. Lo anterior indica que para brindar un servicio de recolección eficiente a los predios comerciales dentro del área de estudio, la Municipalidad de San José debe disponer de la capacidad de aproximadamente 15 vehículos para recolectar papel y cartón y 11 para el plástico, tomando en cuenta que utilizaran los vehículos de mayor capacidad. Es importante mencionar que se trata de un escenario del cien por ciento de cobertura, siempre y cuando los predios comerciales separen y dispongan sus residuos hacia el servicio brindado por la municipalidad.

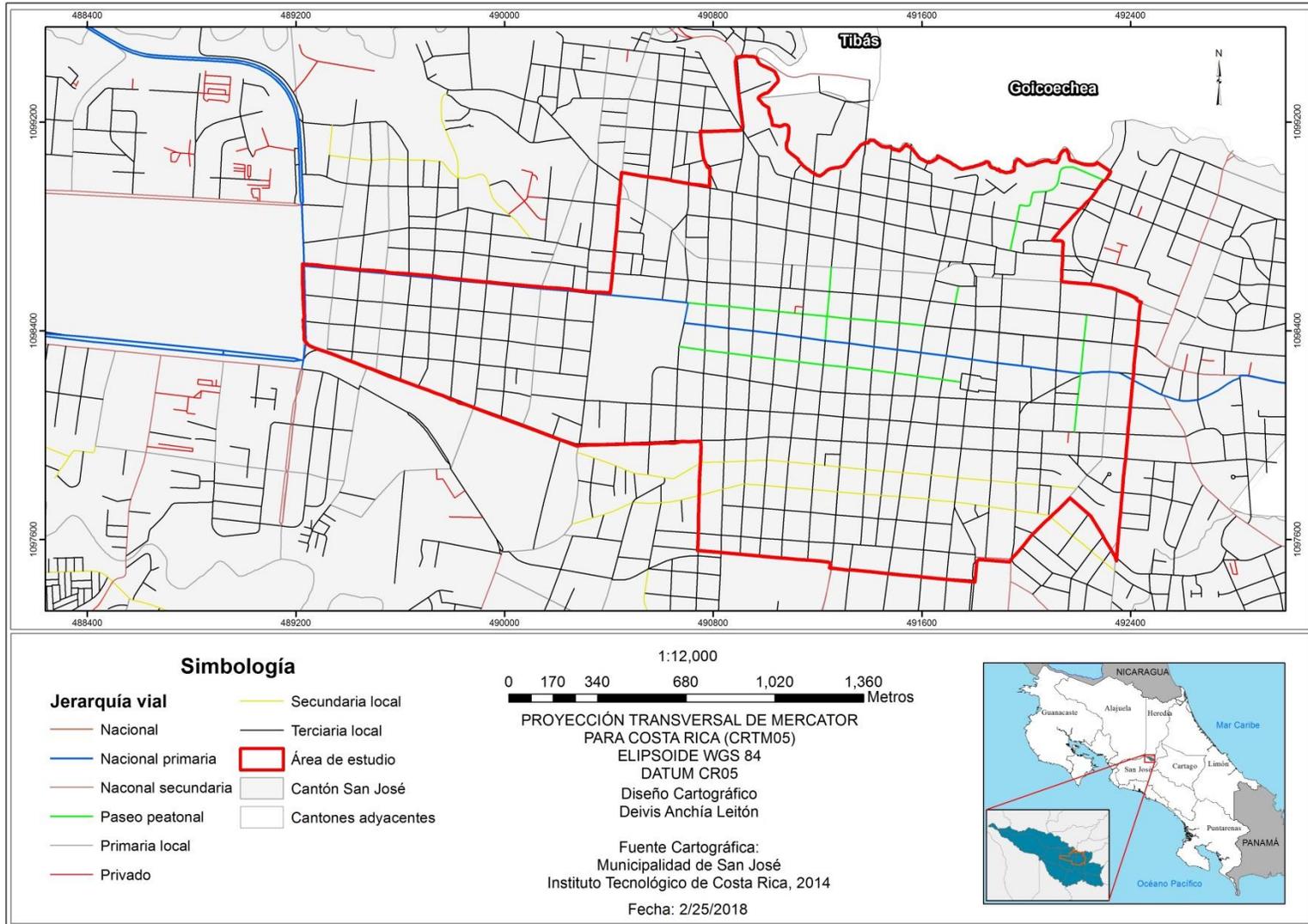
Mapa 2 Predios comerciales del Casco Central Comercial del cantón de San José, 2017



El mapa N°2 muestra que la mayor cantidad de predios comerciales, así como los de mayor tamaño, presentan tendencia a distribuirse en la zona central y norte del área de estudio, zona donde se encuentran las principales vías de comunicación y donde existe la mayor cantidad de paseos peatonales. Cabe destacar que entre las actividades encontradas en dicha zona se encuentran bancos, hospitales, restaurantes, hoteles, almacenes, entre otros. Hacia los extremos del área de estudio, se puede ver que existen predios en menor escala y menos concentrados, los cuales desarrollan actividades como talleres automotores, venta de abarrotes, sodas, entre otros. Es importante recalcar que los predios comerciales que se logran observar en el mapa N°2 cuentan con los datos de generación total de papel, cartón y plástico a nivel de la tabla de datos respectiva. Dicha información fue utilizada mediante procesos en SIG para obtener los resultados de etapas posteriores.

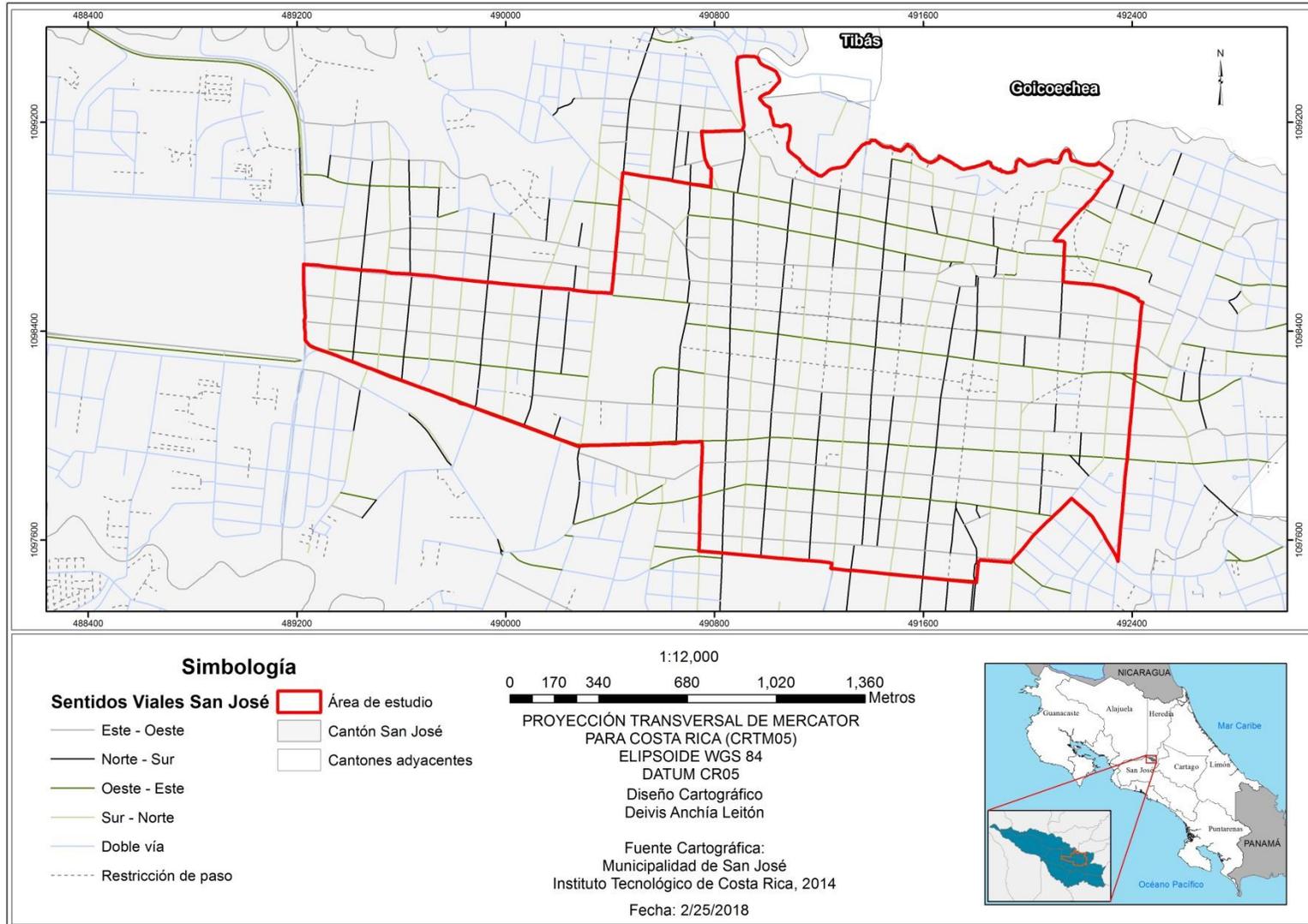
En cuanto a la vialidad, se determinó que el área de estudio presenta una malla vial con cuadrantes bien definidos en la mayoría de su extensión, con excepciones en el costado noroeste y suroeste principalmente (Ver mapa N°3). Esta característica tiene la capacidad de influir positivamente en el servicio de recolección, ya que los vehículos recolectores en muy pocas ocasiones deberán brindar servicio en vías sin salida y de difícil acceso.

Mapa 3 Red vial del Casco Central Comercial del cantón de San José, 2017



Como se observa en el mapa N°3, dentro del área de estudio se encuentran vías con distintas jerarquías: nacional primaria, paseo peatonal, primaria local, secundaria local y, en mayor cantidad, terciarios locales. Esto evidencia que en el interior del Casco Central Comercial de San José se presenta una alta conexión de vías y un excelente acceso desde cualquier ubicación, sin dejar de lado la alta posibilidad de traslados hacia zonas externas al área de estudio. Se presentan algunas restricciones de tránsito para los vehículos en general y se debe a que existen vías privadas donde no se autoriza el acceso al público. Para el diseño de las micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables, se definió en conjunto con el DSA de la MSJ, las vías con restricción para el tránsito de camiones recolectores. (Ver mapa N°4).

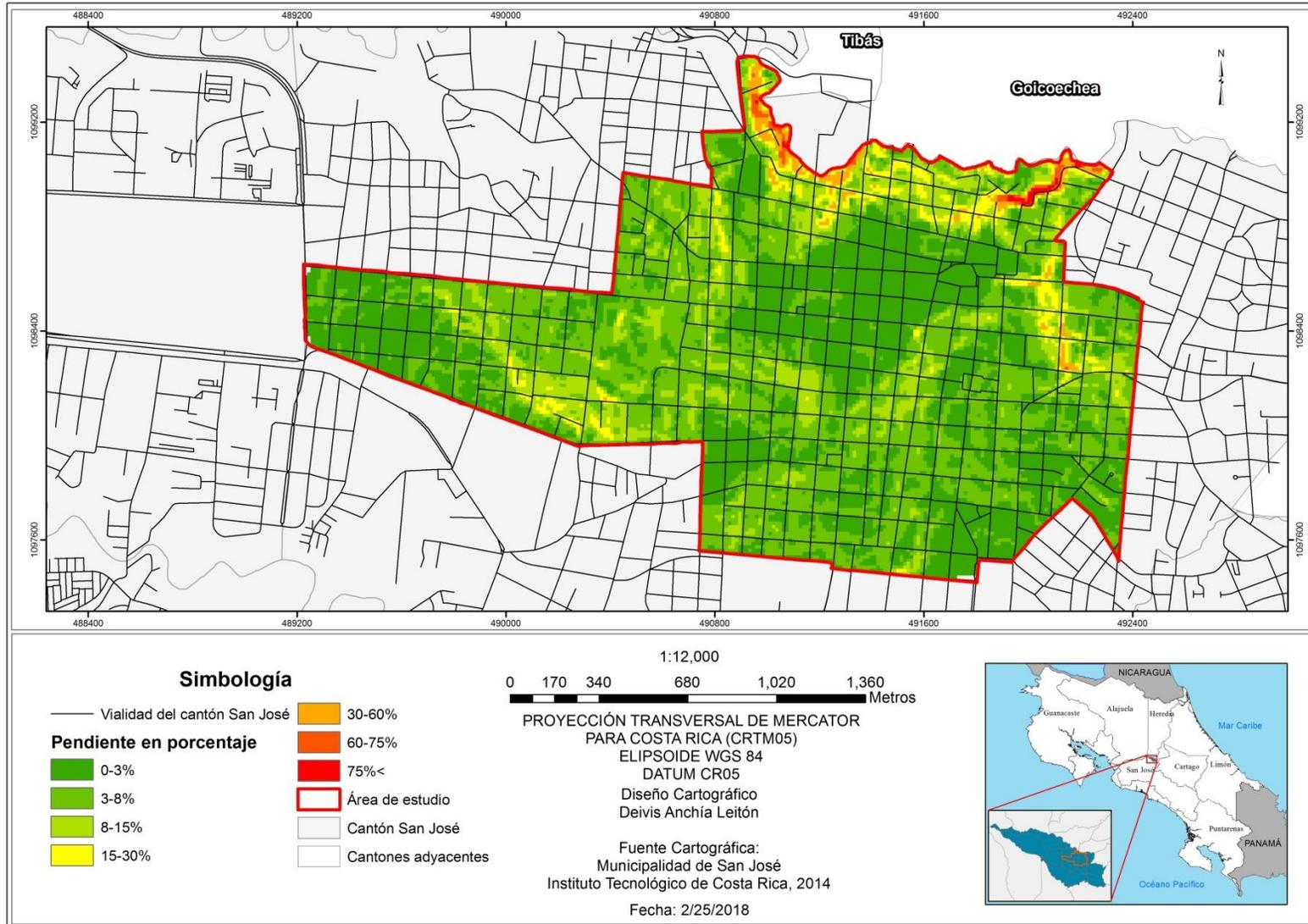
Mapa 4 Sentidos viales del Casco Central Comercial del cantón de San José, 2017



En el mapa anterior se muestran en color azul las vías por las cuales un vehículo recolector tiene restringido el tránsito. Las restricciones se establecieron sobre calles sin salida donde el vehículo por sus dimensiones únicamente puede ingresar o salir en retroceso, lo que estaría infringiendo la ley de tránsito nacional. Posteriormente se colocó restricción en calles o alamedas angostas donde se tiene conocimiento que los vehículos permanecen estacionados en los costados de las mismas. También se consideran como vías restringidas las de carácter privado, así como las calles que no cuenten con el martillo o rotonda donde los vehículos recolectores puedan dar vuelta como lo establece la legislación nacional.

Mediante el uso de curvas de nivel se generó la cartografía que representa gráficamente el relieve existente en el área de estudio (ver mapa N°5). La pendiente es una variable que presenta la capacidad de impactar negativamente el servicio de recolección de residuos sólidos valorizables debido a que en ocasiones los camiones recolectores deben transitar en contra de la pendiente cuando se encuentran con una gran cantidad de residuos en su interior, lo cual representa un mayor esfuerzo de los mismos y con ello una disminución de su vida útil y un aumento en el gasto de los recursos municipales.

Mapa 5 Pendientes en porcentaje del Casco Central Comercial del cantón de San José, 2017



El mapa N°5 muestra la distribución de la pendiente a lo largo del área de estudio. Los resultados son alentadores ya que se logra observar que la mayor parte de territorio presenta una pendiente entre 0 y 15 %, en su mayoría existe un relieve plano o casi plano y moderadamente ondulado. En la parte Norte, Suroeste y Este del área de estudio, se logran evidenciar zonas no muy extensas que presentan pendientes entre 15 y el 60 %, representando una pequeña parte del territorio, se caracteriza por presentar un relieve ondulado y escarpado.

El panorama para el diseño y trazado de las rutas es positivo, ya que la mayor parte de las vías se encuentran en zonas de baja pendiente por las cuales los camiones recolectores pueden transitar ya sea vacíos o con su máxima capacidad de carga. Cabe destacar que existen pequeñas zonas ubicadas al Norte y Suroeste del área con alta pendiente, sin embargo, las vías no se ven significativamente afectadas ya que son zonas sin acceso que representan los cauces de un río. Al costado Este del área de estudio se observa únicamente una vía ligeramente afectada por la existencia de un relieve ondulado o fuertemente ondulado, por lo que el camión recolector debe transitarla a favor de la pendiente.

4.2. Diseño del modelo para la elaboración de micro rutas óptimas de recolección de residuos sólidos valorizables

Con el fin de elaborar el modelo para el diseño de micro rutas óptimas, primeramente se exponen los resultados del análisis de experiencias positivas en el tema. Posteriormente se toman en cuenta los resultados de la definición de subsectores para finalmente exponer el modelo creado.

4.2.1 Casos análogos como insumo para el diseño de rutas de recolección

A continuación se describirán brevemente algunas experiencias positivas a nivel nacional e internacional en cuanto al manejo de residuos sólidos valorizables, las cuales fueron analizadas con el fin de tomar en cuenta aspectos relevantes para el desarrollo de la presente investigación. Aspectos completamente relacionados con el diseño de las micro rutas de recolección y las variables que deben ser involucradas. A nivel nacional, se identificaron dos proyectos que han sido catalogados como modelo a nivel nacional en cuanto a la gestión y manejo de residuos sólidos valorizables por lo que se seleccionaron para ser consultados y visitados. El primero de ellos fue el proyecto de la Municipalidad de San Rafael de Heredia y el segundo fue el proyecto llamado Recolección de residuos sólidos valorizables: Tibás Recicla desarrollado por la Municipalidad de Tibás.

Ambas iniciativas están generando a lo interno de su cantón un alto impacto positivo en materia de recolección selectiva de materiales, sin menospreciar otras municipalidades que gestionan sus residuos sólidos valorizables de manera eficiente.

4.2.1.1 Municipalidad San Rafael de Heredia, Costa Rica.

El proyecto fue nombrado como Centro de Acopio Municipal “Fernando Matamoros” e inició aproximadamente en el año 2003. Su inicio se debe a la motivación de personas residentes del cantón de San Rafael preocupadas por el medio ambiente, los cuales en ese momento pertenecían al Club de Leones. Estas personas crearon una asociación de gestión ambiental que

opera de la mano con la Municipalidad y actualmente es lo que permite que se gestionen los residuos sólidos de forma ambientalmente responsable.

Para brindar el servicio de recolección de residuos sólidos valorizables, la municipalidad de San Rafael dividió su cantón en pequeñas regiones geográficas (subsectores) a las cuales se les asignó un color y con ello un día de la semana destinado para la recolección. De esta manera cada zona es atendida por el municipio, el cual brinda material informativo y tiene disponible una línea telefónica donde los usuarios del servicio pueden identificar y consultar en cuál de los colores se encuentra su vivienda y por consiguiente saber qué día específico de la semana se le recolectarán sus materiales. La implementación de dicha metodología junto con una inversión promedio anual de 90 millones de colones permite el cantón recupere aproximadamente un 5% de la generación mensual de residuos sólidos ordinarios, beneficiando aproximadamente un 70% del territorio cantonal.

Indica el señor Martín Azofeifa , director del Departamento de Gestión Administrativa Financiera que “El proyecto ha sido desde sus inicios aceptado por los ciudadanos del cantón debido a que se cuenta con puntualidad a la hora de dar el servicio, sostenibilidad del proyecto y del centro de acopio en sí, crecimiento sostenible del proyecto y principalmente la divulgación de resultados positivos y a la vista de los usuarios del servicio” (Azofeifa, 2016).

4.2.1.2 Municipalidad de Tibás, San José, Costa Rica

El proyecto de este cantón fue nombrado como “Tibás Recicla” y dio inicio en el año 2007, sin embargo, en marzo del 2016 se realizó un ajuste al proyecto para el inicio de operación de los nuevos subsectores. La gestión actual permite recuperar un promedio de 22 toneladas mensuales aproximadamente, lo que corresponde a un 1.06% de la generación total de residuos sólidos ordinarios registrada durante el año 2015. De ello, se beneficia aproximadamente un 80% del territorio cantonal y aproximadamente 16 000 viviendas. Para brindar el servicio de recolección de residuos sólidos valorizables, la municipalidad de Tibás utilizó una metodología similar a la municipalidad de San Rafael, ya que dividió su cantón en subsectores los cuales son atendidos dos veces al mes. Así mismo, cuentan con material informativo y línea telefónica habilitada donde los usuarios del servicio pueden identificar y consultar qué días del mes se les

recolectaran sus materiales. A diferencia del primer proyecto mencionado, Tibás trazó una ruta específica y única por la cual transitan los vehículos recolectores.

Según indica Sandoval (2016), coordinadora del departamento de gestión Ambiental: “El proyecto ha tenido éxito principalmente debido al proceso de divulgación realizado y de la frecuencia de recolección que se brinda, así mismo, indica que el proyecto ha pasado por algunas dificultades y se debe principalmente a que los ciudadanos entregan los residuos mal separados y en ocasiones contaminados unos con otros, además apunto que al proyecto actualmente le hace falta mayor recurso económico para operar de manera óptima” (Sandoval, 2016).

El proceso de revisión y visita de proyectos análogos a nivel nacional, permitió conocer la forma en que están operando los gobiernos locales del país en su objetivo de brindar a los ciudadanos un servicio de recolección de residuos sólidos que cumpla con las expectativas de los usuarios, conocer cuáles son las metodologías que se están empleando y además, saber si están cumpliendo con la legislación nacional vigente. De ello se identificó que existe un vacío en el ámbito local en cuanto a documentación y publicación de metodologías empleadas para el diseño de rutas de recolección. Las consultas bibliográficas dejaron en evidencia que las metodologías se encuentran en la práctica no así en documentos públicos que permitan a otros municipios replicar o adaptar el proyecto en sus diferentes cantones.

Es importante resaltar que Costa Rica cuenta con un déficit en cuanto a una metodología integral, clara y precisa para el diseño óptimo de rutas de recolección de residuos sólidos, la cual, incorpore información de estudios de caracterización y tasas de generación, análisis espacial, relieve, trabajo de campo y Sistemas de Información Geográfica. De acuerdo a lo anterior, el país carece de un método mediante el cual los gobiernos locales puedan adaptar en sus territorios para brindar un servicio eficiente de recolección de residuos sólidos valorizables.

En el ámbito internacional existe una gran diversidad de proyectos que intentan dar solución al problema diario de recolección y manejo de residuos sólidos valorizables municipales. Debido a su relación e importancia con los objetivos planteados en la presente investigación, mediante consulta bibliográfica, se seleccionaron dos proyectos que serán descritos a continuación. Ambos emplearon la herramienta SIG como un elemento de diseño y optimización de rutas de recolección de residuos sólidos municipales y enfatizan que la misma,

junto con el análisis espacial y el conocimiento del área de estudio, es un mecanismo novedoso para el diseño óptimo de rutas de recolección que contemplan disminuir los costos operativos de recolección, mejorar el servicio a los usuarios y reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera al acortar los viajes que realizan los camiones recolectores.

4.2.1.3 Optimización de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios mediante uso de herramientas SIG, Cuenca, Ecuador

El proyecto es una tesis realizada por Jorge William Cusco Tenesaca y Kristoffer Efrain Picon Aguirre en el año 2015, para optar por el grado doctorado en Ingeniería Ambiental en la Universidad de Cuenca, Ecuador. Los autores desarrollaron el proyecto con el fin de optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios generados en el cantón de Cuenca mediante el uso de herramientas SIG. La metodología empleada se basó principalmente en la identificación de las rutas de recolección actuales mediante el levantamiento de datos en campo y la implementación de técnicas SIG para el análisis de redes.

Los investigadores acompañaron al equipo recolector en su recorrido diario por las diferentes calles de la ciudad donde, mediante una aplicación para teléfonos celulares, recolectaron información de las vías y calles que los vehículos recorren para cumplir con el servicio de recolección. Mediante la georreferenciación de los datos obtenidos en campo, lograron graficar las rutas actuales de recolección de residuos. Posteriormente, basados en el mapa base de OpenStreetMap, dibujaron en ArcGis los puntos (nodos) y las líneas (vías), es decir, crearon la red vial del cantón de Cuenca, red sobre la cual calcularon nuevas rutas de recolección. Adicionalmente, a los shapefiles le incorporaron atributos como jerarquía de vía, sentidos viales, distancia, tiempo de recorrido y límites de velocidad según tipo de vías establecidos por la Agencia Nacional de Transito del Ecuador (ANT).

Finalmente, mediante el uso de software ArcGis realizaron un análisis de redes con la extensión Network Analyst empleando cartografía a nivel de calle en forma de datos de red con el fin de obtener rutas detalladas para el cálculo de macro y micro rutas optimizadas. En la extensión se seleccionó “Problema de generación de rutas para vehículos nuevos” (*New Vehicle Routing Problem*), a la cual se le incorporaron una serie de ajustes y atributos con el fin de

calcular las rutas optimas de recolección de residuos. El levantamiento de rutas actuales y la creación de nuevas rutas de recolección sirvieron para que los autores definieran si realmente se logró una optimización del servicio de recolección de residuos domiciliarios en el cantón de Cuenca. Los resultados obtenidos por los investigadores se muestran en la tabla N°5.

COMPARACIÓN DE RUTAS				
Parámetros	Rutas actuales	Rutas optimizadas	diferencia	% disminución
Distancia Recorrida- km	1,508.76	1,651.50	-142.74	-0.094604459%
Tiempo de recolección- Horas:Min: Seg	204:47:52	85:55:22	22:52:30	43%
Consumo combustible, Diésel- galones/año	582.53	503.32	79.21	14%
Número de Rutas	48	19	29.00	60%
Emisión CH4 - kg/año	144.15	74.73	69.42	48%
Emisión NO2 - kg/año	7.30	14.95	2.36	14%
Emisión CO2 - kg/año	2,145,065.36	1,852,128.92	92,936.44	14%

Tabla 6. Comparación entre las rutas actuales y las rutas optimizadas mediante SIG en la ciudad de Cuenca, Ecuador, 2015.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del estudio optimización de rutas de recolección de desechos sólidos domiciliarios mediante uso de herramientas SIG (Cusco & Picón, 2015).

La investigación mencionada, es un trabajo que permitió evidenciar la capacidad que poseen los SIG y el análisis espacial en proyectos de diseño óptimo de residuos sólidos. Los autores demostraron que el uso del software es una vía mediante la cual es posible disminuir los costos totales del servicio de recolección y las emisiones, al mismo tiempo que se brinda un servicio eficiente a los usuarios del servicio.

4.2.1.4 Diseño de una herramienta SIG para la recogida selectiva de residuos urbanos. Aplicación a Castellón de la Plana, España.

Este proyecto fue realizado en el año 2010 por Antonio Gallardo Izquierdo, David Bernad Beltrán María Dolores Bovea Edo, Francisco Colomer Mendoza y Mar Carlos Alberola, todos ellos del Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción de la Universidad Jaume I,

Castellón -España. Los autores desarrollaron el proyecto con el fin de diseñar una herramienta que permitiera modelar adecuadamente la Recolección Selectiva de Residuos Urbanos (RSRU), operando en el entorno de los SIG.

De igual forma que el proyecto anterior, los investigadores seleccionaron la extensión Network Analyst en el SIG, ya que la misma permite el cálculo de rutas, cálculo de áreas de servicio y cálculo de instalación más próxima. Mediante el SIG, georreferenciaron la cartografía base del área de estudio sobre la cual diseñaron la red vial de Castellón y adjuntaron características como sentidos de circulación, peatonalizaciones, pendiente, entre otras. Posteriormente, elaboraron un mapa de generación y composición de residuos sólidos con el objetivo de asignar a cada uno de los segmentos de la red la cantidad y composición de los residuos generados diariamente.

A través de la aplicación Model Builder en SIG, crearon una herramienta que permite ubicar cada punto de recogida. Una vez todos los puntos de recogida han sido ubicados analizaron espacialmente las rutas de recogida de dichos puntos. Definieron como el itinerario llevado a cabo por el vehículo desde que sale del garaje hasta que acaba la jornada laboral y regresan, puede comprender uno o dos viajes del camión hasta el lugar de destino de los residuos. Finalmente, para el diseño de las rutas en primer lugar sectorizaron la red, es decir, la dividieron en itinerarios utilizando el criterio de carga (alrededor de 15 toneladas por día) o de tiempo (6,5 a 7 horas por jornada). En segundo lugar, para cada sector se diseñó la ruta de recogida, para lo cual se eligió la ruta más corta que pasaba por todos los puntos. Finalmente, generaron un plano en el cual se plasman todas las rutas y elaboraron un texto en el que se describe cada una de dichas rutas.

Con el análisis de casos análogos a nivel internacional queda en evidencia que fuera de las fronteras costarricenses existen técnicas novedosas para solventar un problema que acoge a los principales centros urbanos diariamente, como lo es la gestión y manejo de los residuos sólidos. Por esta razón, los profesionales encargados de las oficinas ambientales en los diferentes municipios nacionales deberían tener la disponibilidad de metodologías de diseño de rutas de recolección métodos utilizados por países con amplia experiencia en la gestión y manejo de residuos urbanos.

Según se describió anteriormente, el proyecto de Castellón de la Plana y el de Cuenca, son iniciativas que obtuvieron resultados positivos en el diseño de sus rutas de recolección de residuos sólidos producto del uso apropiado de los Sistemas de Información Geográfica. Debido a que la presente investigación se desarrolla mediante la implementación de herramientas SIG, se identificó que existe una alta concordancia entre proyectos. En este sentido, para el desarrollo de la presente propuesta fue enriquecedor conocer que algunas de las herramientas utilizadas fueron empleadas por otros investigadores a los cuales les generaron resultados positivos en sus diferentes entornos.

El principal aprendizaje que resultó del análisis de proyectos análogos fue que los SIG se posicionan a nivel internacional como una herramienta clave en el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos, por lo que debería ser incorporado a nivel nacional para contribuir en la solución al problema de recolección de residuos sólidos valorizables. Así mismo, estas investigaciones dejaron en evidencia que para la definición de sectores y subsectores es conveniente equiparar las cargas de trabajos de las cuadrillas de recolección y de esta forma optimizar los recursos municipales existentes. Además, cabe resaltar que los proyectos analizados expusieron su experiencia sobre el uso de herramientas específicas del ArcGis como Network Analyst y Model Builder de las cuales obtuvieron resultados interesantes al permitirles realizar análisis de redes y el diseño de modelos que les permitiera sintetizar procesos y presentar información gráfica.

4.2.2 Propuesta de sectores y subsectores para el servicio de recolección selectiva

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la propuesta de sectores y subsectores que serán atendidos por las rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el área de estudio. Cabe destacar que dicha área cuenta con una extensión territorial de 10.77 km² y una generación diaria de aproximadamente 342,45 m³ de papel y cartón y 263.38 m³ de plástico. Debido a la extensión territorial y la generación total de residuos sólidos dentro del área de estudio, no fue necesario dividirla en varios sectores (rutas) ya que dicha práctica es necesario

realizarla cuando son áreas muy extensas, como por ejemplo si se fuera a considerar el cantón completo de San José.

En el caso de los subsectores (micro rutas), éstos fueron definidos principalmente con base a las necesidades planteadas por la MSJ. En este sentido, para el municipio es favorable trabajar sobre las mismas áreas que están definidas desde hace varios años atrás y son muy bien conocidas por el personal municipal (Ver mapa N°6). Además, se analizó la generación de residuos valorizables, cantidad de predios y cantidad de kilómetros de red vial que se debían recorrer para prestar el servicio, por cada subsector.

La división en subsectores va a permitir que se brinde el servicio de recolección en toda el área de estudio y de manera simultánea con varios vehículos recolectores. Además, podrá ser realizada de tal forma que se recolecten los distintos tipos de residuos a ser separados (papel, cartón y plástico) al mismo tiempo y en un mismo vehículo, considerando que la MSJ disponga del camión recolector apropiado para ello. Cabe destacar que, al limitar el área de servicio de cada vehículo, el uso del mismo se torna más eficiente ya que se reduce la congestión vial y la cantidad de kilómetros que se deben recorrer. En la tabla N° 6, se describen las características propias de cada uno de los subsectores propuestos.

Micro ruta	Extensión (km²)	Km de vialidad	Predios comerciales	Generación diaria de papel y cartón (m³)	Generación diaria de plástico (m³)	Vehículos necesarios para la recolección
D1	0.62	12.82	779	94.17	80.47	Papel y cartón: 4 Plástico: 3.5
D2	0.53	11.64	741	91.34	64.65	Papel y cartón: 4 Plástico: 3
D3	0.43	9.52	426	21.09	20.91	Papel y cartón: 1 Plástico: 1
D4	0.57	12.24	458	52.91	37.45	Papel y cartón: 2 Plástico: 1.5
D5	0.65	12.65	564	51.1	36.14	Papel y cartón: 2 Plástico: 1.5
D6	0.50	10.46	306	31.82	23.76	Papel y cartón: 1 Plástico: 1

Tabla 7 Caracterización de residuos valorizables según subsector, 2017

Fuente: Elaboración propia, 2017

La tabla anterior muestra una descripción de las características propias de cada una de las micro rutas. Se observa que las principales diferencias se encuentran a nivel de generación de materiales valorizables, ya que en cuanto a extensión territorial y km de vialidad, son similares. En el grafico N° 1 se muestra que la micro ruta con mayor generación diaria de papel y cartón es la D1, con un total de 94,17 m³, seguidamente se encuentra la D2 con 91,34 m³. En cuanto a la menor generación de papel y cartón, la ruta D3 genera en total 21,09 m³ al día. En este sentido, se analiza que la MSJ para la recuperación de papel y cartón debe concentrar una mayor cantidad de recursos principalmente en las micro rutas D1 y D2, ya que la generación exige una mayor cantidad de vehículos recolectores o capacidad de los mismos, más horas laborales del personal, más combustible, mayor desgaste de los vehículos, entre otros.

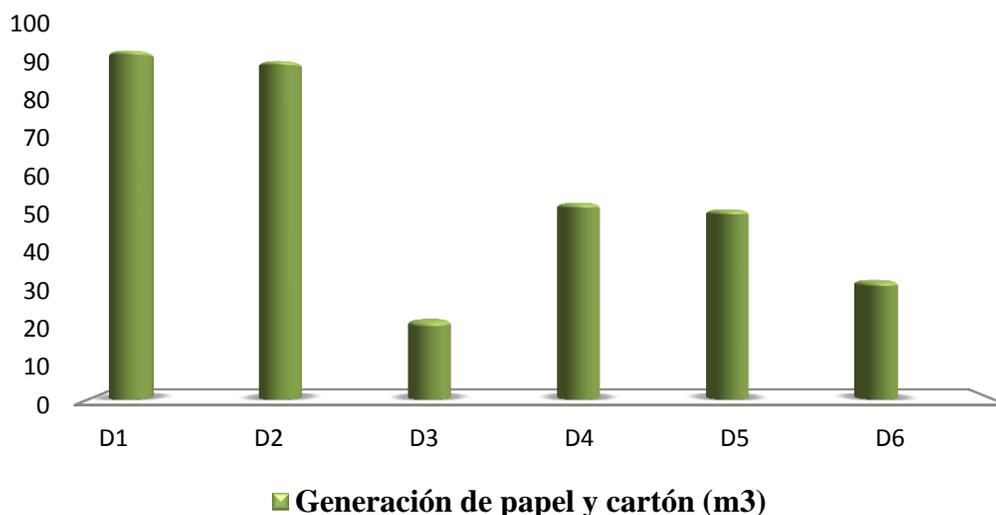


Gráfico 1 Generación de papel y cartón (m3), según micro ruta, 2017

Fuente: Elaboración propia, 2017

En el grafico N°2 se observa un comportamiento en cuanto a generación de residuos valorizables similar al grafico N°1, donde destacan las micro rutas D1 y D2 como las principales generadoras de plástico con 80.47 m³ y 64.65 m³ al día respectivamente.

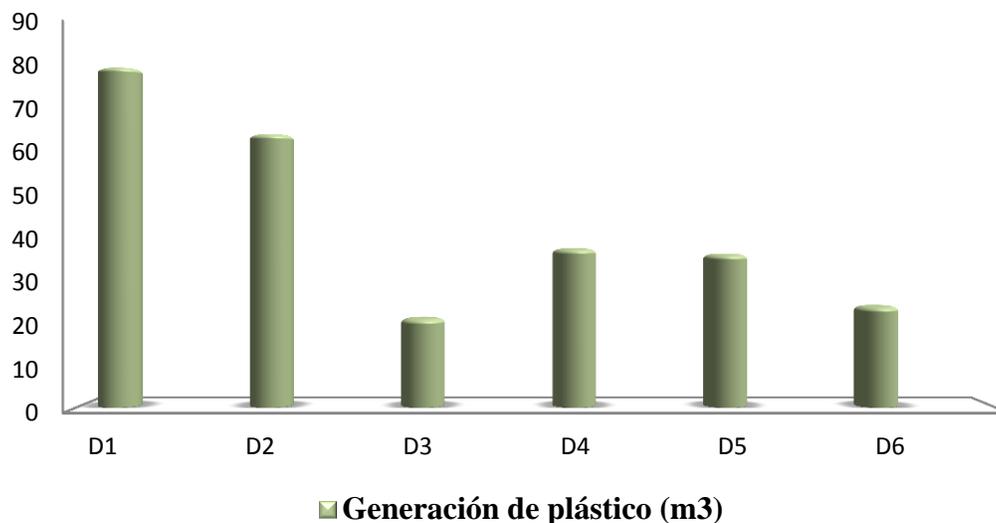
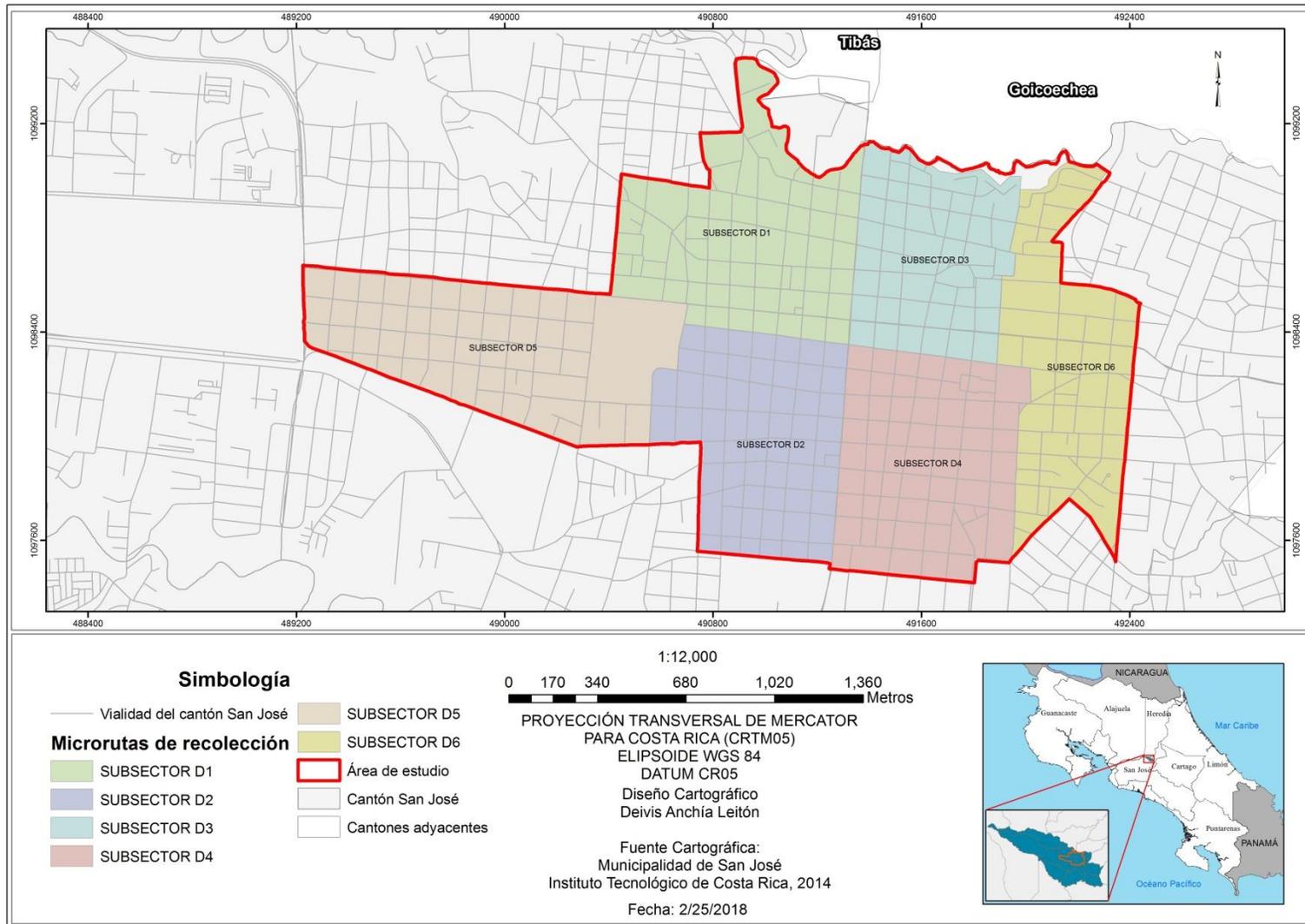


Gráfico 2 Generación de plástico (m3), según micro ruta, 2017

Fuente: Elaboración propia, 2017

Cabe recalcar una vez más que los datos expuestos representan el escenario ideal, con un 100%, donde todos los predios comerciales del área de estudio disponen sus materiales valorizables en el servicio de recolección municipal, según la generación calculada mediante el estudio de caracterización. Los datos expuestos permiten al municipio definir, según sus objetivos a mediano y largo plazo, cuál sería el tipo de vehículo más adecuado para realizar la tarea de recolección ya que al contar con el dato de generación según tipo de material se podrían seleccionar vehículos con dos compartimentos u otras características especiales. Las micro rutas D1 y D2 destacan por su generación de materiales valorizables, ambas se ubican en la zona céntrica y de mayor actividad comercial dentro del área de estudio, con un total de 779 y 741 predios comerciales respectivamente.

Mapa 6 Subsectores del Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017



4.2.3 Modelo propuesto para la elaboración de rutas de recolección

En este apartado se expone el modelo elaborado y utilizado para el diseño de micro rutas óptimas de recolección de residuos sólidos valorizables. Además de ser un producto de la presente investigación, se espera que el modelo sea un insumo para que otros municipios lo implementen en sus propios contextos, adaptándolo e incorporando mejoras para lograr el diseño idóneo de rutas de recolección en sus jurisdicciones.

El modelo se desarrolló utilizando como herramienta los Sistemas de Información Geográfica e incorporando insumos relevantes obtenidos por la MSJ en el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos y Definición de Rutas de Recolección para el Cantón de San José. A continuación se describe el modelo planteado con el propósito de explicar los distintos procedimientos que se llevaron a cabo (Ver diagrama N°3).

En el modelo se incorporaron tres fuentes de datos espaciales obtenidos de la MSJ que fueron fundamentales para el desarrollo de la presente investigación. Uno de ellos es el Estudio de Caracterización y Estudio de Habitabilidad del cantón de San José que sirvió de base para una serie de procedimientos que se describen a continuación. La viabilidad fue un dato sobre el cual se trabajó minuciosamente ya que originalmente se encontraba desactualizado y con errores relacionados a sentidos viales, dibujo erróneo, restricciones no establecidas (ex. bulevares), entre otros. Sobre dicha capa se realizó una revisión de la topología donde se identificaron errores de conexión entre segmentos. Seguidamente se procedió a corregir en el SIG y posteriormente se realizaron una serie de visitas de campo para validar que el dato estuviera acorde con la realidad. De esta manera se generó una capa de vialidad topológicamente bien diseñada, con restricciones de paso para vehículos recolectores debido a vías angostas o sin posibilidad de que los camiones entren de frente y lo hagan de la misma forma al salir como lo establece la ley de tránsito. Esta capa fue validada en campo principalmente mediante la lógica de red de transportes.

Otro dato espacial que sirvió de insumo fueron las curvas de nivel, mediante las cuales se diseñó un mapa de pendientes en porcentajes. El mismo fue tomado en cuenta para trazar los recorridos de forma tal que los camiones con gran cantidad de carga transiten a favor de pendiente en la medida de lo posible. El tercer dato espacial considerado fue una capa de predios

comerciales. Dicha capa fue creada por la MSJ mediante un estudio de habitabilidad que permitió levantar un catastro e identificar cuáles de los predios existentes corresponden a comerciales y cuales a residenciales, así como unidades múltiples existentes, entre otra información de utilidad. Para agregarle la información de generación según el tipo de material valorizable a cada predio, fue necesario obtener las bases de datos de los estudios mencionados anteriormente e iniciar un proceso de filtración, relación de tablas, cálculo y selección de datos. Cabe destacar el gran aporte que tuvo el Estudio de Caracterización para contar con una capa de predios que permitiera mostrar áreas donde se presentaba mayor o menor generación de residuos y con ello diseñar las micro rutas.

El siguiente paso dentro del modelo fue realizar una sobreposición de capas en el SIG, la cual se realizó con el fin de calcular y analizar los datos y definir áreas homogéneas (micro rutas) para la prestación del servicio de recolección. En este caso se consideró la cantidad de kilómetros que deberían recorrer los vehículos, las pendientes del área y la generación de material valorizable. Mediante la consideración de los criterios de expertos de la MSJ, se analizaron los tres datos espaciales mencionados anteriormente y se establecieron las micro rutas de servicio. Cabe destacar que para la definición de micro rutas se realizaron dos prácticas que generaron resultados muy valiosos. La primera fue una revisión bibliográfica donde se identificaron proyectos análogos exitosos, los cuales se analizaron con el fin de conocer sus metodologías y aprender de ellas. La segunda fue trabajar con expertos de diferentes departamentos de la MSJ.

A nivel internacional se seleccionaron dos experiencias positivas y se analizaron a profundidad sus metodologías, permitiendo conocer la forma en que otros países están trabajando e incorporar algunas prácticas para mejorar el proyecto en el presente caso de San José. En el territorio nacional se seleccionaron dos investigaciones análogas que generaron resultados positivos para sus correspondientes cantones. Estas dos metodologías fueron analizadas y se logró aprender de ellas los aspectos o variables que se deben tomar en cuenta para diseñar rutas de recolección. Posteriormente, se logró obtener una sesión de trabajo en cada una de las municipalidades con los coordinadores de los diferentes proyectos, lo cual generó resultados muy positivos para la presente investigación siendo posible conocer acerca de los aspectos positivos y negativos a la hora de diseñar las rutas en ambos proyectos. De esta manera

se logró contemplar los aspectos positivos de las experiencias y destacar los aspectos que no aplicaban o requerían ser adaptados para la presente investigación.

Así mismo, el apoyo brindado por expertos de diferentes departamentos de la MSJ fue muy valioso para que las micro rutas de recolección propuestas en la presente investigación fueran validadas por conocedores con gran experiencia en el área de estudio y que al mismo tiempo satisficieran las necesidades reales del cantón. Se realizó lectura, análisis de datos y documentos históricos generados por departamentos como el Centro de Acopio, Limpieza Urbana, Departamento de Servicios Ambientales y Departamento de SIG. Además, se llevaron a cabo sesiones de trabajo con los expertos municipales con el fin de definir tanto las micro rutas como el trazado de los recorridos dentro de las mismas. Se realizó una sobreposición de capas, se tomó en cuenta las lecciones aprendidas de proyectos análogos a nivel internacional y sesiones de trabajo con coordinadores de experiencias exitosas a nivel nacional, además de lecciones aprendidas de sesiones de trabajo con expertos de diferentes departamentos de la MSJ, todo esto con el fin de realizar un subsectorización y posterior trazado de los recorridos en cada uno de los diferentes subsectores.

Finalmente, con las micro rutas ya establecidas, se procedió a definir distintas sesiones de trabajo específicamente con expertos del Departamento de Servicios Ambientales donde se analizaron espacialmente las distintas variables (Vialidad, pendiente y generación de residuos) y se trazaron los recorridos diarios en cada una de las micro rutas.

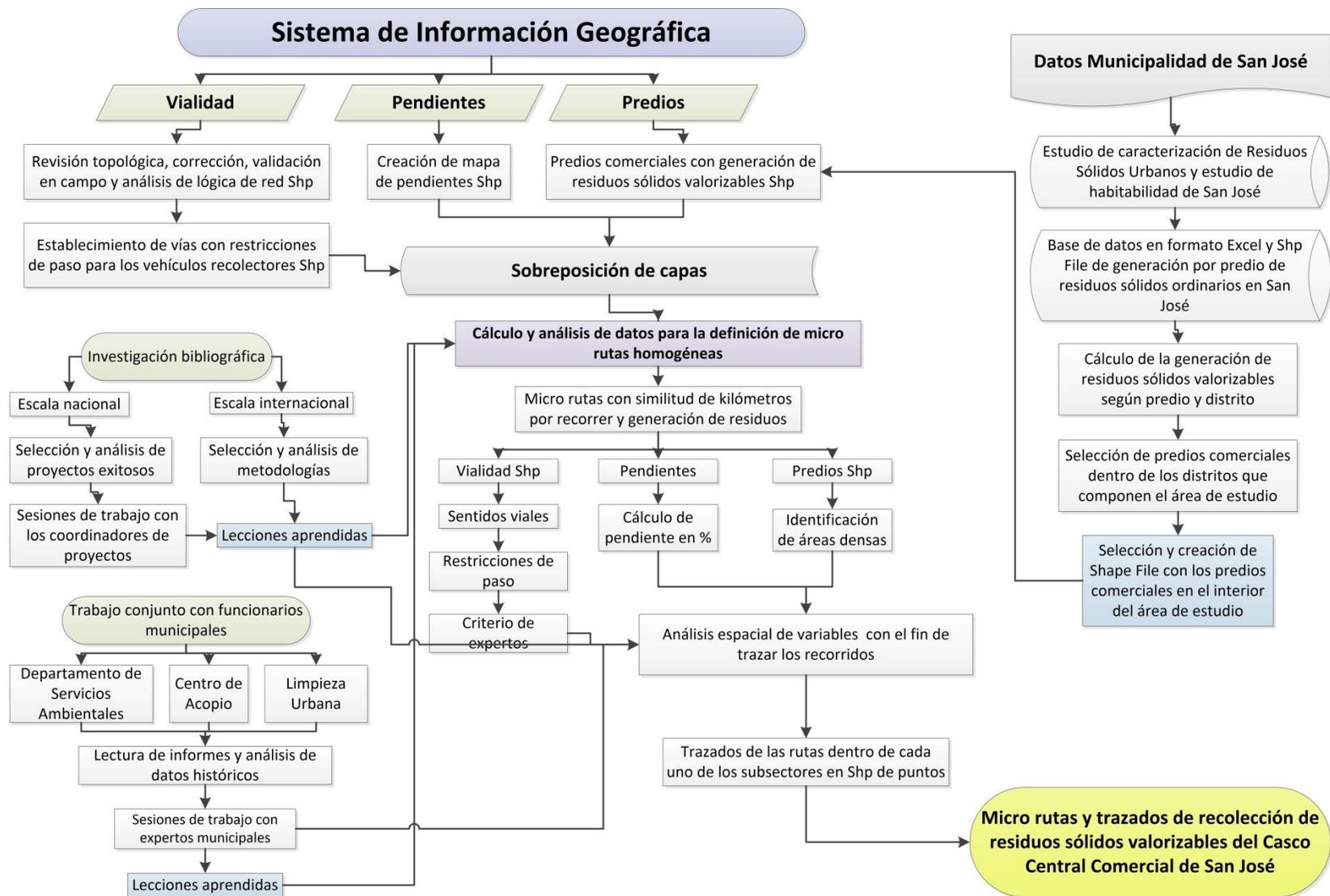


Diagrama 3. Modelo para el diseño de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el cantón de San José.

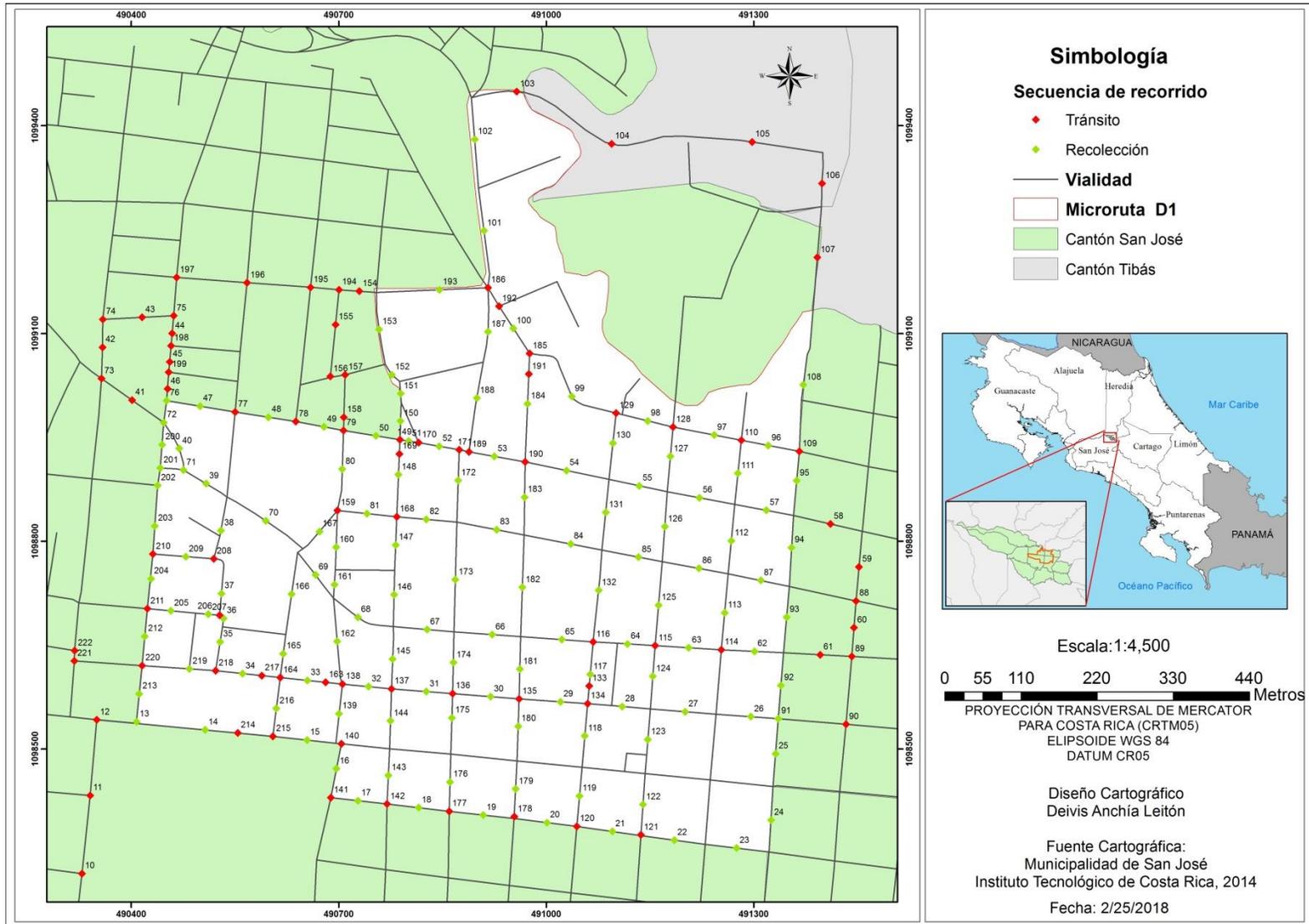
Fuente: Elaboración propia, 2017

4.3. Trazado de micro rutas de recolección.

En el presente apartado se expone el trazado de los recorridos en cada una de las micro rutas del área de estudio con la ayuda de lenguaje cartográfico. Desde el mapa N°7 al mapa N°12 se presentan los recorridos mediante una capa de puntos donde se observa la secuencia a través de una numeración. Los puntos con color verde definen los sitios donde se establece que los vehículos deben brindar el servicio de recolección, en color rojo, están los puntos por los cuales el vehículo recolector necesita transitar para brindar el servicio pero no debe recolectar residuos.

Cabe mencionar que en la cartografía se muestra la secuencia del recorrido únicamente en las micro rutas y no desde que salen del plantel municipal y hasta que disponen los materiales en el centro de acopio. Esto se debe a que para mostrar todo el recorrido sería necesario trabajar a escalas menores, aproximadamente de 1: 11000, lo que mostraría menor detalle en la cartografía y para efectos de este proyecto no es lo más adecuado ya que es conveniente visualizar cada una de las micro rutas con el mayor detalle posible. En la cartografía se logra observar que el vehículo recolector no ingresa al subsector específicamente en el punto número 1 y se debe a que este se encuentra cerca del plantel municipal y de esta forma sucesivamente para guiar al camión hasta donde cada micro ruta. Además, la secuencia del recorrido no finaliza en el número que se muestra en la cartografía, ya que estos continúan hasta llegar al centro de acopio.

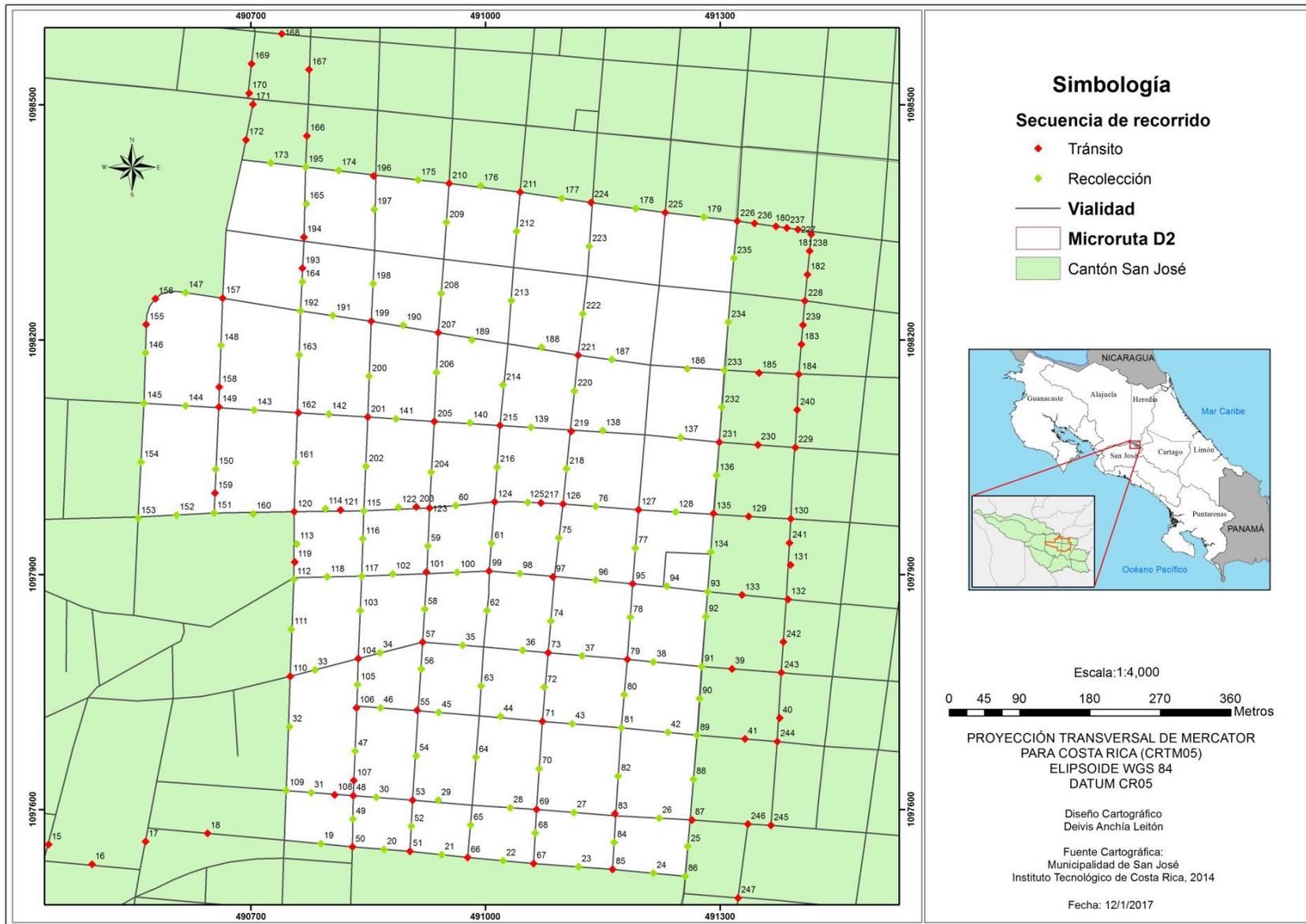
Mapa 7 Secuencia recorrido micro ruta D1, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017



El mapa N°7 muestra la ruta que deben seguir los vehículos recolectores para brindar el servicio en uno de los subsectores que mayor cantidad de residuos valorizables genera. El subsector D2 produce diariamente 94.17 m³ de papel y cartón y 80.47 m³ de plástico aproximadamente. El mapa N°7 muestra la secuencia del recorrido, en la esquina inferior izquierda se observa el número 10, eso indica que es la ruta por donde ingresa el vehículo al subsector, el número uno se encuentra muy cerca al plantel donde se guardan los camiones posterior a terminar la jornada.

Los puntos de color verde representan los sitios donde los vehículos deben estrictamente recolectar materiales y en general los puntos establecen la secuencia con la que debe visitarse cada segmento vial. Para el caso específico de esta micro ruta, el recorrido dentro del subsector termina 100 metros al norte de donde dio inicio, la numeración conduce al camión hasta el centro de acopio ubicado en Hatillo. Cabe destacar que el subsector presenta pocos recorridos improductivos, es decir, que se transita sin recolectar residuos, estos se encuentran principalmente al noroeste y se debe a que el vehículo debe salir del subsector para encontrar sentidos viales que le permitan transitar hasta el siguiente punto de recolección.

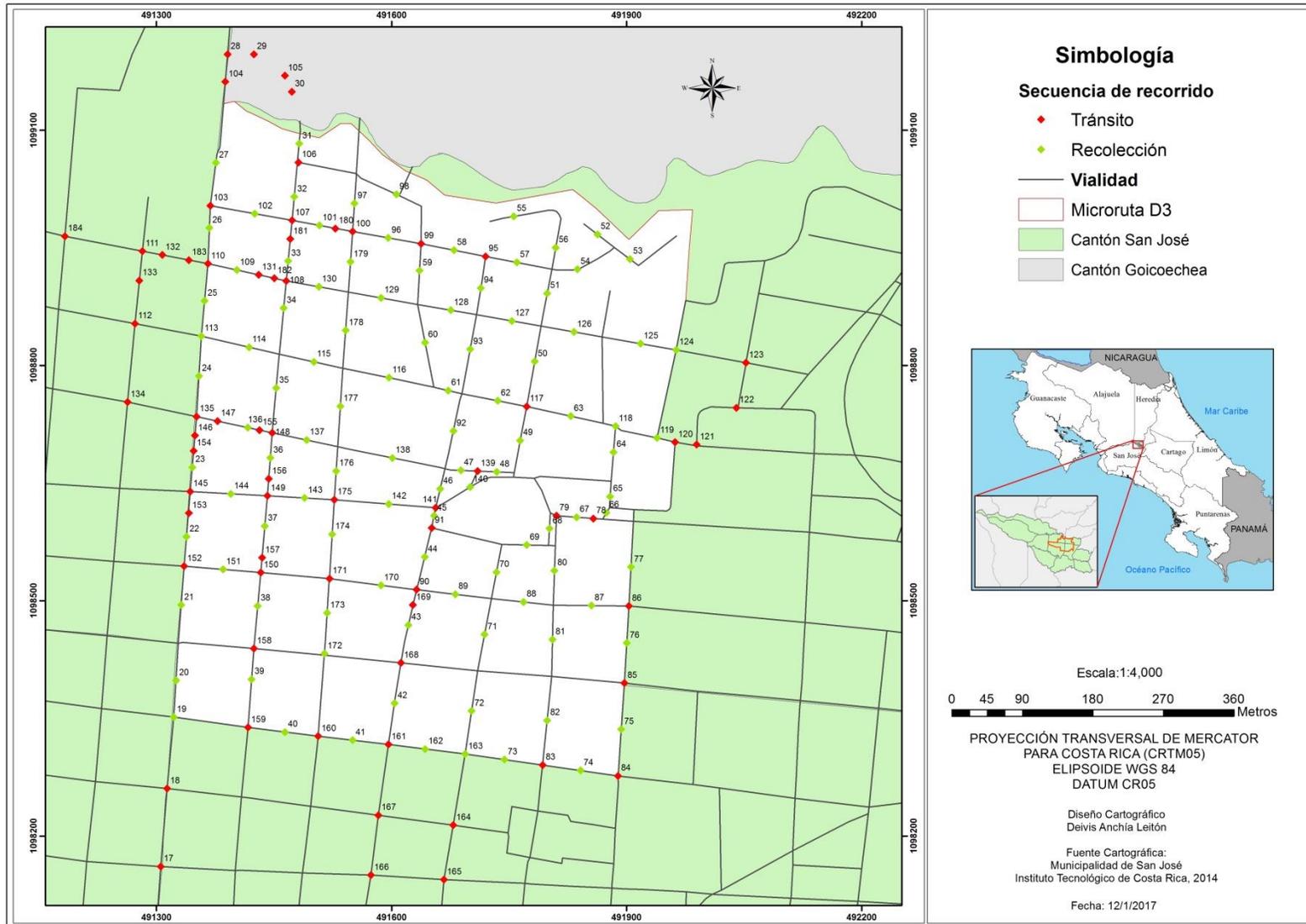
Mapa 8 Secuencia recorrido micro ruta D2, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017



En el mapa N°8 se muestran los límites de la micro ruta D2, así como la secuencia que debe seguir el camión recolector para brindar el servicio a los locales comerciales existentes. Dicho sector es el segundo en cuanto a generación, ya que registra diariamente 91.34 m³ de papel y cartón y 64.65 m³ de plástico aproximadamente. Para dar inicio, el camión recolector se traslada desde el plantel municipal con sentido oeste-este e ingresa al subsector en la esquina suroeste para iniciar con el servicio de recolección. En el sector se logran observar una gran cantidad de segmentos viales por los cuales los vehículos no transitan, esto se debe a que son avenidas importantes de San José por donde se tiene restringido el tránsito de vehículos automotores. El servicio finaliza en la esquina noreste del subsector, desde donde el vehículo circula con sentido norte-sur para disponer los residuos en el centro de acopio.

Como se observa el subsector D2 cuenta con una malla vial bien definida, donde el 100% cuenta con cuadrantes bien delimitados, siendo el único que presenta dicha característica. Esto ocasiona un tránsito menos fluido por el recolector, ya que por la estructura en cuadrantes existe una gran cantidad de señales de tránsito dentro de las que destacan los semáforos y los altos. Lo expuesto son variables que repercuten negativamente en la prestación del servicio en este subsector, además debe observarse una cantidad significativa de recorridos improductivos distinguidos por los puntos rojos.

Mapa 9 Secuencia recorrido micro ruta D3, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017

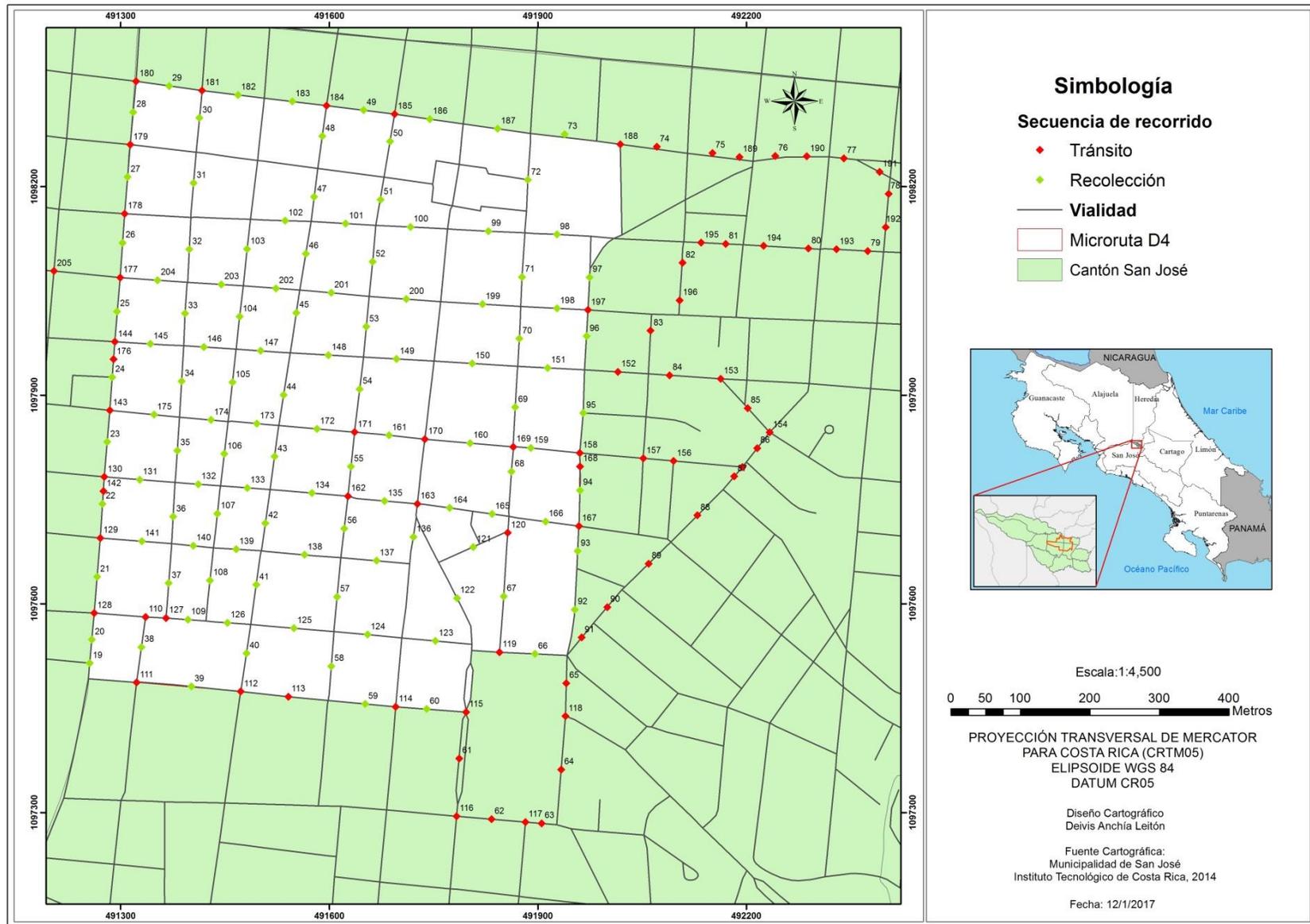


El mapa N°9 muestra la secuencia que debe seguir el vehículo para brindar el servicio de recolección en la micro ruta D3. El subsector a pesar de que posee una forma bastante regular, cuenta con un gran número de calles sin salida, así como zonas donde desaparece la estructura de cuadra urbana. En el costado norte del subsector existen algunas calles sin salida que se convierten en un retraso para continuo recorrido de los vehículos, ya que a pesar de que cuenten con martillo para virajes, algunos de estos son incómodos y se dificulta aún más la maniobra con los vehículos particulares estacionados en ellos, en otros casos la cuadrilla recolectora debe caminar distancias de hasta cien metros para trasladar los materiales.

El servicio inicia en la esquina suroeste con el número 19 y finaliza al extremo norte con el número 153. Además, se observa que en la parte central del subsector se complica el tránsito de un vehículo recolector con las dimensiones de los que actualmente posee la municipalidad de San José, la estructura vial es compleja y los giros son bastante complejos, generando la decisión de que las cuadrillas recolectaran los materiales caminando (coletearan) y con ello optimizar el tiempo.

Como en los dos subsectores anteriormente mencionados, se dan recorridos improductivos. Estos casos se presentan principalmente al noroeste del área, sin embargo, se puede decir que en todos los costados el vehículo debe abandonar el subsector donde se localice la ruta óptima que le permita recolectar en los puntos establecidos.

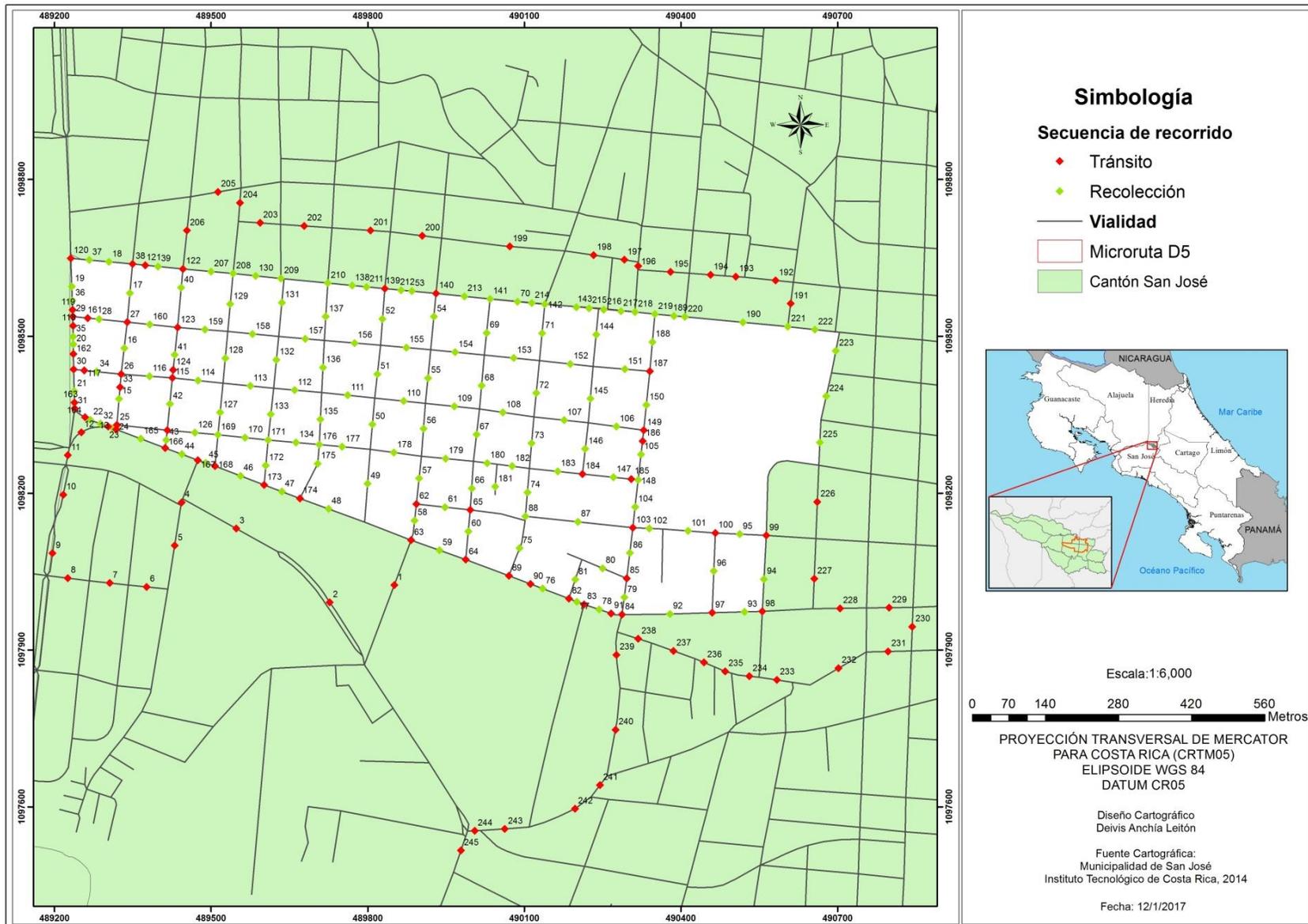
Mapa 10 Secuencia recorrido micro ruta D4, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017



Como se muestra en el mapa N°10, el subsector D4 presenta una forma regular y una malla vial en su mayoría representada por cuadrantes. En esta micro ruta el servicio de recolección en el inicia con el número 19 en la esquina suroeste y el último punto de recolección es el número 204. Se presentan dos bulevares importantes donde se restringe el tránsito de vehículos recolectores, el paseo de los estudiantes en el costado este y de forma vertical, el segundo es el Paseo de La Unión Europea trazado verticalmente al norte de la micro ruta. Otros segmentos viales por los cuales no se brinda recolección se debe a que son de carácter privado o porque las cuadrillas coletearan la vía.

En cuanto a los recorridos improductivos, este subsector si se ve significativamente afectado, ya que debe abandonar el área de recolección en dos ocasiones para realizar un recorrido extenso de aproximadamente 1,5 km cada vez que lo hace, es decir, aproximadamente tres kilómetros de recorrido improductivo en el supuesto de que cada cuadra tenga una distancia de 100 m. Además, se observan otros recorridos donde el vehículo únicamente transitara, tal es el caso del límite oeste con sentido sur-norte y la esquina sureste para mencionar algunos de los casos.

Mapa 11 Secuencia recorrido micro ruta D5 Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017

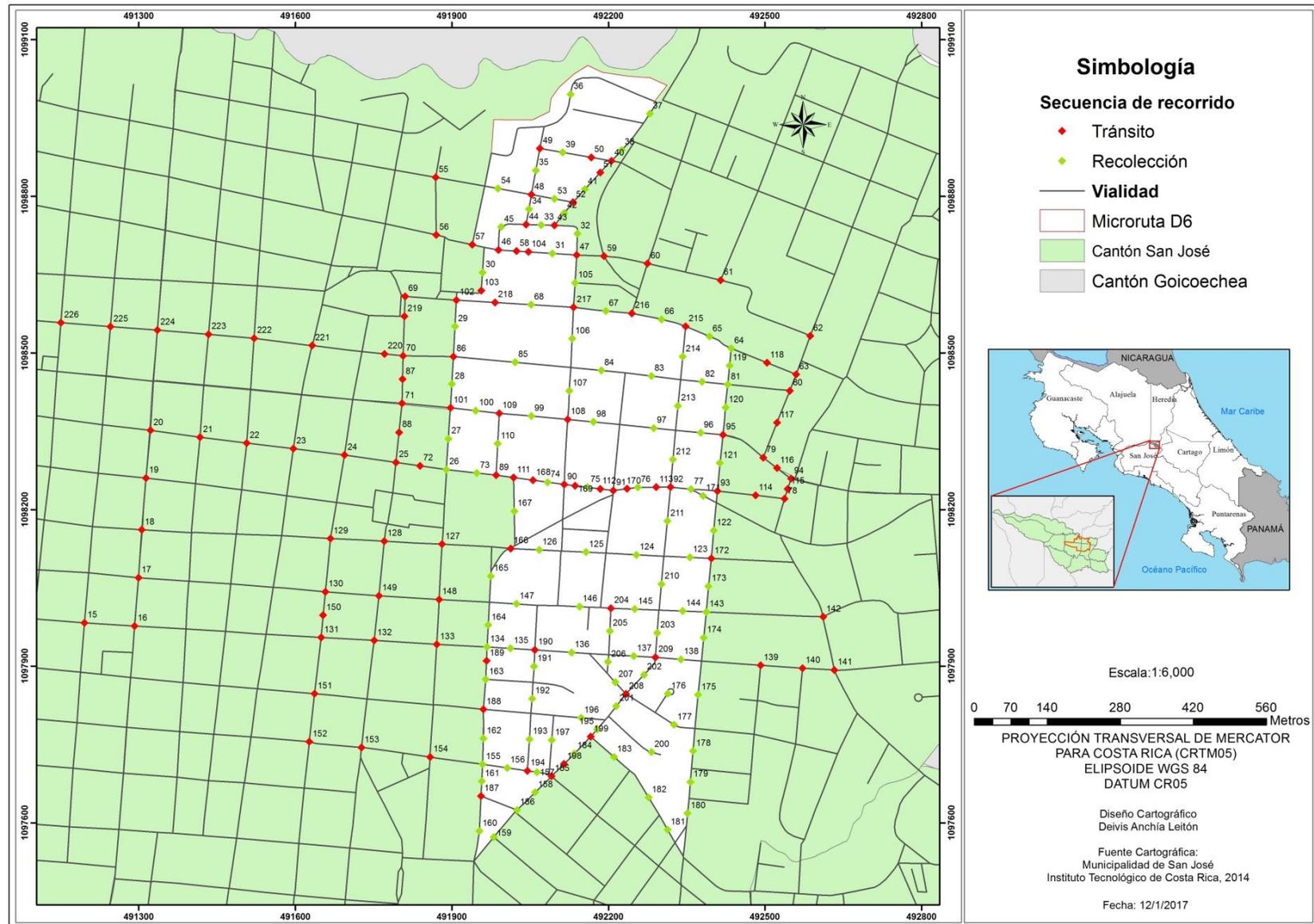


En el mapa N°11 se muestra que el subsector D5 se encuentra al costado norte del plantel municipal, por lo que en este caso si es posible observar el número 1, aunque el servicio de recolección inicia en el número 13. Por la cantidad de puntos rojos que se logran visualizar, se dice que es un micro ruta complicada en cuando a recorridos productivos.

Este es un sector particular, ya que se brindara el servicio de recolección en el 100% de los segmentos viales, aunque en el mapa N°11 se observen segmentos sin puntos verdes, las cuadrillas serán las encargadas de recolectar el material. Se observa que en la parte central del área son escasos los puntos rojos, es decir no hay recorridos improductivos, contrario a lo que se presente en el costado oeste, donde se presentaron mayores dificultades para trazar el recorrido, ya que la vialidad no permite algunos giros que podrían haber generado una mayor optimización.

Es importante destacar que el límite norte del subsector está representado por Paseo Colon, esta es una vía que posee en ocasiones tres carriles con un solo sentido y otro carril de sentido opuesto. En este caso, a pesar de que los vehículos transitan en varias ocasiones, no se colocó ningún punto rojo debido a que es una vía en la cual no es posible recolectar en ambos lados, por lo que debe ser transitada varias veces para darle servicio primero a un lado y luego al otro, de esta forma atender a todos los negocios comerciales existentes.

Mapa 12 Secuencia recorrido micro ruta D6, Casco Central Comercial del Cantón de San José, 2017



El subsector D6 se ubica en el costado este del área de estudio y representa uno de los subsectores con menor generación de residuos valorizables con aproximadamente 31,82 m³ de papel y cartón y 23.76 m³ de plástico al día. Como se muestra en el mapa N°12 posee una forma irregular y son escasos los cuadrantes bien definidos. Esto particularmente presenta una mayor complejidad al planificar los recorridos y se debe a que cuando un área está caracterizada por una alta presencia de cuadras, los vehículos recolectores se trasladan con mayor facilidad y los recorridos son directos, ya que se atienden avenidas completas o calles y los giros que se deben hacer son mínimos. En áreas donde no existen cuadrantes, se necesitan mayores maniobras y se complica el planeamiento ya que los vehículos no siguen líneas rectas como en el primer caso, se deben atender una mayor cantidad de calles sin salida y esto representa una mayor cantidad de traslados improductivos.

A pesar de la escasa presencia de cuadrantes, el trazado de la micro ruta fue establecido de forma tal que lograra brindar servicio a cada uno de los comercios existentes. Se observan algunas vías sobre las cuales el recolector no transita, estos casos obedecen a las líneas del tren, vías privadas o calles sin salida donde no existe la posibilidad de que el camión pueda realizar el viraje para transitar según lo establecido en la ley de tránsito.

De la misma forma que en otras micro rutas, en el subsector D6 fueron necesarios los recorridos improductivos. Los vehículos recolectores deben abandonar el subsector para lograr trasladarse hacia el siguiente punto de recolección. Estos recorridos se presentan principalmente en el costado sur, sin embargo, en el mapa N°12 se observa que los recorridos sin recolección deben hacerse en el costado norte pero esta vez en menor medida.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar micro rutas óptimas de recolección selectiva, con la finalidad de brindarle al municipio un insumo que le permita ofrecer un servicio eficiente a los ciudadanos del cantón de San José. En virtud de lo anteriormente expuesto y analizado a lo largo del documento, a continuación se presentan las principales conclusiones y recomendaciones producto del desarrollo de la presente investigación.

5.1. Conclusiones

En el sistema de gestión integral de residuos intervienen distintos actores que interactúan ocupando espacios geográficos y administrativos en diferentes niveles, posibilitando una escala de análisis variada. Estos puntos de interpretación dan cuenta de la complejidad del sistema completo de los residuos en el cual se introduce la geografía como ciencia y disciplina, con la posibilidad de contribuir a su análisis desde una dimensión temporal y espacial. Este proyecto incorpora a la geografía en el tema de gestión integral de residuos sólidos, principalmente en el ámbito nacional demuestra que los geógrafos no están pensando únicamente en el entorno de los SIG y su consiguiente creación cartográfica. La propuesta aparte de ser una contribución para la Municipalidad de San José, es un aporte para la geografía, particularmente la geografía aplicada, ya que desde esta ciencia el tema de la GIRS no ha sido explorado y se demuestra que los geógrafos poseen una alta capacidad de analizar y entender problemas sociales para proponer soluciones junto a profesionales de otras disciplinas.

Actualmente Costa Rica cuenta con un marco jurídico concreto en materia de Gestión Integral de Residuos Sólidos. La legislación vigente es un instrumento importante para que los sectores de producción y consumo manejen y dispongan sus residuos sólidos de forma ambientalmente sostenible. A pesar de la existencia de un marco regulatorio nacional, existe un gran número de empresas privadas, instituciones, municipios, entre otros, que no han incorporado estrategias para el manejo y disposición de los residuos según lo establecido por las normas nacionales. Con esta investigación la Municipalidad de San José aspira a marcar la pauta y se une a otros municipios en Costa Rica que dirigen esfuerzos dentro de sus límites cantonales

para minimizar los impactos ambientales que se presentan como producto de las actividades de desarrollo.

El proyecto permitió identificar que a nivel nacional no existe una propuesta que esboce una metodología similar a la presente, ya que el método fue contabilizar, caracterizar y georeferenciar los residuos sólidos de un área y posteriormente diseñar las rutas ideales para brindar el servicio de recolección. Con la implementación de la presente propuesta la Municipalidad de San José (MSJ) es el primer gobierno local costarricense que, partiendo de un estudio de caracterización y tasas de generación de residuos sólidos valorizables, un estudio de habitabilidad y posterior análisis mediante el uso del entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), sin dejar de lado otras herramientas y técnicas de gran importancia para la geografía como el análisis espacial y la observación en campo, logra realizar un diseño óptimo de rutas de recolección de residuos sólidos valorizables.

Además representa un aporte importante para la MSJ debido a que actualmente solo se brinda el servicio de recolección selectiva de residuos valorizables a los usuarios que la solicitan mediante una llamada telefónica; con la implementación de la actual propuesta se podría pasar de recoger los residuos generados por unos pocos a brindarle el servicio generalizado a todo el área de estudio. Aplicando lo anterior, la principal área comercial de la capital contará con micro rutas optimas de recolección de residuos, establecidas espacialmente y con un recorrido único y un área específica, permitiendo recuperar un total estimado de 23 800 kg de papel y cartón y 17 120 kg de plástico de forma diaria, los cuales podrán ser valorizados y reincorporados a los sistemas productivos.

La elaboración de las bases de datos con información sobre la generación diaria de residuos valorizables, fue uno de los pasos fundamentales para cumplir el objetivo general de la investigación. Con información procedente del estudio de caracterización que llevó a cabo la MSJ bajo la contratación del Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional, se logró obtener un registro con la generación de residuos sólidos valorizables de cada negocio en la principal área comercial del cantón. Esto se llevó a cabo con el fin de incorporar *a posteriori* los datos al SIG y definir cuáles son las zonas donde se generan la mayor cantidad de residuos, sectorizarlas y trazar un recorrido idóneo para que los vehículos recolectores brinden el servicio de forma eficiente.

El modelo creado para el diseño de rutas óptimas de recolección de residuos en áreas urbanas, es la mayor contribución de esta investigación para las ciencias geográficas. Actualmente en Costa Rica no se cuenta con una propuesta que guíe a los gobiernos locales para generar sus propias rutas, lo cual ha influenciado en que las mismas sean planteadas de forma intuitiva por los jefes de los departamentos encargados y en otros casos por los choferes y personal de los vehículos recolectores. El modelo propuesto en la presente investigación fue diseñado pensando en la posibilidad de que los municipios lo analizaran y valoraran las posibilidades de replicarlo en sus respectivos cantones, ya que el mismo ofrece los lineamientos a seguir para diseñar las rutas óptimas de recolección de residuos. En este sentido, es un aporte que el investigador realiza para incentivar y ayudar a que las municipalidades del país puedan cumplir con una de las fases más importantes dentro del sistema de gestión integral de residuos sólidos y de paso cumplir con lo que estipula la Ley para la Gestión Integral de Residuos N° 8839.

En el proceso se analizaron proyectos análogos y en ninguno de los casos se conocía la generación de residuos a nivel de predio, es decir, se desconocía el potencial existente en cada área de generar residuos con características ideales que les permitiera ser reincorporados al sistema de producción y por lo tanto se desconocía la cantidad de recurso que debía ser invertido para llevar a cabo el servicio. Por ello, la presente investigación le brinda una posibilidad a los departamentos municipales a cargo de la toma de decisiones para que gestionen y planifiquen los recursos en materia de gestión de residuos sólidos valorizables y de esta forma brindar el servicio que les corresponde de manera eficiente.

Uno de los principales vacíos de esta investigación y que se transforma en un reto para futuros investigadores es identificar las características (trazados, tiempos, cantidad de camiones, cuadrillas, entre otros) del sistema de recolección con el que cuentan los municipios, para posteriormente diseñar una propuesta y definir si existe posibilidad de optimización del sistema para que los tomadores de decisiones seleccionen la mejor opción para invertir los fondos públicos (en otras palabras, un estudio de optimización). La presente propuesta también podría verse fortalecida al incorporar un estudio financiero de los costos fijos y variables del proceso de recolección de residuos sólidos valorizables. Se considera importante que propuestas de este tipo

incorporen los estudios financieros para que los departamentos atinentes cuenten con un insumo más que les permita llevar la propuesta de la teoría a la práctica.

Los objetivos planteados al inicio de esta investigación fueron alcanzados satisfactoriamente. Sin embargo, se presentaron problemas debido a la desactualización de los datos. Se debe tener claro que la mayoría de la información de un sistema de gestión de residuos son muy susceptibles al cambio, la vialidad por ejemplo es una variable con capacidad de cambiar de un momento a otro de forma significativa y presentando serios problemas para la prestación del servicio de recolección. Lo anterior en virtud de mejorar futuras investigaciones de esta naturaleza.

5.2. Recomendaciones

- Para replicar el presente estudio en otros municipios se recomienda primeramente llevar a cabo un estudio de caracterización y tasas de generación de residuos sólidos en el cual es altamente recomendable la participación de un geógrafo. Lo anterior debido a que en esta primera fase los profesionales de otras áreas generan información sumamente importante pero por sus características puede ser muy generalizada o carecer de su contextualización territorial. Con la participación de un profesional en geografía es posible generar información que pueda ser interpretada, procesada e implementada en los diferentes ámbitos y escalas requeridos.
- Se recomienda llevar a cabo previo a la puesta en marcha del proyecto, un proceso de información y concientización hacia los propietarios y funcionarios de los predios comerciales en el interior del área de estudio, de forma que cuenten con información clara y precisa acerca de rutas, horarios y regulaciones. Esto para disminuir la fuga de material en manos de indigentes y trabajadores informales.
- Se recomienda a la Municipalidad de San José el uso de vehículos que permitan realizar una recolección selectiva de materiales valorizables, esto permitirá disponer los residuos en el Centro de Acopio de una forma diferenciada y no se invertirá en mano de obra que separe el material.
- Se recomienda utilizar el método de recolección en acera y mediante el aviso de una campana que sea tocada por algún miembro de la cuadrilla recolectora. La propuesta se

realiza debido a que el método de acera es el que menos recursos necesita para llevar a cabo la recolección, la campana es un método para alertar a los comercios de que el vehículo está cerca y que pueden disponer sus residuos en la acera. Este método es muy beneficioso principalmente en épocas de lluvia y en áreas donde hay una gran densidad de indigentes.

- Se recomienda que después de que el sistema se encuentra funcionando eficientemente, es necesario revisarlo una o dos veces al año, ya que es inevitable que se presenten cambios a lo interno de la ciudad. Dichos cambios pueden provocar aumento en la cantidad de residuos sólidos en algunos sectores, incremento del tránsito en ciertas vías, generarse nuevos sectores habitacionales, entre otros. Por lo antes expuesto, el proceso para mejorar el sistema de recolección de residuos sólidos municipales, requiere una atención ininterrumpida y responsable tanto de las autoridades competentes como del público en general.
- Para obtener mejores resultados, se recomienda realizar el trazado de los recorridos de forma sistemática, mediante software especializados para tal tarea y de esta forma disminuir el error que el trazado manual podría ocasionar.

6. TRABAJOS CITADOS

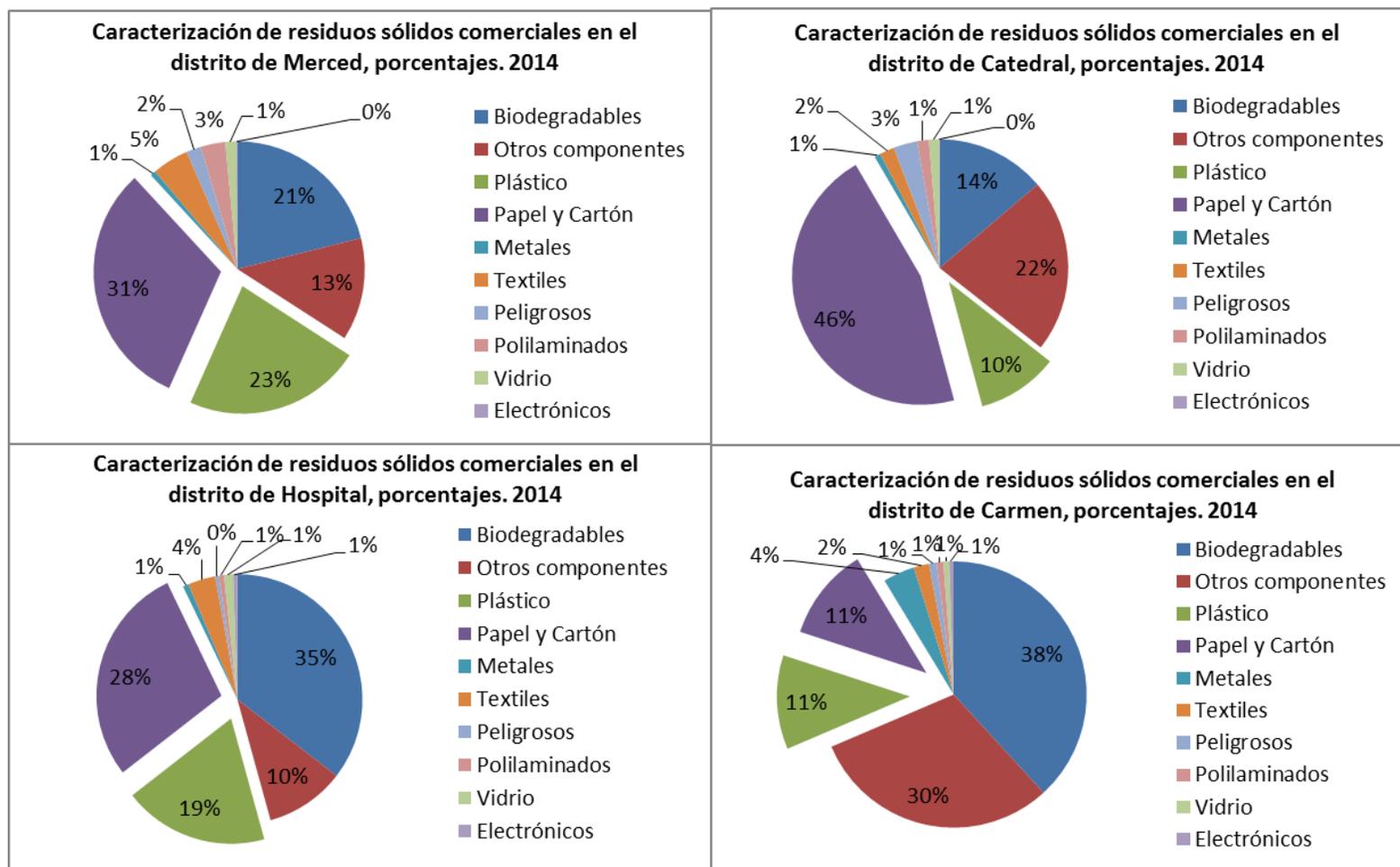
- Arias Garro, J. (03 de octubre de 2016). Recolección y manejo de los residuos sólidos urbanos en el cantón de San José. (D. A. Leitón, Entrevistador)
- Azofeifa, M. (24 de Octubre de 2016). Centro de acopio municipal “Fernando Matamoros”. (D. A. Leiton, Entrevistador)
- Barrantes Echevarría, R. (1999). *Investigacion: Un camino al conocimiento un enfoque cualitativo y cuantitativo*. San José: Universidad estatal a Distancia.
- Barrantes Echeverría, R. (2013). *Investigación: Un camino al conocimiento*. San José: Universidad Estatal a Distancia.
- Bertolino, R., Fogwill, E., Chidiak, M., Cinquangelis, S., & Forgione, M. (6 de Julio de 2015). PARTICIPACION CIUDADANA Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS. Obtenido de <http://www.unicef.org/argentina/spanish/EcoclubesbajaWEB.pdf>
- Bonivento, S. Y. (2005). Guía para la implementación de la metodología de formulación de los planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos "PGIRS", Estudio de caso. Bogotá, Colombia.
- Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., Rodríguez Espinoza, V., Díaz Muñoz, M., Rodríguez Durán, A., & Vela Gayo, A. (1999). Localización de centros de tratamiento de residuos: una propuesta metodológica basada en un SIG. Madrid, España.
- Castro Buitrago, E., Vásquez Santamaría, J. E., & Jaramillo de los Ríos, L. F. (2011). La planeación urbana y la política de gestión de residuos sólidos en Medellín, cuestiones preliminares para un análisis jurídico y económico. Medellín, Colombia: Sello.
- Cusco Tenesaca, J., & Picón Aguirre, K. (2015). Optimización de rutas de recolección de desechos sólidos domiciliarios mediante uso de herramientas SIG. Cuenca, Ecuador.
- Cusco, J., & Picón, K. (2015). OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG. Cuenca, Ecuador.
- Echavarría, T. R. (2009). Convenios Internacionales y Ambiente: Recomendaciones para una mejor aplicación de los convenios seleccionados en los países de la iniciativa del Corredor del Pacífico Este Tropical. San José, San José, Costa Rica.
- Goicoechea Castaño, M., & Goicoechea Castaño, M. I. (s.f). Sistema de Información Geográfica aplicados a residuos sólidos urbanos. Bueu, Pontevedra, España.

- Gutiérrez Galicia, F. (2008). Análisis del Sistema de recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando Sistemas de información Geográfica (SIG). Morelia, México.
- Ibáñez, J., & Corropoli, M. (2002). Valorización de residuos sólidos urbanos. Washington, Estados Unidos.
- Ingunza, M. F. (28 de Diciembre de 2012). *Dialnet*. Obtenido de file:///C:/Users/deivis/Downloads/Dialnet-DesarrolloSostenibleUnConceptoDeEsteTiempo-5171117.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos*. (Enero de 2016). Obtenido de <http://www.inec.go.cr/Web/Home/GeneradorPagina.aspx>
- Marín, R; Ramírez, S;. (2010). Taller sobre Mejores Prácticas Ambientales, Educación Ambiental y Gestión de Residuos Sólidos. Federación de Gobiernos Locales Costarricenses Fronterizos con Nicaragua (FGLCFN). San José, San José, Costa Rica.
- Márquez Pérez, J. (S. f). Macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales . Sucre, Sincelejo, Colombia.
- Méndez Henderson, M. F., Otárola Carvajal, M., Villalobos Araya, H., & Herrera Murillo, J. (2014). *Estudio de Caracterización de residuos sólidos y definición de rutas de recolección para el cantón de San José*. San José.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (12 de Setiembre de 2016). Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM. San José, San José, Costa Rica.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (23 de Octubre de 2015). *Dirección de Gestión de Calidad Ambiental Costa Rica*. Recuperado el 14 de Enero de 2016, de <http://www.digeca.go.cr/legislacion/decreto-27378-reglamento-sobre-rellenos-sanitarios>
- Ministerio de Salud Costa Rica. (2011). *Ley 8839 para la Gestión Integral de Residuos*. Recuperado el 8 de Enero de 2016, de <http://www.ley8839.go.cr/index.php/32-ley-8839-para-la-gestion-integral-de-residuos>
- Municipalidad de San José. (01 de Diciembre de 2011). Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PMGIRS) del Cantón de San José. San José, San José, Costa Rica.
- Municipalidad de San José. (2014). *Boletín Informativo. Observatorio Municipal*. San José: Observatorio Municipal.
- Municipalidad de San José. (2014). *Reformas a los Reglamentos de Desarrollo Urbano del Cantón de San José (antes reglamentos del plan director urbano de San José)*. San José: Departamento de Comunicación Municipalidad de San José.

- Pacione, M. (2011). *Applied Geography: Principles and Praxis*. Glasgow, Escocia.
- Plataforma Interinstitucional. (Junio de 2007). *Plan de Residuos Sólidos Costa Rica*. San José, San José, Costa Rica.
- Procuraduría General de la República. (17 de Agosto de 2015). *Sistema Costarricense de Información Jurídica*. Recuperado el 20 de Enero de 2016, de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=68467&nValor3=98137&nValor5=2
- Sandoval, I. (27 de Setiembre de 2016). Tibás Recicla. (D. A. Leiton, Entrevistador)
- Seguí Pons, J. M., & Martínez Reynés, M. R. (2004). *Geografía de los Transportes*. Mallorca: Universidad de las Islas Baleares, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico.
- Sepúlveda Vargas, D. (2013). Análisis espacial de los sistemas de gestión municipal de los residuos sólidos domiciliarios: dos casos de estudio, comunas de caldera y Olmuhé. Santiago, Chile.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1984). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Volumen I*. Madrid: McGraw-Hill, Inc.
- Timm, J. (2013). *Gestión de residuos sólidos urbanos documento destinado a docentes*. Argentina.

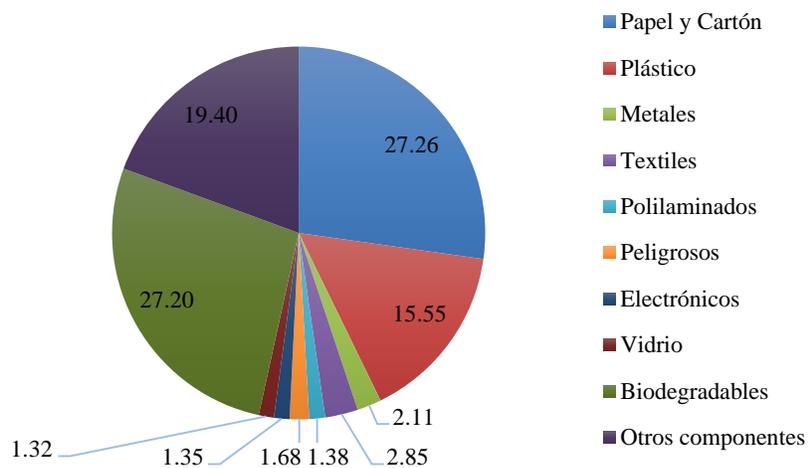
7. ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de residuos sólidos comerciales por distrito, 2014.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del estudio de caracterización, 2014

Anexo 2. Caracterización general de los residuos para el sector comercial de San José, porcentajes, 2014.



Fuente: Estudio de Caracterización elaborado por el Laboratorio de Análisis Ambiental, 2014

Anexo 3. Legislación costarricense aplicada al manejo de residuos sólidos

Los proyectos y procesos dirigidos a tratar el tema de gestión de residuos sólidos, deben analizar y tomar en cuenta la reglamentación y legislación nacional vigente. A continuación se incorpora dicha información con base al Plan de Residuos Sólidos elaborado en el año 2007 por el programa CYMA.

Ley/ Plan/ Política	Numero/ Fecha	Temas más relevantes para la GIRS
Ley General de Salud, MINSALUD	Ley No. 5395 de 30 de Octubre de 1973 y sus reformas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Obligación de separar, recolectar, reutilizar y disponer finalmente los residuos. ✓ Competencias de las municipalidades en recolección, acarreo y disposición de residuos ✓ Obligación de las personas de utilizar esos servicios y contribuir a su financiamiento ✓ Competencias de Ministerio de Salud para autorizar sistemas de recolección, transporte, acumulación, recuperación, aprovechamiento y disposición final de residuos. ✓ Obligación de generadores de desechos que por su cantidad o por sus características no pueden usar servicio ordinario, para contar con sistemas de separación, recolección y disposición final.
Ley Orgánica del Ambiente, MINAE	Ley No. 7554 de 4 de Octubre de 1995	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Obligación de someterse a una evaluación de impacto ambiental para aquellas actividades que generen residuos peligrosos. ✓ Actividades productivas deben evitar depósito de residuos en suelo ✓ Prohibición de importar desechos para la disposición final, salvo para reciclado o reutilizado ✓ Prohibición de importar desechos radioactivos y tóxicos
Plan Nacional de Manejo de Desechos de Costa Rica (elaborado año 1991), MINSALUD	Decreto Ejecutivo No. 22932-S-MIRENEM de 24 de diciembre de 1994	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Marco de referencia que rige las estrategias de solución integral de corto, mediano y largo plazo para el manejo adecuado de los desechos del país. ✓ Establece la necesidad de promover “una estrategia nacional para el manejo de desechos, con criterios técnicos y científicos, tendiente a disminuir su generación”. <p>El Plan nunca fue implementado.</p>
Código Municipal	Ley No. 7794 de 27 de Abril de 1998 y sus	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Establece las competencias municipales en el tema. ✓ Establece la forma de cobrar las tasas por los servicios ✓ Establece la posibilidad de dar los servicios en

	reformas	concesión o en conjunto con otras municipalidades. Establece sanciones por incumplir regulaciones sobre residuos.
Reglamento sobre Rellenos Sanitarios.	Decreto Ejecutivo No. 27378 de 9 de octubre de 1998 y sus reformas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Clasifica a los rellenos sanitarios en manuales y mecanizados. ✓ Establece las características que deben tener las propiedades donde se construyan rellenos sanitarios. ✓ Establece los permisos que debe tener un relleno sanitario,
Reforma al reglamento sobre Rellenos Sanitarios	Decreto Ejecutivo No. 36590-S de 2 de junio de 2011	Indica que mientras no exista en el país plantas de tratamiento o rellenos de seguridad para residuos peligrosos, éstos se entierran en los rellenos sanitarios en celdas separadas.
Reglamento sobre las características y el listado de los desechos peligrosos industriales	Decreto Ejecutivo No. 27000 de 29 de Abril de 1998	Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales	Decreto Ejecutivo No. 27001 de 29 de Abril de 1998	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Establece responsabilidad del generador por el tratamiento y disposición final ✓ Obliga a contar con un adecuado sistema de manejo de desechos que incluya generación, acumulación y almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final. ✓ Obliga a realizar acciones de reducción de desechos peligrosos para manejar la menor cantidad posible. ✓ Obliga a clasificar adecuadamente sus desechos peligrosos, colectándolos separadamente en el momento que se producen e identificarlos y clasificarlos ✓ Obliga a mantener al día la siguiente información: Puntos del proceso donde se generan desechos peligrosos, puntos donde es posible reducir y proporción de desechos que puede ser evitados en cada punto de generación.
Plan Nacional de Desarrollo 2006 – 2010; MIDEPLAN	Enero 2007	Como marco orientador del Gobierno establece, entre otros, la necesidad de dar “un tratamiento adecuado a los desechos sólidos, a través de mecanismos para reducir, reciclar y procesar los desechos sólidos”.
Plan Nacional de Residuos Sólidos (PRESOL)	Marzo 2007	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Garantizar que el manejo de todos los residuos generados en Costa Rica se realice de forma ambiental, social y económicamente adecuada. ✓ Aumentar la valorización de los residuos ✓ Crear una base para inversiones futuras en la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS).

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fomentar soluciones regionales y la cooperación entre gobiernos locales.
Ley para la Gestión Integral de Residuos	Ley No. 8839. 13 de julio del 2010	Esta Ley tiene por objeto regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación.
Política Nacional para Gestión Integral de residuos Sólidos 2010-2021	2011	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene como propósito definir el marco normativo acorde a las responsabilidades de los diferentes sectores, instituciones y/u organizaciones que trabajan con la gestión integral de residuos. ✓ Tiene como propósito fomentar e implementar el tema de la gestión integral de residuos en programas de estudios formales e informales. ✓ Fortalecimiento de las municipalidades para la formulación e implementación de los Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos en cada cantón. ✓ Tiene como propósito contribuir al desarrollo sostenible del hábitat humano mediante la protección, restauración, mejoramiento y uso del ambiente, para promover una adecuada calidad de vida.
Plan Municipal de gestión Integral de Residuos Sólidos (PMGIRS) del Cantón de San José	1 de diciembre, 2011	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fortalecer la capacidad institucional para garantizar la sostenibilidad en el proceso de gestión y manejo integral de los residuos sólidos. Fortalecer a través de la participación ciudadana la implementación del PMGIRS. Planificar la gestión integral de los servicios y las operaciones. Implementar el manejo integral de los residuos sólidos en el Cantón de San José, con la participación de los actores sociales, que coadyuve con la calidad ambiental y de vida de la población. Desarrollar un proceso de educación, información y comunicación, en el plano institucional y cantonal, que afirme los valores y acciones en materia de gestión integral de residuos sólidos que propicie una sociedad responsable, una mejor calidad de vida y con una cultura ambiental.

Fuente: Elaboración propia con base en la legislación nacional, 2016

Anexo 4. Definición y operacionalización de variables.

DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES					
Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Técnica	Instrumento	Resultados esperados
Analizar los datos existentes sobre generación, caracterización y ubicación de residuos sólidos a partir del estudio de caracterización de residuos sólidos en San José, con el fin de crear una base de datos geoespaciales que represente la base fundamental para el diseño de las micro rutas de recolección de residuos valorizables en el área del proyecto.	Bases de datos utilizables en los sistemas de información geográfica.	Consiste en analizar la información que posee la municipalidad de San José, con el fin de determinar cuál de esa puede ser utilizada como insumo.	Lectura y análisis de documentos. Entrevistas a especialistas.	Ficha resumen. Cuestionario. Entrevistas.	Base de datos con información geoespacial.
Definir un modelo para la elaboración de micro rutas óptimas de recolección de residuos sólidos valorizables adaptada a las condiciones de la ciudad de San José.	Metodología para el diseño de micro rutas óptimas de recolección de residuos sólidos valorizables.	Es el conjunto de procedimientos racionales que permitirán el diseño de las micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el casco central comercial de San José.	Investigación bibliográfica vía web. Lectura y análisis de proyectos análogos. Trabajo de campo. Entrevistas.	Ficha resumen.	Metodología para diseñar micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables.
Diseñar una propuesta de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables para el casco central comercial del cantón de San José.	Micro rutas de recolección de residuos valorizables.	Consiste en diseñar diferentes rutas para recolectar papel, cartón y plástico en el casco central comercial de la ciudad de San José.	Experiencias de los casos de estudio que se pueden replicar en San José Análisis espacial. Trabajo de campo. Observación <i>in situ</i> .	Fichas (resultados) de los casos de estudio Fotografías aéreas. Mapas temáticos. Sistemas de Información Geográfica. Cámara fotográfica.	Propuesta de micro rutas de recolección de residuos sólidos valorizables en el casco central comercial de San José

Fuente: Elaboración propia, 2016

Anexo 5. Categorización y codificación de actividades económicas

Código	Clasificación	Detalle
04	Otros servicios: Financieros	Agencia bancaria
05	Otros servicios: Religiosos	Iglesias católicas, no católicas, organización religiosa
06	Otros servicios: Transporte	Parqueos
07	Industria o producción	Fábricas
08	Almacén o depósito	Bodegas de almacenamiento y distribución
09	Asistencia social	Albergues, hogares para niños, ancianos o indigentes
10	Información y Comunicación	Estación de radio, producción de programas de radio
11	Abarrotes	Pulpería, minisúper, supermercado, carnicería, pescadería, verdulería
12	Comercio general	Boutique, librería, floristería, joyería, celulares, pañalera, bazar, licorera, casa de empeño, mueblería, venta de materiales de construcción, venta de loterías, chances
13	Comidas y bebidas	Restaurantes, sodas, comidas rápidas, bar, panaderías, pizzería, heladería
14	Entretenimiento	Internet café, gimnasio, billar, boliche, video, cine, salón comunal, biblioteca, sala de juegos
15	Hospedaje	Albergue, hotel, motel
16	Asociaciones	Oficinas de cámara o asociación, asociación empresarial, alcohólicos anónimos
17	Salud	Hospital, consultorio médico, clínica dental, farmacias, veterinarias
18	Educación	Guarderías, escuela, instituto, academias

Código	Clasificación	Detalle
19	Servicios	Salón de belleza, lavanderías
20	Talleres	Mecánicos, ebanistería, enderezado y pintura, automotriz
21	Ferreterías	Centros de pintura, cerrajería
22	Oficinas Extraterritoriales	Embajadas
23	Oficinas del Gobierno	Oficina gubernamental administrativa (ICE)
24	Vehículos	Repuestos, venta de nuevos y usados, autolavado, llantas

Fuente: Elaboración propia según datos del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos y SICERE, 2014