
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA

INGENIERÍA AMBIENTAL

*PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL*

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
DEL CANTÓN DE MONTES DE OCA, SAN JOSÉ, COSTA RICA**

Realizado por:

DAVID ISASI HERNÁNDEZ PARRA

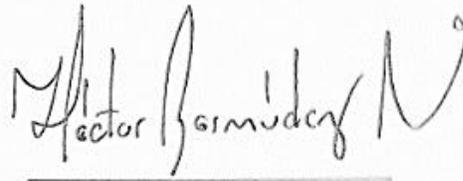
Dirigido por:

Ing. HÉCTOR BERMÚDEZ VÍQUEZ

CARTAGO, COSTA RICA

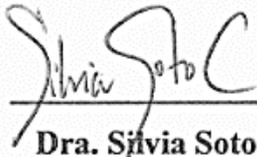
DICIEMBRE, 2012

MIEMBROS DEL TRIBUNAL



Ing. Héctor Bermúdez Viquez

Director de Tesis



Dra. Silvia Soto Córdoba

Lector 1



Ing. Lilia Gaviria Montoya, MBA

Lector 2

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Héctor Bermúdez por el tiempo dedicado para que este trabajo fuera una realidad, y por ser mi profesor en mis primeros pasos como profesional.

A todos los funcionarios de la Municipalidad de Montes de Oca que me colaboraron con valiosa información, tanto las jefaturas como a los choferes y operarios, que siempre estuvieron dispuestos en atenderme.

Un especial agradecimiento para Alejandra, el apoyo y las sugerencias cobran un valor más importante cada día.

DEDICATORIA

A mis padres: no existe mejor regalo en la vida que el apoyo incondicional que me han brindado en todas mis actividades, por estar día a día atentos de mis pasos e motivándome a concluir esta importante etapa. Este es un regalo para ustedes.

Tabla de contenido:

1. Resumen	1
2. Introducción	2
2.1. Definición del problema principal	2
2.2. Objetivos	3
3. Marco de Referencia	7
3.1. Aspectos generales de la recolección de residuos sólidos	7
3.2. Características de los residuos sólidos del cantón de Montes de Oca	10
4. Análisis del sistema de recolección de residuos sólidos de Montes de Oca.....	16
4.1. Resultado y análisis del levantamiento de campo de las rutas de recolección.....	16
a. Descripción de las rutas	18
b. Análisis de los recorridos de recolección:	44
4.2. Resultado y análisis de la cantidad de residuos sólidos recolectados en las rutas	49
4.3. Resultado y análisis del tiempo de limpieza de las rutas de recolección de residuos sólidos.....	54
4.4. Determinación del combustible empleado en la recolección de residuos sólidos .	56
4.5. Recolección separada de residuos valorizables	57
4.6. Resumen comparativo de la situación actual de la recolección de residuos sólidos en Montes de Oca.....	58
5. Propuesta de indicadores para el servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad de Montes de Oca	60
5.1. Indicador basado en cantidad de residuos sólidos	60
5.2. Indicador basado en el tiempo empleado en la recolección de los residuos sólidos	61
5.3. Indicador operativo del servicio de recolección de residuos sólidos	62

6.	Modelo de recolección de residuos sólidos para el cantón de Montes de Oca:	
	Propuesta de un sistema optimizado	63
6.1.	Dimensionamiento del sistema de recolección residencial para el cantón de Montes de Oca	63
6.2.	Delimitación del sistema de recolección residencial para el cantón de Montes de Oca	68
6.3.	Diagramación del sistema de recolección residencial para el cantón de Montes de Oca	73
6.4.	Recolección separada de residuos	86
6.5.	Distribución semanal de la recolección de residuos	88
7.	Análisis y validación del sistema de recolección de residuos	90
8.	Conclusiones	92
9.	Bibliografía	93
10.	Anexos:	95
10.1.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 1 Los Yoses.....	95
10.2.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 2 Mercedes	96
10.3.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 3 Barrio Pinto	97
10.4.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 4 Roosevelt	98
10.5.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 5 Vargas Araya.....	99
10.6.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 6 Cedral Marsella	100
10.7.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 7 San Pedro	101
10.8.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 8 Carmioles	102
10.9.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 9 Sabanilla	103
10.10.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 10 Santa Marta	104
10.11.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 11 San Rafael	105
10.12.	Recorrido actual del camión recolector en la ruta 12 Cedros	106

10.13. Datos de la cantidad de residuos recolectados por ruta entre el agosto 2011 y junio 2012.....	107
10.14. Sitios con el servicio de recolección separada de residuos valorizables.	108
10.15. Boleta de control de uso de vehículos de la Dirección de Servicios Ambientales.	109

Índice de figuras:

Figura 1: Procesos básico en un sistema de recolección de residuos sólidos.....	7
Figura 2: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Los Yoses	20
Figura 3: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Mercedes	22
Figura 4: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Barrio Pinto	24
Figura 5: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Roosevelt	26
Figura 6: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Vargas Araya	28
Figura 7: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Cedral Marsella	30
Figura 8: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta San Pedro	33
Figura 9: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Carmioles	35
Figura 10: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Sabanilla	37
Figura 11: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Santa Marta.....	39
Figura 12: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta San Rafael	41
Figura 13: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Cedros	43
Figura 14: Relación entre el recorrido total del camión y la distancia de caminos y calles para cada ruta de recolección.....	45
Figura 15: Relación de calles o trayectos repetidos sobre el recorrido total del camión recolector para cada una de las ruta.	46
Figura 16: Relación del recorrido en retroceso sobre el recorrido total del camión recolector para cada una de las rutas.	47
Figura 17: Relación entre la recolección manual (a pie) de las bolsas con residuos sobre la distancia de caminos y calles de cada ruta.	48
Figura 18: Relación entre el recorrido fuera del sector y el recorrido del camión recolector.	48
Figura 19: Diagrama de caja de los residuos recolectados en las rutas de Montes de Oca entre agosto del 2011 y junio del 2012, en toneladas métricas.	50
Figura 21: Resumen del proceso para determinar el tamaño óptimo de las rutas de recolección de residuos sólidos para Montes de Oca.....	69
Figura 22: Indicador de generación de residuos sólidos por metro lineal para las calles del cantón de Montes de Oca	70

Figura 23: Propuesta de nuevas rutas de recolección de residuos sólidos para el cantón de Montes de Oca.....	72
Figura 24: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Yoses.....	74
Figura 25: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Mercedes..	75
Figura 26: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Barrio Pinto y Sur de San Pedro.....	76
Figura 27: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos San Pedro Centro.....	77
Figura 28: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Lourdes y Barrio Saprissa.....	78
Figura 29: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Cedral Marsella.....	79
Figura 30: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Vargas Araya.....	80
Figura 31: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Carmioles.	81
Figura 32: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Sabanilla..	82
Figura 33: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Santa Marta.....	83
Figura 34: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Cedros.....	84
Figura 35: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos San Rafael.	85

Índice de tablas:

Cuadro 1: Modalidades de recolección de residuos sólidos (modificado de Tchobanoglous y Kreith, 2002).....	8
Cuadro 2: Consideraciones básicas para diseñar las rutas de recolección de residuos sólidos.	9
Cuadro 3: Población de los distritos de Montes de Oca.....	10
Cuadro 4: Organización de rutas y sectores de recolección de residuos sólidos.....	11
Cuadro 5: Distribución de cuadrillas del servicio de recolección de residuos sólidos.	13
Cuadro 6: Capacidad de los camiones recolectores de la municipalidad de Montes de Oca.	14
Cuadro 7: Caracterización de movimientos y recorridos de la recolección de residuos para la ruta de Los Yoses.	19
Cuadro 8: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Mercedes.	21
Cuadro 9: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Barrio Pinto.	23
Cuadro 10: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Roosevelt.....	25
Cuadro 11. Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Vargas Araya.	27
Cuadro 12: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Cedral Marsella.	29
Cuadro 13: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de San Pedro.	31
Cuadro 14: Modalidades de recolección de residuos para la Ruta de Carmioles.	34
Cuadro 15: Modalidades de recolección de residuos para la Ruta de Sabanilla.	36
Cuadro 16: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Santa Marta.	38
Cuadro 17: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de San Rafael.	40
Cuadro 18: Modalidades de recolección de residuos para la Ruta de Cedros.....	42
Cuadro 19: Comparación del recorrido total de rutas y distancias de caminos y calles para las rutas de recolección de residuos del cantón de Montes de Oca	44
Cuadro 20: Análisis estadístico básico de la generación de residuos sólidos por ruta entre agosto del 2011 y junio del 2012 en Montes de Oca.	49
Cuadro 21: Comparación de primer y segundo viaje del camión recolector para el servicio del cantón de Montes de Oca.....	53
Cuadro 22: Análisis estadístico básico del tiempo empleado para recolección de residuos sólidos en Montes de Oca por ruta entre enero y junio del 2012.	54

Cuadro 23: Jornada laboral promedio por cuadrilla entre enero y junio del 2012.	55
Cuadro 24: Consumo de combustible de los camiones recolectores de residuos sólidos de la Municipalidad de Montes de Oca entre enero y mayo del 2012.	57
Cuadro 25: Alternativas de distribución de los camiones recolectores.	67
Cuadro 26: Indicador de la generación de residuos sólidos por distancia para cada ruta del cantón de Montes de Oca.	68
Cuadro 27: Proyección de residuos a recolectar semanalmente en las nuevas rutas.	70
Cuadro 28: Distancia de los trayectos propuestos para las nuevas rutas de recolección de residuos sólidos.	86
Cuadro 29: Composición de los residuos solidos separados que son recolectados por la Municipalidad de Montes de Oca.	87
Cuadro 30: Proyección de residuos sólidos valorizable a recolectar por la municipalidad en relación a la cobertura del servicio.	88
Cuadro 31: Distribución propuesta para la recolección de residuos sólidos del cantón de Montes de Oca.	89

1. Resumen

La recolección de residuos sólidos en el cantón de Montes de Oca es responsabilidad del gobierno local. El sistema de recolección se desarrolló de forma empírica, creciendo conforme avanzó la ciudad y es por este motivo que el servicio carece de un estudio técnico que demuestre si existe un buen uso de los recursos humanos y materiales existentes. El presente trabajo se enfoca en reducir los costos económicos y ambientales de la recolección y transporte de los residuos sólidos.

Para determinar el estado actual del sistema, se realizó un levantamiento geo referenciado de las rutas de recolección, y se determinaron las cantidades de residuos en cada ruta, el tiempo empleado, la distancia, tipo de trayecto del camión recolector, y consumo de combustible. Se comprobó que no existe un uso óptimo de los recursos que dispone el municipio para brindar el servicio. El estudio demuestra que es posible ampliar 5 rutas de recolección y que, por el contrario, existen 4 que están sobre cargadas y no existe un balance adecuado en los parámetros mencionados.

Como producto final, se diseñó un nuevo sistema equilibrado de recolección de residuos para el cantón, así como la integración del mismo con la recolección separada de residuos valorizables, servicio que recientemente la municipalidad comenzó a brindar.

Palabras claves: rutas, recolección, residuos sólidos, Montes de Oca, desechos sólidos, servicio municipal.

2. Introducción

2.1. Definición del problema principal

La recolección de residuos sólidos en el cantón de Montes de Oca está a cargo del gobierno local. El servicio está dividido en recolección de residuos ordinarios, residuos de jardín y del aseo de vías públicas, y recolección de residuos no tradicionales (incluyendo los voluminosos). Además, en el año 2011 el municipio inició el servicio de recolección separada de residuos valorizables.

A pesar del esfuerzo realizado por el personal operativo para brindar un servicio adecuado a la comunidad, surgen problemas a nivel de planificación, logística, afectación ambiental y social, como son el derrame de lixiviados, restos de residuos dispersos en las vías públicas, impuntualidad del servicio y mal estado de los camiones recolectores. El sistema actual de recolección de los residuos sólidos lo desarrolló el personal del Departamento de Recolección de Desechos de la municipalidad. Sin embargo, la cantidad de maquinaria empleada, el número de funcionarios asignados al departamento y las rutas de recolección se definieron de forma empírica y se han realizado modificaciones a lo largo de los años conforme la ciudad fue creciendo pero siempre bajo un modelo carente de un respaldo teórico. A pesar de que la tarea de recolectar los residuos se cumple, existen inconvenientes que impiden ofrecer un mejor servicio:

- Existe un vacío de información la cual es requerida para organizar, planificar y proyectar las necesidades del servicio (o la información no es confiable). No se cuenta con la información detallada de la cobertura geográfica de cada una de las rutas de recolección, así como la cantidad de residuos recolectados en cada una, ni el tiempo empleado.
- Existe un uso intensivo de los camiones recolectores de residuos que acarrea problemas de desgaste y frecuentes averías, poco tiempo para brindar lavado y mantenimiento preventivo, corrosión del cajón y obstrucción del tanque de lixiviados del camión (y derrame en la vía pública).

- Existe un impacto negativo al servicio de recolección de residuos provocado por factores sociales. Se presentan problemas de obstaculización de las vías debido a vehículos mal estacionados, mal disposición de los residuos por parte de los usuarios frente a las casas (bolsas en mal estado que se rompen y dispersan los residuos en las calle), desconocimiento de los vecinos del horario de recolección y del tipo de residuos que se recolectan con el servicio ordinario.

Ante esta problemática, los funcionarios municipales encargados del servicio (Dirección de Servicios Ambientales - DISEA) se ven obligados a enfocar su trabajo en la parte operativa del servicio. Diariamente, se debe velar por el cumplimiento de la recolección, atender y resolver denuncias de la comunidad, organizar el personal, y atender las averías y los accidentes. Estas funciones, calificadas como urgentes para mantener el funcionamiento del servicio, consumen las horas labores de la DISEA y deja poco tiempo para realizar estudios y elaborar una planificación a largo plazo que busquen mejorar la calidad el servicio.

El presente trabajo tiene por objeto brindar un estudio técnico que respalde el servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad de Montes de Oca

2.2. Objetivos

El objetivo general del proyecto consiste en:

- *Reducir los costos económicos y ambientales del servicio de recolección y transporte de residuos sólidos en el cantón de Montes de Oca, optimizando la utilización de los recursos humanos y materiales que dispone el servicio.*

Se plantean dos objetivos específicos que corresponden a:

- *Diseñar y validar los indicadores para determinar la eficiencia del servicio de recolección de residuos sólidos.*

- *Desarrollar un modelo de recolección de residuos sólidos basado en criterios técnicos y económicos.*

2.3. Resumen Metodológico

Recopilación de información

Registro de información presente en el municipio relativo al servicio de recolección de residuos

- Por medio de entrevistas se recopiló la información relativa al servicio de recolección de desechos que se encontraba disponible en la municipalidad:
 - o Datos operativos del servicio: número de rutas de recolección, número de camiones, y distribución de horarios.
 - o Cantidad de residuos dispuestos en el relleno sanitario.
 - o Cantidad de combustible empleado en los camiones recolectores de residuos.
- Se realizó la clasificación y agrupación de la información recopilada.

Generación de datos no registrados del servicio de recolección de residuos

Se estudió cada ruta de recolección de residuos para las siguientes variables:

- Mediante visitas de campo y empleando un GPS de mano (marca Garmin – modelo 60CSx) se obtuvo el recorrido real del camión recolector. Se clasificó la información recopilada en distancia total de la ruta, distancia de caminos y calles, recolección en reversa, calles repetidas, recorrido fuera del sector y recolección a pie. Se contabilizaron las cantidades de grupos de residuos presentes en cada ruta (nota: ver definiciones en la página 15). Adicionalmente se registraron las maniobras peligrosas (reversas, giros no permitidos y calles intransitables) y sectores con disposición de residuos mediante contenedores comunales.
- Se obtuvo el tiempo del recorrido para cada ruta. Se empleó el reporte diario de los choferes de los camiones recolectores.

Análisis del sistema de recolección de residuos

- Se realizó un análisis estadístico básico a la información recopilada considerando:
 - Distancia de las rutas de recolección.
 - Cantidad de residuos por ruta.
 - Tiempo de recolección de las rutas.
 - Consumo de combustible.

- Se establecieron indicadores de eficiencia del servicio en base al análisis efectuado.

Propuesta de un modelo recolección de residuos

- Diseño de sistema para la recolección de residuos ordinarios:
 - Dimensionamiento del sistema: en esta sección se determinaron los requisitos para la prestación adecuada del servicio de recolección.

- Delimitación del servicio de recolección de residuos:
 - Considerando la información recopilada en la fase de análisis del sistema, se elaboró un mapa de generación de residuos sólidos del cantón de Montes de Oca por sector, empleando el software ArcMap 10.0.
 - Se delimitaron las 12 zonas de recolección empleando el software ArcMap 10.0.
 - Se calculó la generación teórica de residuos para cada zona y se adecuó a las necesidades de la Municipalidad.
 - Se elaboró un mapa con la propuesta de delimitación de los sectores para la recolección de residuos sólidos.

- Diagramación de las rutas de recolección:
 - Se definieron las calles a recolectar a pie o con el camión para cada una de las rutas.

- Se modelaron las calles empleando el software ArcMap 10.0.
- Se trazaron los recorridos del camión recolector.

- Recolección separada de residuos:
 - Se determinó la situación actual de la recolección de residuos sólidos separados.
 - Se realizó una proyección de los residuos por recuperar.
 - Se determinaron los requisitos del servicio.

- Distribución de la recolección de residuos sólidos:
 - Se construyó una organización el sistema de modo que se integre el servicio de recolección ordinario y la recolección separada de materiales.

- Análisis del sistema propuesto:
 - Se realizó un análisis teórico al sistema propuesto considerando la reducción en distancia, en tiempo y consumo de combustible.

3. Marco de referencia

3.1. Aspectos generales de la recolección de residuos sólidos

La administración de un servicio de recolección de residuos se convierte en una tarea compleja que implica una serie de aspectos y variables. Conforme se desarrolla una ciudad, la dificultad para brindar un servicio satisfactorio aumenta, debido a que la generación de materiales residenciales, comerciales, industriales, de parques y zonas verdes y la depositada por la población flotante, ocurre en un espacio reducido y con limitaciones de tiempo para la recolección. La labor es aún más compleja si agregamos la recolección separada de residuos (Tchobanoglous y Kreith, 2002). Formalmente, el sistema de recolección de residuos implica:

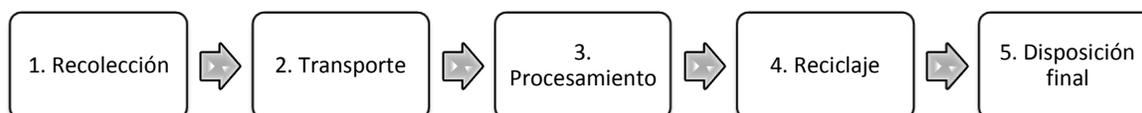


Figura 1: Procesos básico en un sistema de recolección de residuos sólidos.

De acuerdo con Tchobanoglous y Kreith (2002), se estima que entre el 50% y 70% de los costos del servicio se emplean en la recolección. Esto pone en evidencia que las mejoras al sistema deben ser prioritarias en mejorar dicho aspecto. La recolección inicia cuando el usuario traslada los residuos frente a sus casas (caso más frecuente en Costa Rica) o hasta los contenedores compartidos donde son cargados en el camión recolector. Existen diferentes modalidades de servicios resumidos en el Cuadro No.1, en donde residuos valorizables se refiere a los materiales que se pueden reutilizar o reciclar (presentan algún grado de aprovechamiento), los residuos ordinarios son todos menos los valorizables, y los residuos de jardín corresponden a los restos de árboles y materia orgánica producida en las zonas verdes. Para el caso de Costa Rica, los gobiernos locales deben adecuar los servicios a las necesidades particulares de cada cantón.

Cuadro 1: Modalidades de recolección de residuos sólidos (modificado de Tchobanoglous y Kreith, 2002).

A	Recolección sin separación en la fuente	Servicio de recolección conjunto para residuos ordinarios y de jardín en un mismo contenedor o bolsa.
B		Servicio de recolección conjunto para los residuos ordinarios y de jardín pero clasificado en bolsas diferentes
C		Servicio de recolección independiente para los residuos ordinarios y de jardín.
D	Recolección separada en la fuente	Servicio de recolección conjunto para los residuos ordinarios, valorizables y de jardín pero clasificado en bolsas diferentes.
E		Servicio de recolección conjunto para residuos ordinarios y de jardín en un mismo contenedor o bolsa. Servicio independiente para los residuos valorizables.
F		Servicio de recolección conjunto para los residuos ordinarios y valorizables pero clasificado en bolsas diferentes. Servicio independiente para los residuos de jardín.
G		Servicio de recolección independiente para los residuos ordinarios, valorizables y de jardín.

También, es frecuente que las autoridades locales presenten un servicio de recolección de residuos especiales o específicos, que incluye los materiales voluminosos. Estos se refieren a los escombros o materiales que por su tamaño no se pueden recolectar junto a los residuos ordinarios (CYMA 2011).

Al desarrollar un proyecto para crear nuevas rutas o modificar las existentes, se debe tener presente que no existe una regla universal para mejorar la eficiencia del servicio. Diversas técnicas descritas en la literatura enfatizan la importancia del sentido común y la experiencia del operador. Esta metodología es llamada heurística (Tchobanoglous y Kreith, 2002). En la literatura se encuentra un listado de los lineamientos básicos para desarrollar una ruta (Tchobanoglous y Kreith, 2002; Sakurai, 1980; Racero y Pérez, 2006). El cuadro 2 enumera las principales consideraciones para diseñar una ruta de recolección.

Cuadro 2: Consideraciones básicas para diseñar las rutas de recolección de residuos sólidos.

1	Revisar los requisitos o políticas locales para la recolección. Es común que la frecuencia o el día estén definidos.
2	Realizar un inventario del sistema, personal y maquinaria disponible.
3	Empezar y terminar la ruta en una calle principal o en las cercanías.
4	La ruta debe comenzar en el punto de mayor altura, de modo que el camión se llene conforme se desciende.
5	La ruta debe iniciar en las cercanía del plantel o garaje del camión y finalizar lo más cercano posible del sitio de disposición final.
6	Las calles de alto congestionamiento vehicular deben recolectarse en horas que no interfieran con el tránsito (madrugada o temprano en la mañana).
7	Las zonas de mayor generación de residuos deben recolectarse al inicio de la ruta.
8	Las zonas de baja generación de residuos o de casas dispersas deben recolectarse en un solo viaje o un solo día.
9	Los recorridos no deben estar fragmentados ni deben traslaparse.
10	Cuando sea posible, recolectar ambos lados de la calle al mismo tiempo.
11	Respetar los sentidos de circulación, evitar los giros a la izquierda y vueltas en U para reducir el riesgo de accidentes.

Los sistemas de información geográfica son empleados con frecuencia para encontrar el mejor recorrido. El procedimiento involucra etapas de recolección de datos (mapas, sitios de recolección y generación), análisis de la información, preparación de rutas provisionales, evaluación de las rutas y balanceo final (Racero y Pérez, 2006).

Para evaluar el sistema de recolección se emplean diversos indicadores económicos que están relacionados con el tipo de servicio brindado. Tchobanoglous y Kreith (2002) sugieren emplear la productividad por persona. Esta depende directamente del tamaño de la cuadrilla

(se emplea de 1 hasta 4 personas por cuadrilla), tiempo requerido para la recolección, tiempo requerido de viaje y tiempo requerido para la descarga de los residuos.

La productividad se mejora cuando el sistema es mecanizado (camiones capaces de cargar contenedores automáticamente), sin embargo este sistema no aplicable para todos los casos. Cuando el generador produce pocos residuos, se encuentran en puntos dispersos o cuando las calles son inaccesibles para el camión, es necesario instalar el servicio manual (Tchobanoglous y Kreith, 2002).

3.2. Características de los residuos sólidos del cantón de Montes de Oca

Montes de Oca es el decimoquinto cantón de la provincia de San José y sus 15,16 km² de territorio se ubican al este de la capital. Los datos del INEC (2012) señalan una población de 49010 habitantes distribuidos en sus cuatro distritos de la siguiente manera (Cuadro 3):

Cuadro 3: Población de los distritos de Montes de Oca.

Distrito:	Cantidad de habitantes:	Porcentaje:
San Pedro	23 853	48,7 %
Mercedes	4 688	9,6 %
Sabanilla	10 775	22,0 %
San Rafael	9 692	19,8 %
Total:	49 008	100,0 %

(Fuente: Resultados Preliminares Censo 2011, www.inec.go.cr)

La Municipalidad estima que la población flotante es cercana a 50 000 personas debido a la presencia de una zona comercial altamente desarrollada y de diversas universidades (Universidad de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, Universidad Latina de Costa Rica, Universidad Fidélitas, entre otras) (Bermúdez H. *com pers*).

El cantón genera entre 15 000 y 16 000 toneladas de residuos sólidos anuales, y de acuerdo con el Plan para la Gestión Integral de Residuos, la producción por habitante ronda de 0,83 kg/día (CEPGIRMO, 2011).

Servicio de recolección brindado por la Municipalidad:

La recolección de residuos en Montes de Oca se brinda para la totalidad del cantón y está a cargo del Departamento de Recolección de Desechos de la Municipalidad, el cual es una dependencia de la Dirección de Servicios Ambientales de dicho municipio. Esta dirección también incluye el Departamento de Aseo de Vías y Sitios Públicos, la Oficina de Gestión Ambiental y la Unidad Operativa de Cementerios (CEPGIRMO, 2011).

La Municipalidad de Montes de Oca ofrece servicios independientes para los residuos ordinarios, valorizables, voluminosos y los desechos de jardín. Los residuos ordinarios se recolectan dos días por semana utilizando un camión especializado. La recolección de residuos valorizables se efectúa dos veces al mes y de modo que no interfiera con los residuos ordinarios. Finalmente, los desechos de jardín se recolectan en forma independiente junto con los desechos producto de la limpieza de parques y zonas verdes. Este último servicio se realiza cualquier día de la semana (no existe una programación permanente) o por solicitud de la comunidad. La recolección de residuos voluminosos se brinda por solicitud de la comunidad y se programan 2 recolección anuales recorriendo la totalidad de las calles del cantón (CEPGIRMO, 2011).

El servicio se organiza en 6 rutas de recolección con 2 sectores cada una, y una ruta comercial destinada de cubrir los sectores del centro de San Pedro donde la generación de residuos es elevada. La frecuencia de recolección es 2 veces por semana en las rutas normales y 6 veces para la comercial (CEPGIRMO, 2011). Las rutas se distribuyen como se indica en el cuadro 4:

Cuadro 4: Organización de rutas y sectores de recolección de residuos sólidos.

Ruta:	Sector:	Nombre:	Detalle de la ruta:	Día/turno
1	1	Yoses		Lunes y Jueves turno mañana

			Vásquez Dent - Alameda - Mall San Pedro - Francisco Peralta	
1	2	Mercedes	Demás sectores Barrio Dent - Betania - La Paulina - Alma Mater - Urb. Buenos Aires - Urb. Harvard - Urb. Profesores - Guaimí - Alto Escalante - Calle Negritos	Martes y Viernes turno tarde
2	1	Barrio Pinto	Barrio la Granja - Urb. El Retiro Oriente - Sector Sur de la calle central y Barrio Pinto	Miércoles y Sábado turno mañana
2	2	Roosevelt	Barrio Roosevelt - Fuente de la Hispanidad hasta San Gerardo - Don Bosco	Miércoles y Sábado turno tarde
3	1	Vargas Araya	Vargas Araya - Monterrey - Gonzáles Flores Gazel - Nadori - Parte de Cedros	Lunes y Jueves turno tarde
3	2	Cedral Marsella	Sector de Cedros hasta el cruce de Santa Marta - Prados del Este - Miravalles - Urb. Marsella - Eucaliptos - Maruz - Arboleda - Tulín - El Roble - Periodistas - Calle Cubillo - Granadillas	Martes y Viernes turno mañana
4	1	San Pedro centro	Fuente Hispanidad hasta Muñoz y Nanne - Rotonda de la Bandera - Calle camino al Calazanz - Barrio Sapriisa - Alrededores de la UCR - Calle Pituca - Collados - La Cruz - Azaleas - Torreón	Lunes y Jueves turno mañana
4	2	Carmioles	Urb. Carmiol 1 y 2 - Urb. Alambra - San Marino - Calle La Española - Kesia - Arboleda - Calle Ballestero - Calle Novillos - Toledo	Miércoles y Sábado turno mañana
5	1	Sabanilla	Centro de Sabanilla hasta piscinas de la UCR - Urb. El Rodeo - Urb. Málaga - Paso Real - Alma Mater - Lantana - Paso Hondo - Luisiana - Damiana - Rosales - Calle Mora - Calle Níspero - Urb. La Familia	Martes y vienes turno tarde
5	2	Santa Marta Lourdes	Desde Muñoz y Nanne hasta Santa Marta - Calle Siles - Pinar - Lugano - Parte de Freses - Las Cuadras y Lourdes	Miércoles y Sábado turno tarde
6	1	San Rafael	Desde Urb. Alfred Nobel - Salitrillos - Andrómeda - Higuerillas - Vía Ronda - Alameda - Urb. Europa - Vista Real - Mansiones - Urb. Portón del Cafetal - Sinaí - Calle Estéfana - Rose Mary Karpinsky hasta	Lunes y Jueves turno tarde

			la campiña - Sol del Este - Calle Díaz- Barrio Holandés - Apacibles Valles	
6	2	Cedros	Escuela de Sabanilla hasta el cristo - Urb. La Españolita - Centro de Cedros - Urb. La Maravilla - Ana María Guardia - Calle El Chorro - Estefana Sur - Calle La Bamba - Urb. Cedros	Martes y Viernes turno mañana
7	-	Comercial	Calle 3 (“Calle de la amargura”) y alrededores, centros comerciales afiliados al servicio.	De Lunes a Sábado

Nota: La información se tomó de CEPGIRMO 2011, adicionalmente actualizada con Bermúdez H. *com pers* y Quesada M. *com pers*.

El servicio cuenta con 8 cuadrillas distribuidas como se indica en el cuadro 5:

**Cuadro 5: Distribución de cuadrillas del servicio de recolección de residuos sólidos
(Quesada M. *com pers*).**

Tipo de cuadrilla:	Número de cuadrillas:	Funcionarios:	Detalle:
Rutas normales	6	1 chofer y 4 peones	Cada cuadrilla tiene asignado cubrir 2 sectores (uno de mañana y otro de tarde).
Ruta comercial	1	1 chofer y 2 peones	La cuadrilla trabaja de lunes a sábado.
Residuos no tradicionales	1	2 operadores de vagoneta, 2 operadores de retroexcavador y 3 peones	La cuadrilla recolecta los residuos no tradicionales por puntos fijos de recolección o trabajos especiales.

El cuadro 6 resume el equipo disponible en la municipalidad para la recolección de los residuos sólidos ordinarios. También se dispone de un camión cerrado de 6 toneladas de capacidad para la recolección de los residuos valorizables, además de una vagoneta y un retroexcavador para los desechos voluminosos.

Cuadro 6: Capacidad de los camiones recolectores de la municipalidad de Montes de Oca (CEPGIRMO, 2011).

Placa:	Marca:	Modelo:	Capacidad		Observaciones:
			Peso (Ton)	Volumen (m ³)	
SM5055	Mack	2009	16	19	Estos camiones se emplean para cubrir las rutas 1 al 6.
SM5056	Mack	2009	16	19	
SM5057	Mack	2009	16	19	
SM3068	Iveco	1997	11	15	Se usa exclusivamente para la ruta comercial.

La municipalidad no dispone de un registro donde se especifiquen los criterios técnicos con los cuales se desarrolló la distribución de rutas y maquinaria descrita anteriormente. Esta situación indica que las rutas de recolección se desarrollaron de forma empírica basada en la experiencia del jefe del departamento y los choferes. El departamento ha realizado ajustes a las rutas conforme se ha desarrollado el cantón, por ejemplo, la cuadrilla que cubre la ruta comercial debe ayudar los días Lunes y Jueves al sector de San Rafael ya que el camión recolector no tiene la capacidad de transportar todos los residuos que se generan en dicha zona. Esta situación ocurre desde el año 2011 y es un señal que el servicio necesita de un estudio de fondo (Bermúdez H. *com pers*).

Cuando no existe un estudio técnico que sustente un servicio de recolección de residuos, es posible que existan opciones de mejora para reducir los tiempos de recolección, el uso de los camiones recolectores y el gasto de combustible (Racero y Pérez, 2006). Además, la

optimización del sistema de recolección de residuos contribuye a reducir el impacto ambiental del servicio.

4. Análisis del sistema de recolección de residuos sólidos de Montes de Oca

4.1. Resultado y análisis del levantamiento de campo de las rutas de recolección

El estudio de los sectores de recolección de residuos se inició con el trazo del recorrido del camión para determinar la cobertura geográfica del servicio. Se realizó una clasificación de la información recopilada de acuerdo con los siguientes parámetros:

Distancia de caminos y calles:

Definición: Corresponde a la distancia total de calles, caminos o servidumbres que abarca cada ruta. Es importante aclarar que la distancia de caminos y calles es un valor teórico (que se obtiene del mapa) que equivale a recorrer una vez cada calle por donde se brinda el servicio.

Valor buscado: Las distancias entre las rutas definidas por la municipalidad deben ser similares de modo que el esfuerzo de recolectar los residuos (tiempo y desgaste del personal) tienda a ser similar entre una ruta y otra.

Recorrido total del camión en la ruta:

Definición: Corresponde a la distancia total que recorre el camión desde el punto de inicio de la ruta hasta el punto final. Incluye todos los movimientos que realiza el camión, como transitar varias veces por una misma calle o las maniobras para girar y acomodar el camión. Únicamente se excluye el viaje al relleno sanitario.

Valor buscado: Este valor refleja la eficiencia de una ruta debido a que entre más cercano sea el valor a la distancia de caminos y calles, mejor va ser el recorrido del camión recolector.

Recolección en reversa:

Definición: Corresponde a la distancia recorrida por el camión en retroceso, al realizar la tarea de recolectar residuos. Esta situación es común en el cantón de Montes de Oca debido a que las calles son estrechas y el camión recolector no puede girar.

Valor buscado: Es recomendable que el recorrido en reversa sea el mínimo posible por ruta, ya que aumenta el riesgo de accidente.

Calles repetidas:

Definición: Se refiere a la distancia de calles que se recorren más de una vez durante el proceso de recolección de residuos de una ruta. Durante este trayecto el camión solamente se carga con residuos la primera vez que transita por dicha zona y las demás son de tránsito.

Valor buscado: Entre más alto sea la distancia de calles repetidas, mayor va ser el recorrido del camión en la ruta y se disminuye la eficiencia del trayecto empleado para la recolección.

Recorrido fuera del sector:

Definición: Se refiere a los casos donde, por motivos de fuerza mayor (calles estrechas, calles con un solo sentido u obstrucciones en la vía), el camión recolector debe salir del área geográfica de la ruta que se encuentra recolectando para realizar maniobras y posteriormente regresar a la ruta. Estas maniobras corresponden a giros en U o desplazamiento para reubicarse en la ruta asignada. Este desplazamiento del camión es improductivo ya que no carga residuos y retrasa el trabajo.

Valor buscado: Entre más alto sea el recorrido fuera del sector, mayor va ser el recorrido del camión en la ruta y se disminuye la eficiencia del trayecto empleado para la recolección.

Recolección a pie:

Definición: Corresponde a las calles, caminos o servidumbres por las cuales el camión recolector no circula y los residuos son acarreados manualmente por los operarios del servicio para depositarlos en calle principal.

Valor buscado: De acuerdo con la observación de campo, las calles recolectadas a pie son de difícil acceso para el camión porque son estrechas, con pendiente pronunciada o sin pavimento (con presencia de baches). Cuando se emplea el camión en estas condiciones aumenta el riesgo de accidente y de avería (mayor desgaste en condiciones adversas). Por lo tanto, es recomendable que la recolección a pie en una ruta aumente.

Grupos de residuos (amontonar):

Definición: Se refiere a los grupos de bolsas que realizan los operarios del servicio a partir de las canastas y bolsas individuales que disponen los usuarios del servicio frente a las casas, locales comerciales o industriales. Los grupos los realiza generalmente un operario antes de la llegada del camión recolector con el objetivo de realizar más rápido la carga de los residuos.

Valor buscado: La cantidad de grupos de residuos debe ser similar entre las rutas de modo que el esfuerzo de recolectar los residuos (tiempo y desgaste del personal) tienda a ser similar entre una ruta y otra.

A continuación se presenta una descripción de cada una de las rutas de recolección:

a. Descripción de las rutas

Ruta 1 Los Yoses:

Esta ruta abarca un área comercial altamente desarrollada, una zona mixta donde la actividad comercial más importante son oficinas y una zona predominantemente residencial. En la zona comercial el tráfico vehicular es alto. Además, como característica particular de la ruta, se presentan canastas cerradas con llave para evitar que personas ajenas al servicio municipal se lleven los residuos, probablemente, por la presencia de indigentes. Para la Municipalidad, esta situación retrasa el servicio ya que los operarios deben abrir una por una las canastas y además portar siempre el juego de llaves.

Cuadro 7: Caracterización de movimientos y recorridos de la recolección de residuos para la ruta de Los Yoses.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	12,41	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	154	Unidades
	Recorrido total del camión ¹	14,93	km
	Recolección en reversa	0,68	km
	Calles repetidas	2,64	km
	Recorrido fuera del sector	0,41	km
	Recolección a pie	1,21	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Los Yoses se muestra en el anexo 10.1. La figura 2 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

¹ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

Municipalidad de Montes de Oca - Dirección de Sevicios Ambientales Servicio de Recolección de Residuos - Ruta 1 Los Yoses

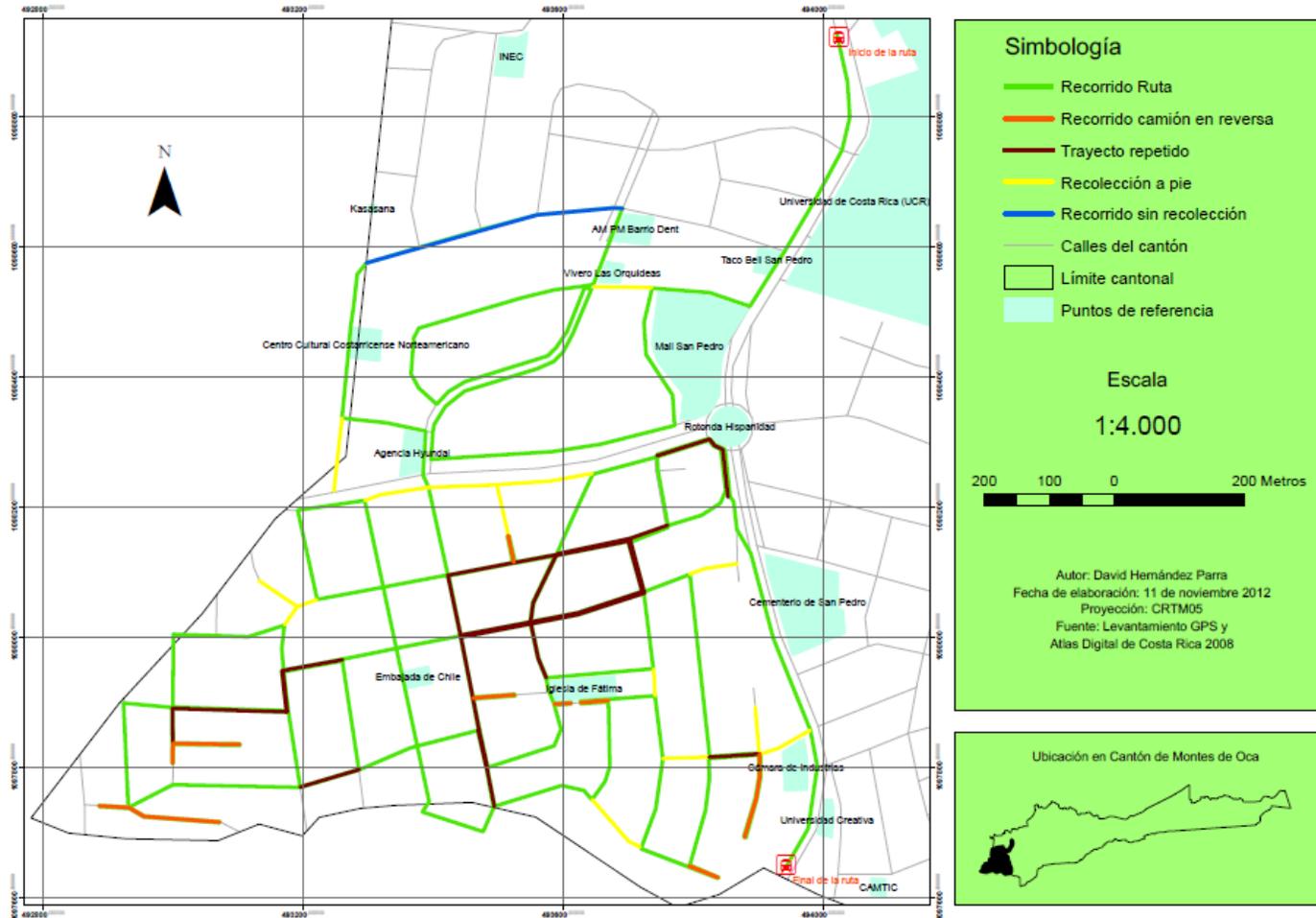


Figura 2: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Los Yoses

Ruta 2 Mercedes:

La ruta de Mercedes es en su mayoría una zona comercial y altamente transitada. Abarca el sector de Barrio Dent donde predominan las oficinas, el costado norte de la Universidad de Costa Rica donde coexisten apartamentos estudiantiles y servicios comerciales. Este aspecto es relevante ya que es un indicador de que la población flotante en este sector del cantón es elevada. El recolector debe atravesar 2 rotondas y la carreta de circunvalación de la ciudad de San José, y en consecuencia, alta presencia de vehículos todo el día.

Cuadro 8: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Mercedes.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	9,98	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	184	Unidades
	Recorrido total del camión ²	12,27	km
	Recolección en reversa	0,98	km
	Calles repetidas	1,61	km
	Recorrido fuera del sector	0,49	km
	Recolección a pie	0,79	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Mercedes se muestra en el anexo 10.2. La figura 3 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

² **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

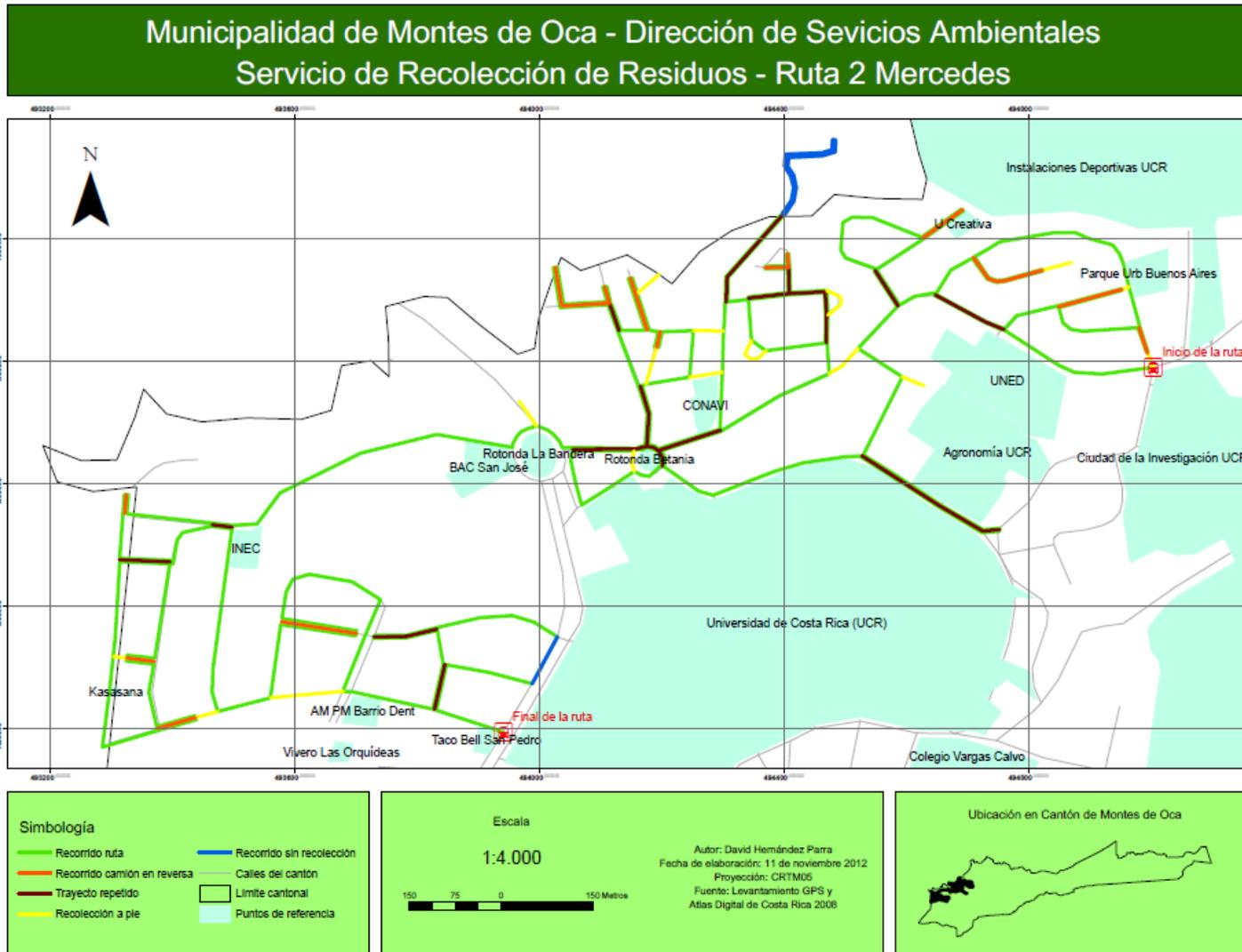


Figura 3: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Mercedes

Ruta 3: Barrio Pinto

La ruta Barrio Pinto es en su mayoría una zona mixta, donde coexiste comercio y residencias, de acuerdo con el Plan Regulador de Montes de Oca. Sin embargo abarca 500 metros de la carretera principal de San Pedro, en la cual únicamente se recolecta el costado sur de la calle.

Cuadro 9: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Barrio Pinto.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	8,52	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	161	Unidades
	Recorrido total del camión ³	9,03	km
	Recolección en reversa	0,65	km
	Calles repetidas	1,01	km
	Recorrido fuera del sector	No hay	km
	Recolección a pie	1,15	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Barrio Pinto se muestra en el anexo 10.3. La figura 4 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

³ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

Municipalidad de Montes de Oca - Dirección de Sevicios Ambientales Servicio de Recolección de Residuos - Ruta 3 Barrio Pinto

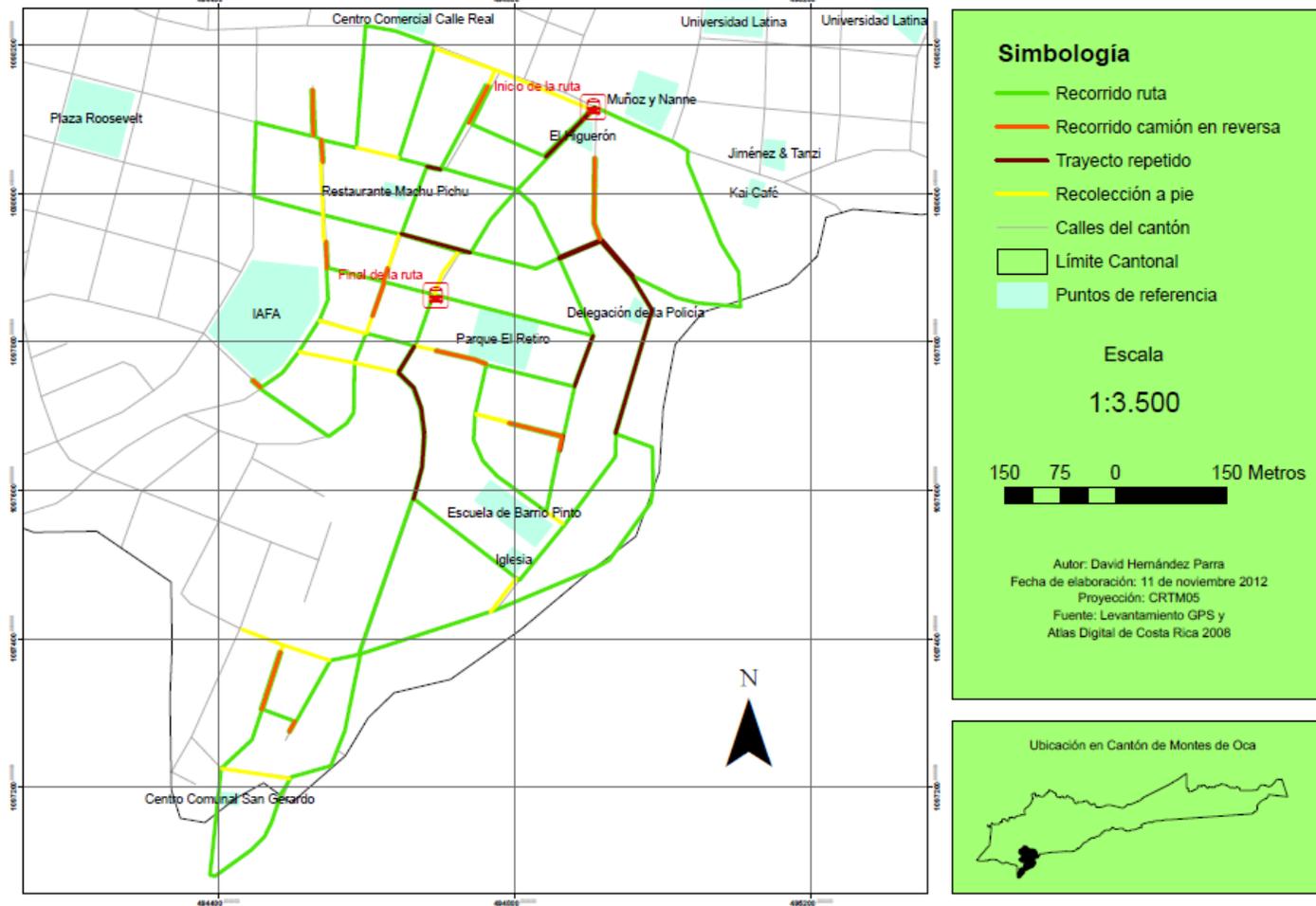


Figura 4: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Barrio Pinto

Ruta 4: Roosevelt

La ruta de Roosevelt recolecta residuos de la zona comercial del centro de San Pedro, debido a que cubre más de 700 metros de la carretera principal. Es importante resaltar que solamente se recolecta el costado sur de la carretera. Sin embargo, la mayoría de la ruta corresponde al Barrio Roosevelt donde predomina una zona mixta entre oficinas y zonas residenciales.

Cuadro 10: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Roosevelt.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	8,40	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	138	Unidades
	Recorrido total del camión ⁴	10,28	km
	Recolección en reversa	0,82	km
	Calles repetidas	1,11	km
	Recorrido fuera del sector	1,06	km
	Recolección a pie	1,11	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Roosevelt se muestra en el anexo 10.4. La figura 5 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

⁴ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

Municipalidad de Montes de Oca - Dirección de Sevicios Ambientales
 Servicio de Recolección de Residuos - Ruta 4 Roosevelt

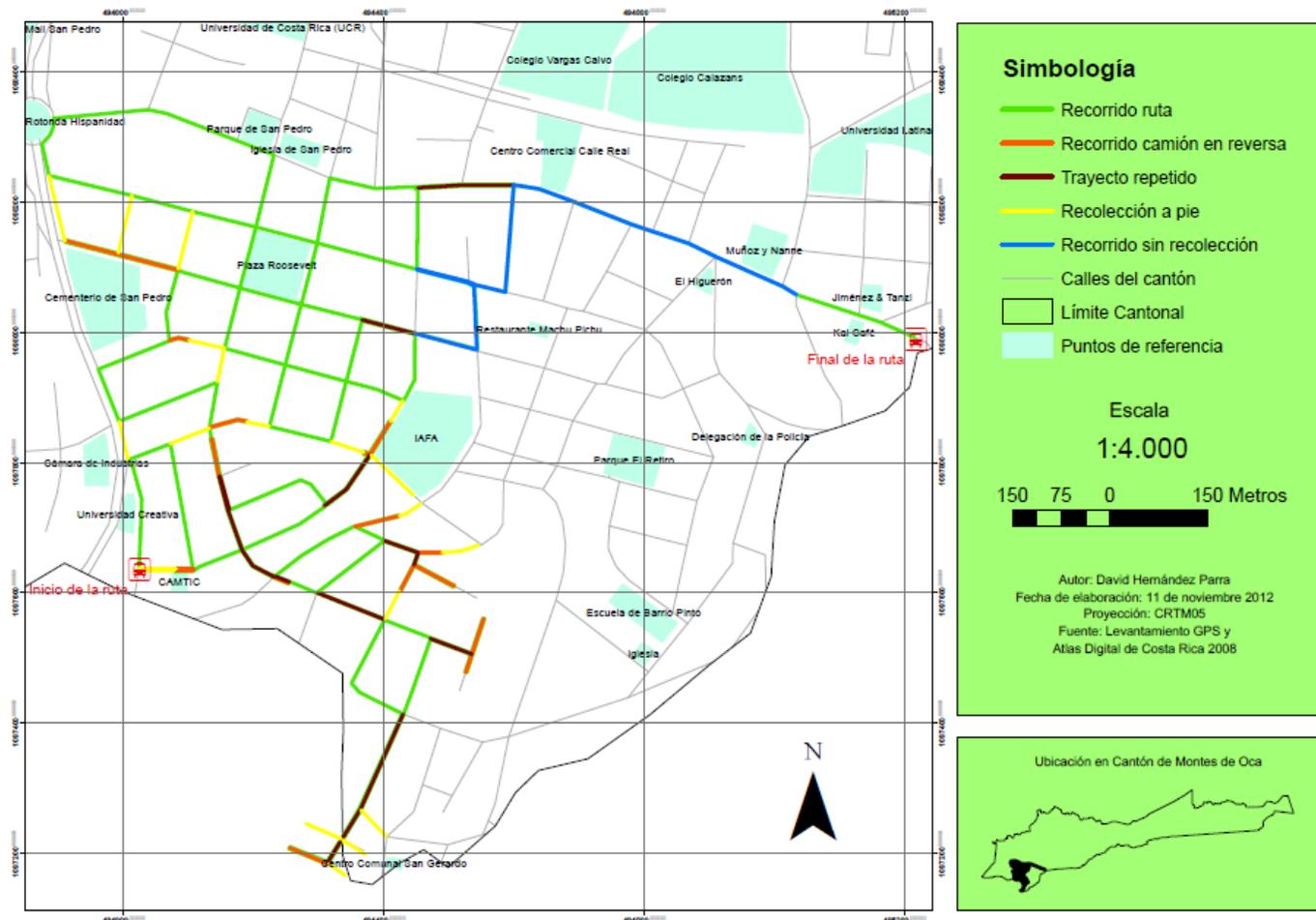


Figura 5: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Roosevelt

Ruta 5: Vargas Araya

La ruta de Vargas Araya corresponde a una porción del distrito de San Pedro donde se ubican tanto residencias como establecimientos comerciales. En ella podemos encontrar centros educativos, talleres, supermercados y numerosos apartamentos que dan servicio de alojamiento a los estudiantes de las universidades cercanas.

Cuadro 11. Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Vargas Araya.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	6,65	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	80	Unidades
	Recorrido total del camión ⁵	7,79	km
	Recolección en reversa	0,67	km
	Calles repetidas	1,19	km
	Recorrido fuera del sector	0,24	km
	Recolección a pie	0,96	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Vargas Araya se muestra en el anexo 10.5. La figura 6 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

⁵ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

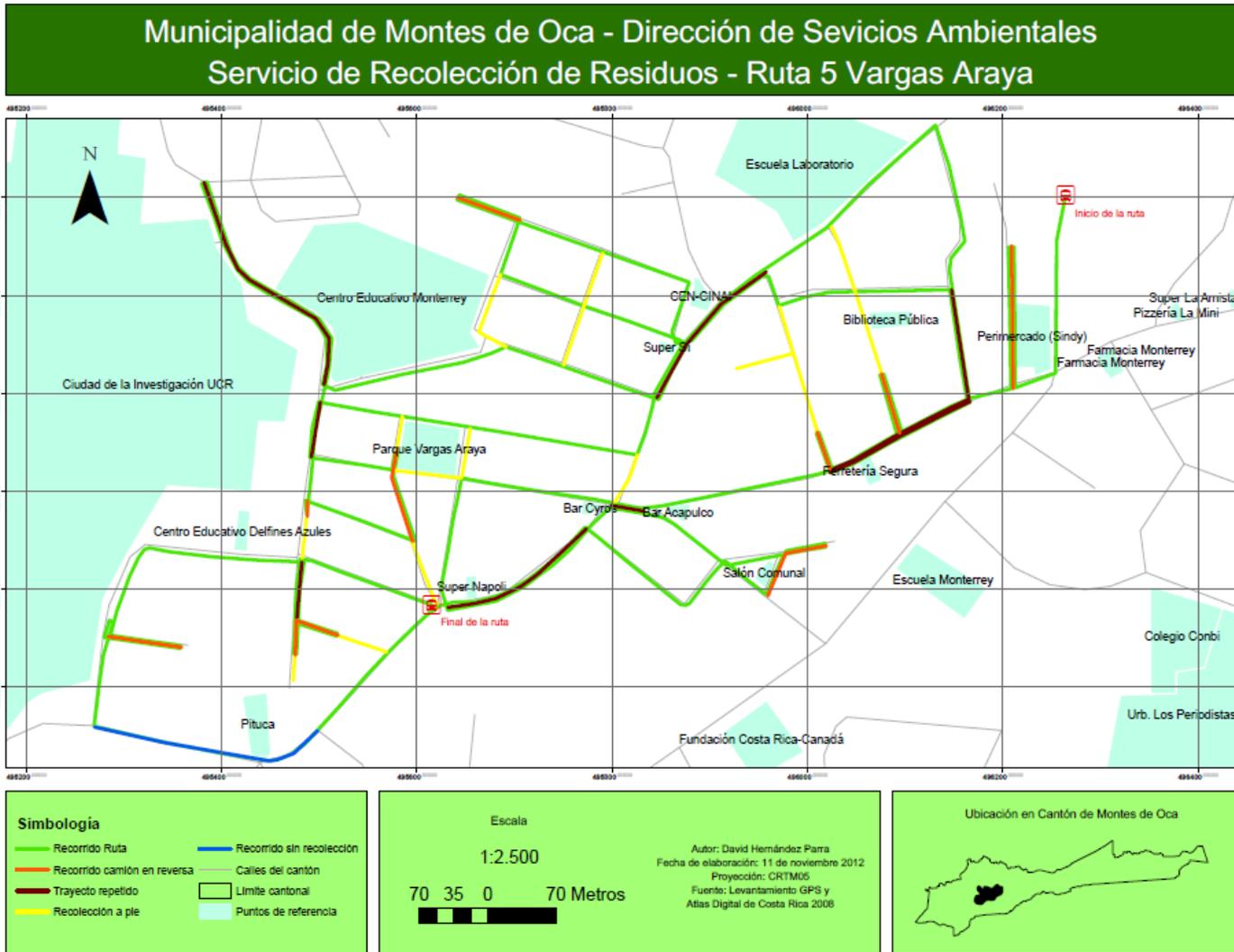


Figura 6: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Vargas Araya

Ruta 6: Cedral Marsella

La ruta de Cedral Marsella abarca dos calles considerablemente transitadas que comunican Lourdes con el Cristo de Sabanilla. A lo largo de estas calles, se combina zona residencial con abastecedores, escuelas y algunas instituciones. Sin embargo, la ruta en su mayoría es se ubica en una zona residencial.

Cuadro 12: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Cedral Marsella.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	9,81	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	152	Unidades
	Recorrido total del camión ⁶	14,19	km
	Recolección en reversa	1,67	km
	Calles repetidas	3,28	km
	Recorrido fuera del sector	0,44	km
	Recolección a pie	1,01	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Cedral Marsella se muestra en el anexo 10.6. La figura 7 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

⁶ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

Municipalidad de Montes de Oca - Dirección de Servicios Ambientales Servicio de Recolección de Residuos - Ruta 6 Cedral

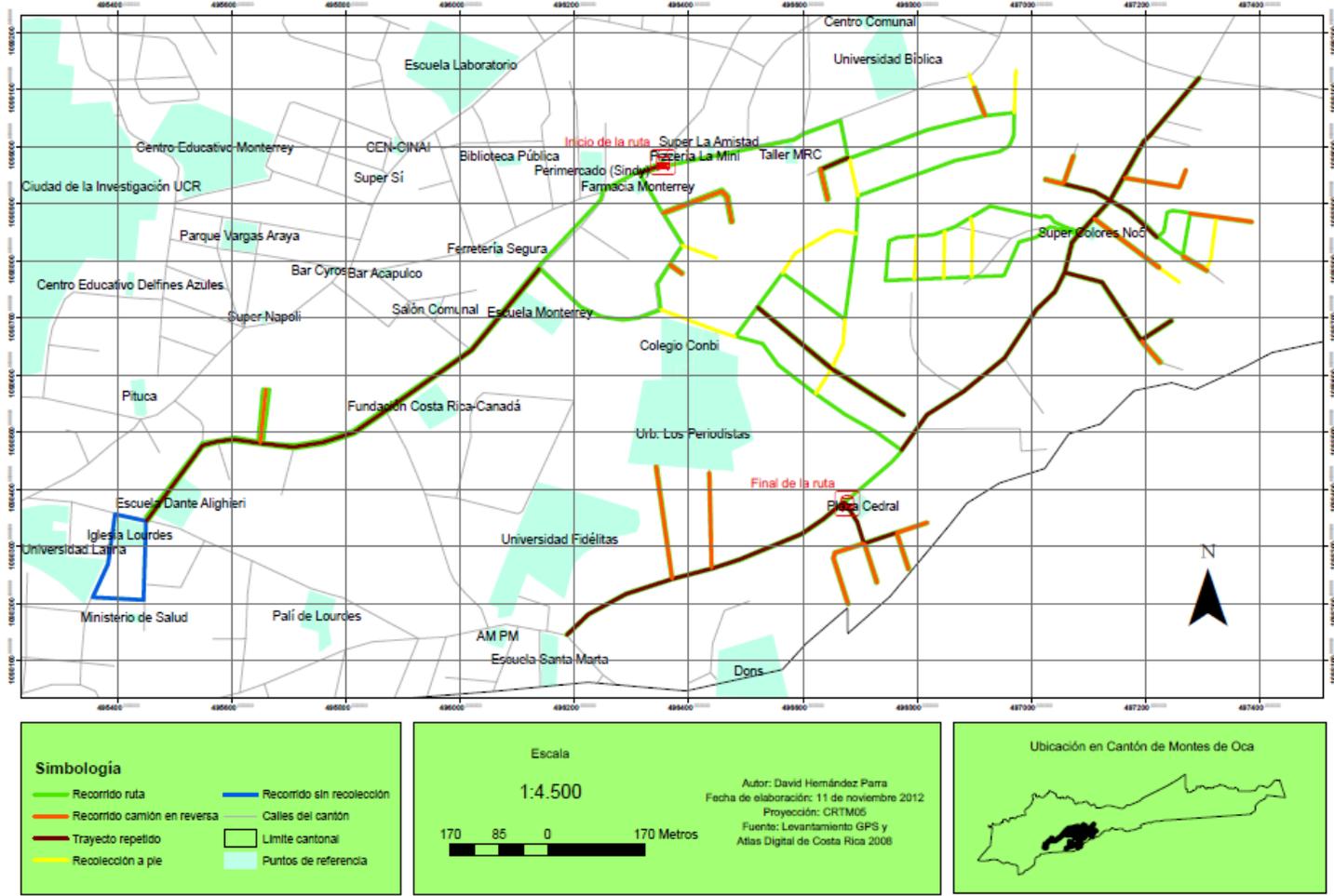


Figura 7: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Cedral Marsella

Ruta 7: San Pedro

La ruta San Pedro se ubica en la zona más transitada del cantón y corresponde a un área comercial. Abarca puntos importantes del cantón como son la Universidad de Costa Rica, la calle 3 (conocida como “calle de la amargura”) con numerosos bares y restaurantes, el costado norte de la carretera principal de San Pedro (desde la Fuente de la Hispanidad hasta el centro comercial Muñoz y Nanne) donde se ubica un importante desarrollo comercial, el costado este de la carretera de circunvalación (desde la Rotonda de la Bandera hasta la Fuente de la Hispanidad) y dos grandes colegios (Liceo Vargas Calvo y Colegio Calazans). Cabe destacar que al interior de la Universidad de Costa Rica es la propia institución la que se encarga de recolectar y disponer los residuos generados; y además los restaurantes y bares de la calle 3, así como otros establecimientos comerciales de alta generación de residuos sólidos, están inscritos en la ruta comercial de la municipalidad, motivo por el cual los residuos recolectan con un camión distinto. Por otro lado, debido a los ajustes aplicados a las rutas a los largo de los años, esta ruta también abarca la urbanización Coyados, la cual se ubica en Lourdes y espacialmente se encuentra separada de la ruta de San Pedro.

Cuadro 13: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de San Pedro.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	10,71	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	162	Unidades
	Recorrido total del camión ⁷	14,20	km
	Recolección en reversa	1,26	km
	Calles repetidas	2,35	km
	Recorrido fuera del sector	1,43	km
	Recolección a pie	1,55	km

⁷ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de San Pedro se muestra en el anexo 10.7. La figura 8 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

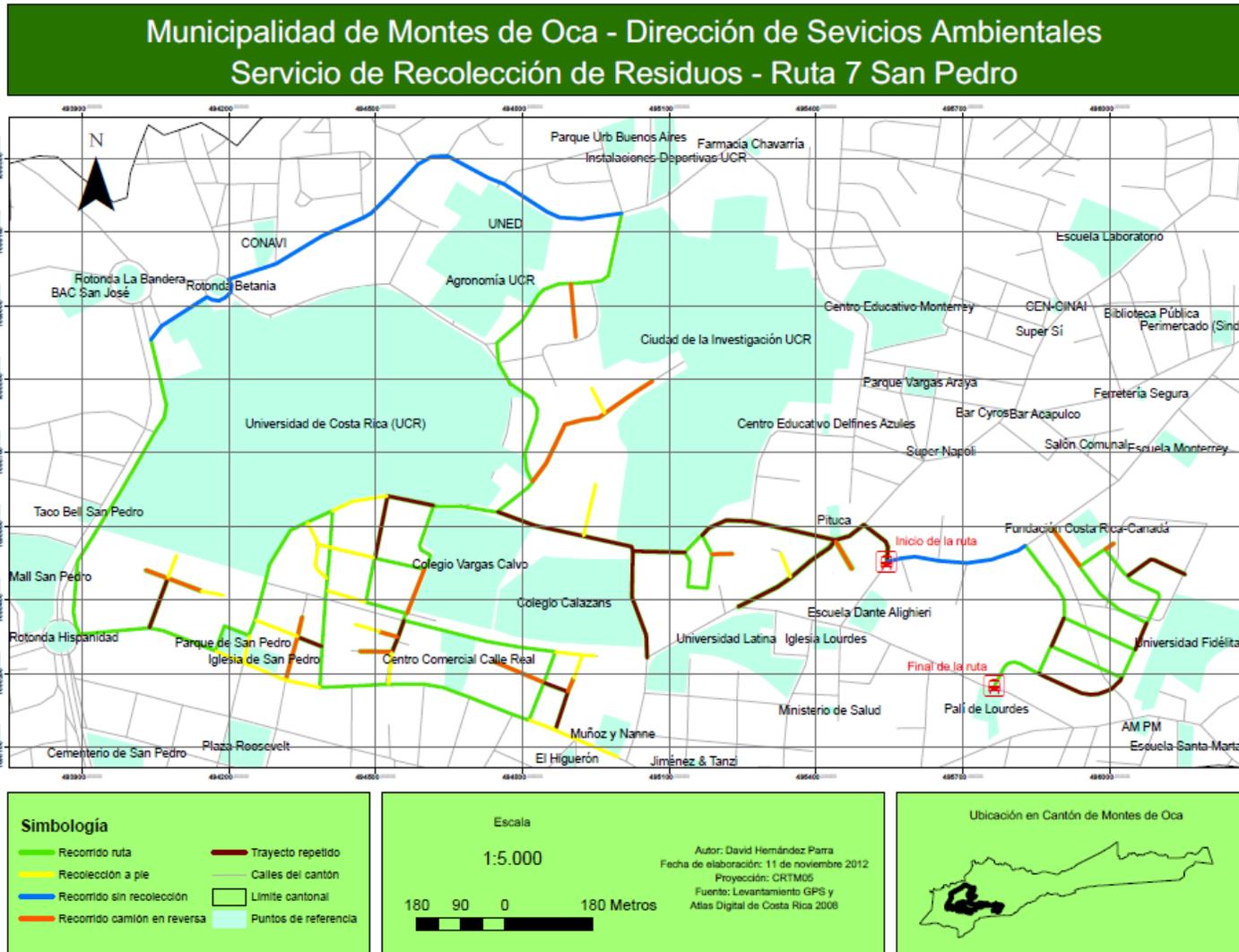


Figura 8: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta San Pedro

Ruta 8: Carmioles

La ruta Carmioles abarca 1,1 kilómetros de la carretera principal de Sabanilla desde la entrada de las instalaciones deportivas de la Universidad de Costa Rica hasta el Banco de Costa Rica. Este trayecto es una zona predominantemente comercial. Los restantes 7,5 kilómetros de la ruta corresponden a sectores residenciales.

Cuadro 14: Modalidades de recolección de residuos para la Ruta de Carmioles.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	8,64	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	161	Unidades
	Recorrido total del camión ⁸	10,55	km
	Recolección en reversa	1,74	km
	Calles repetidas	1,32	km
	Recorrido fuera del sector	0,12	km
	Recolección a pie	1,27	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Carmioles se muestra en el anexo 10.8. La figura 9 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

⁸ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

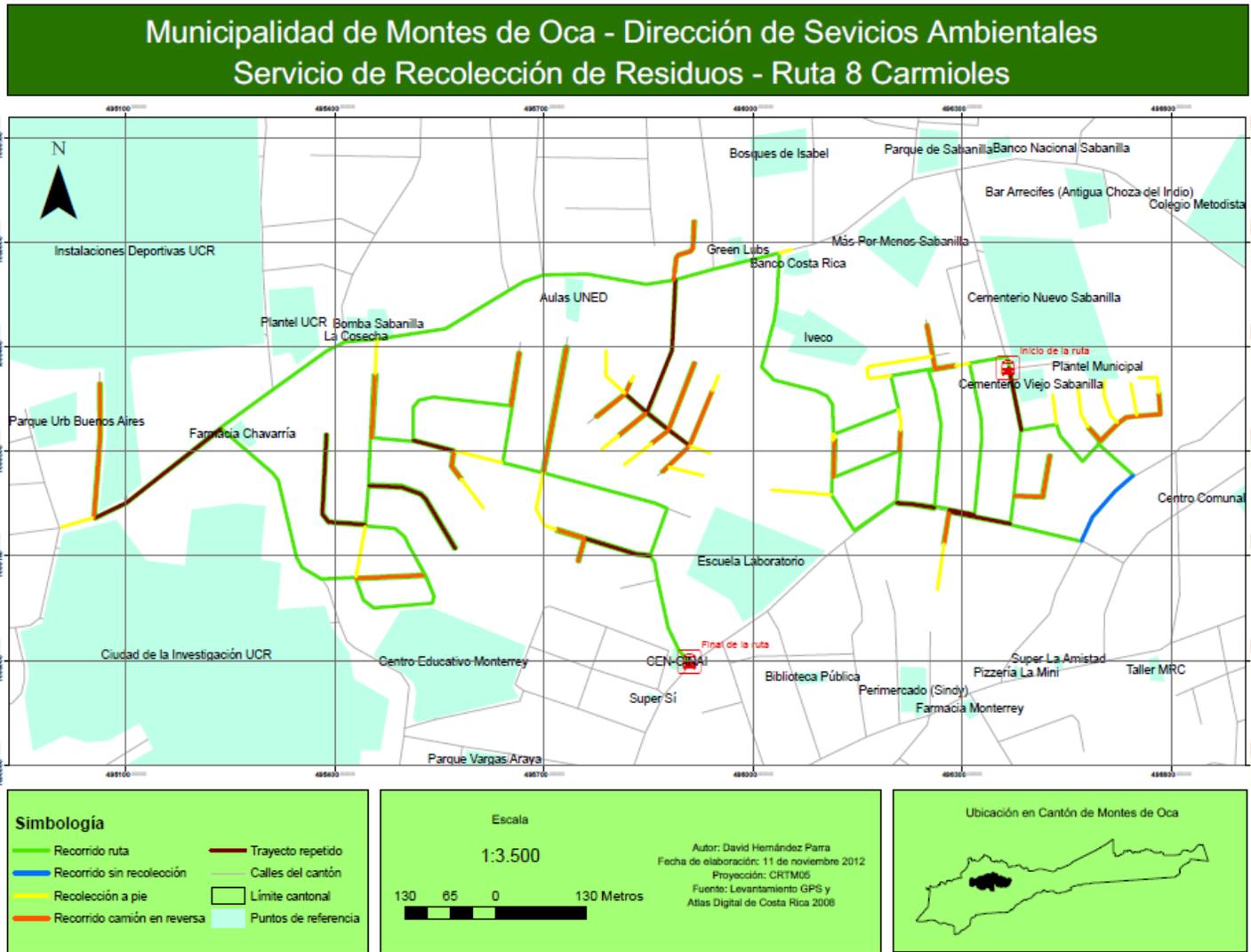


Figura 9: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Carmioles

Ruta 9: Sabanilla

La ruta Sabanilla está compuesta principalmente de calles con uso residencial, abarcando los principales barrios y condominios del distrito. En los residenciales se encuentran calles estrechas lo cual es un riesgo para el camión recolector por las maniobras que el chofer se ve obligado a realizar. El flujo vehicular es bajo con excepción del sector oeste de la ruta donde las calles conectan con el cantón de Goicoechea y se forma congestión vial principalmente en horas de la tarde.

Cuadro 15: Modalidades de recolección de residuos para la Ruta de Sabanilla.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	11,53	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	211	Unidades
	Recorrido total del camión ⁹	12,92	km
	Recolección en reversa	1,54	km
	Calles repetidas	1,35	km
	Recorrido fuera del sector	0,12	km
	Recolección a pie	1,62	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Sabanilla se muestra en el anexo 10.9. La figura 10 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

⁹ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

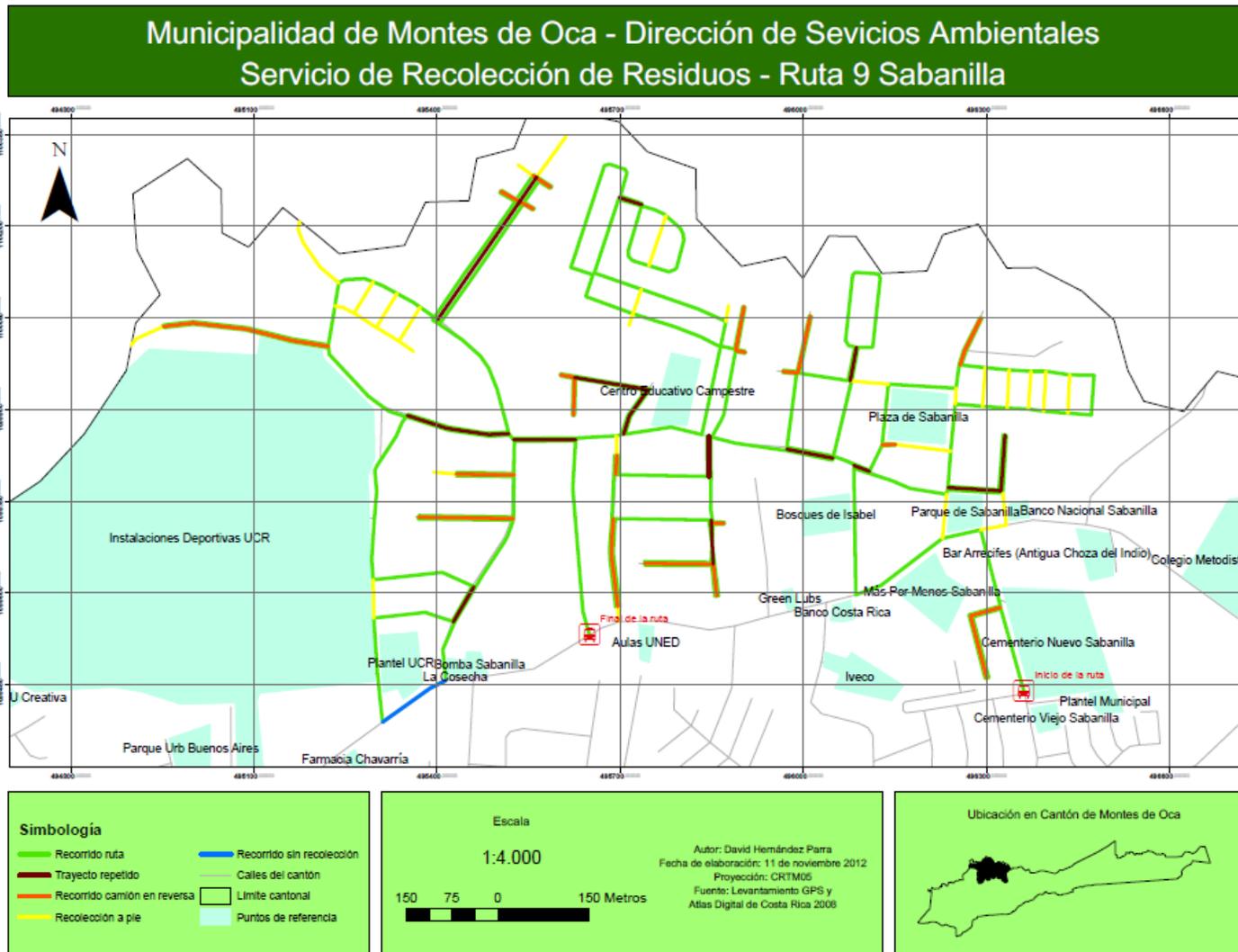


Figura 10: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Sabanilla

Ruta 10: Santa Marta

La ruta de Santa Marta corresponde a una zona mixta entre residencias y comercio. Los cuadrantes cercanos a la Universidad Latina es donde existe mayor desarrollo comercial con restaurantes, abastecedores, centro de fotocopiado, bares y librerías. La zona residencial se ubica en los alrededores del Ministerio de Salud y en las diversas calles sin salida o urbanizaciones presentes a lo largo de la ruta.

Cuadro 16: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de Santa Marta.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	7,10	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	117	Unidades
	Recorrido total del camión ¹⁰	8,05	km
	Recolección en reversa	0,72	km
	Calles repetidas	1,35	km
	Recorrido fuera del sector	0,16	km
	Recolección a pie	1,28	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Santa Marta se muestra en el anexo 10.10. La figura 11 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

¹⁰ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

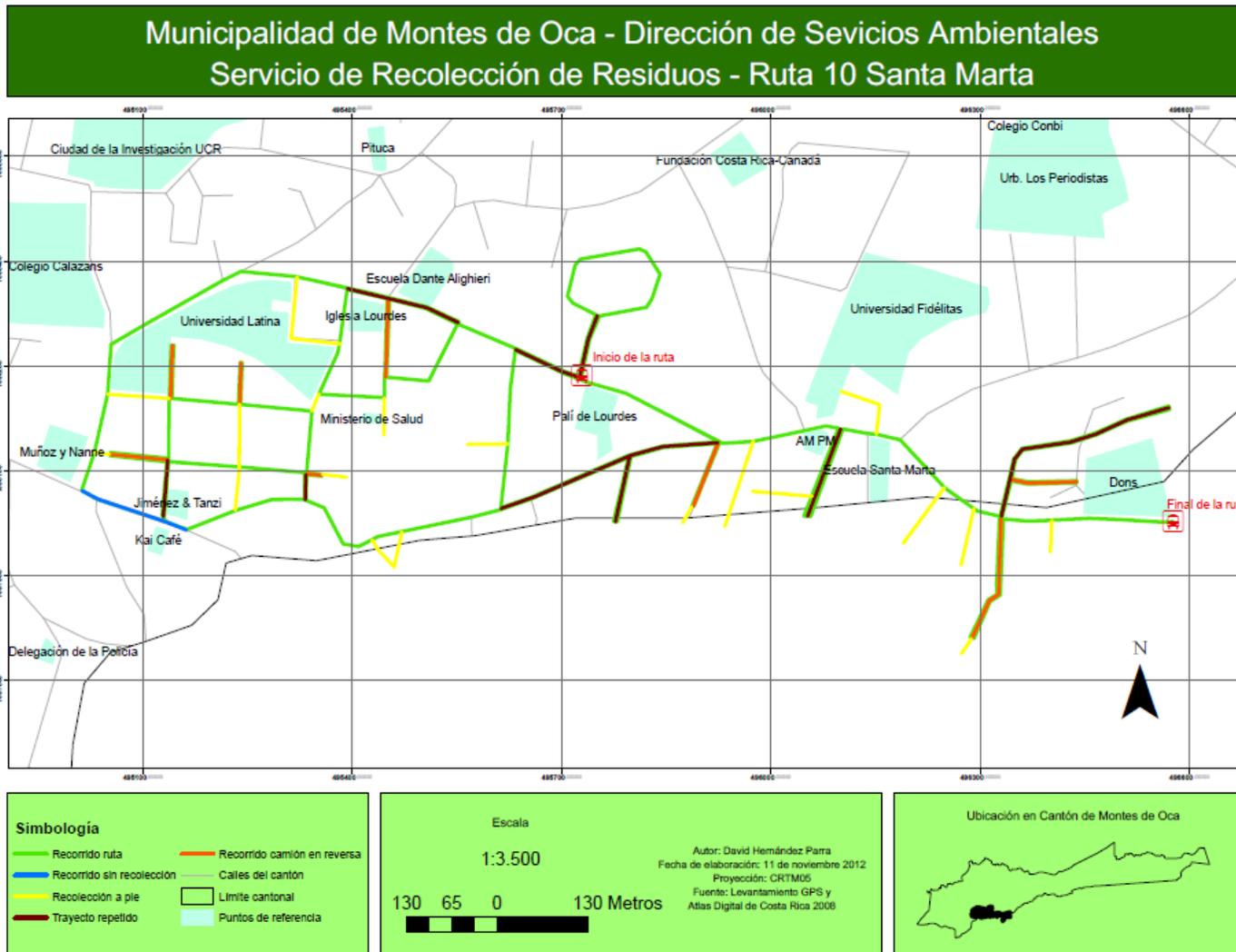


Figura 11: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Santa Marta

Ruta 11: San Rafael

El distrito de San Rafael presenta características rurales, con casas dispersas y potreros. La carretera principal que atraviesa el distrito, entre el Cristo de Sabanilla y hasta la Urbanización Vista Real es considerada un área de desarrollo mixto, donde está permitido locales comerciales. Con excepción del trayecto mencionado, la ruta atraviesa solamente urbanizaciones, condominios y calles residenciales. Esta es la única ruta donde existe un pendiente considerable en la topografía del terreno, el lado oeste de la ruta se encuentra a 1300 msnm y el este a 1450 msnm.

Cuadro 17: Modalidades de recolección de residuos para la ruta de San Rafael.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	14,86	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	121	Unidades
	Recorrido total del camión ¹¹	21,2	km
	Recolección en reversa	3,3	km
	Calles repetidas	4,46	km
	Recorrido fuera del sector	0,19	km
	Recolección a pie	1,61	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de San Rafael se muestra en el anexo 10.11. La figura 12 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

¹¹ **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

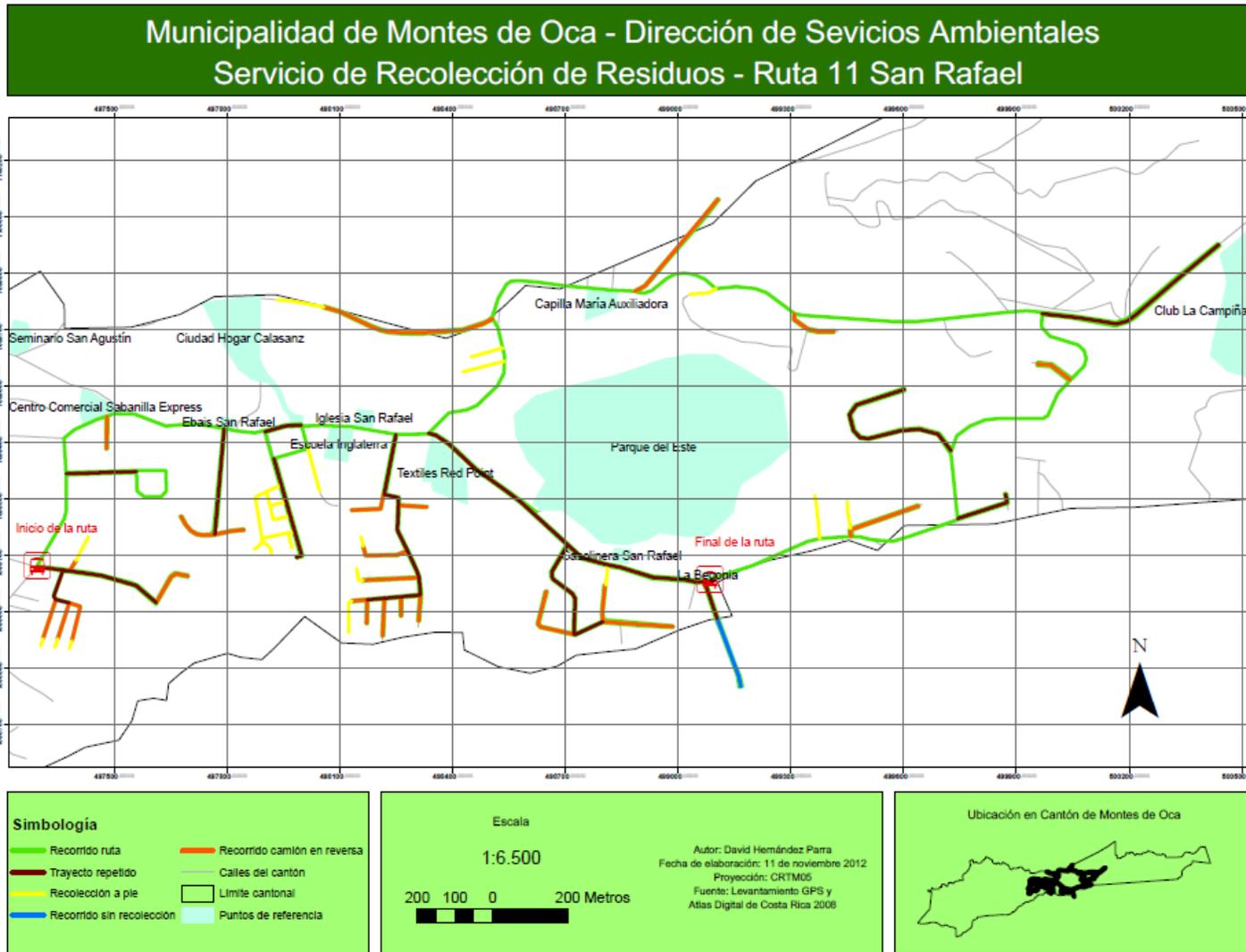


Figura 12: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta San Rafael

Ruta 12: Cedros

La ruta de Cedros cubre en centro del poblado que lleva ese nombre y además la calle principal de Sabanilla desde el Banco Nacional hasta el Cristo, que representa 1,3 kilómetros. Los alrededores de la iglesia y el colegio de Cedros, hasta la Universidad Bíblica, es una zona con desarrollo comercial. El resto de la ruta se ubica en calles predominantemente residenciales.

Cuadro 18: Modalidades de recolección de residuos para la Ruta de Cedros.

Tipo de parámetro	Parámetro	Valor	Unidad
Parámetro fijo	Distancia de caminos y calles	8,43	km
Parámetros del recorrido	Cantidad de grupos de residuos	156	Unidades
	Recorrido total del camión ¹²	11,96	km
	Recolección en reversa	2,22	km
	Calles repetidas	1,58	km
	Recorrido fuera del sector	0,21	km
	Recolección a pie	0,48	km

El mapa con el sentido del recorrido del camión recolector para la ruta de Cedros muestra en el anexo 10.12. La figura 13 muestra los diferentes tipos de recorrido que realiza el camión en la ruta y las calles donde se recogen los residuos a pie.

¹² **Recorrido total del camión** = Distancia de caminos y calles + Recolección en reversa + Calles repetidas + Recorrido fuera del sector - Recolección a pie

Municipalidad de Montes de Oca - Dirección de Sevicios Ambientales
 Servicio de Recolección de Residuos - Ruta 12 Cedros

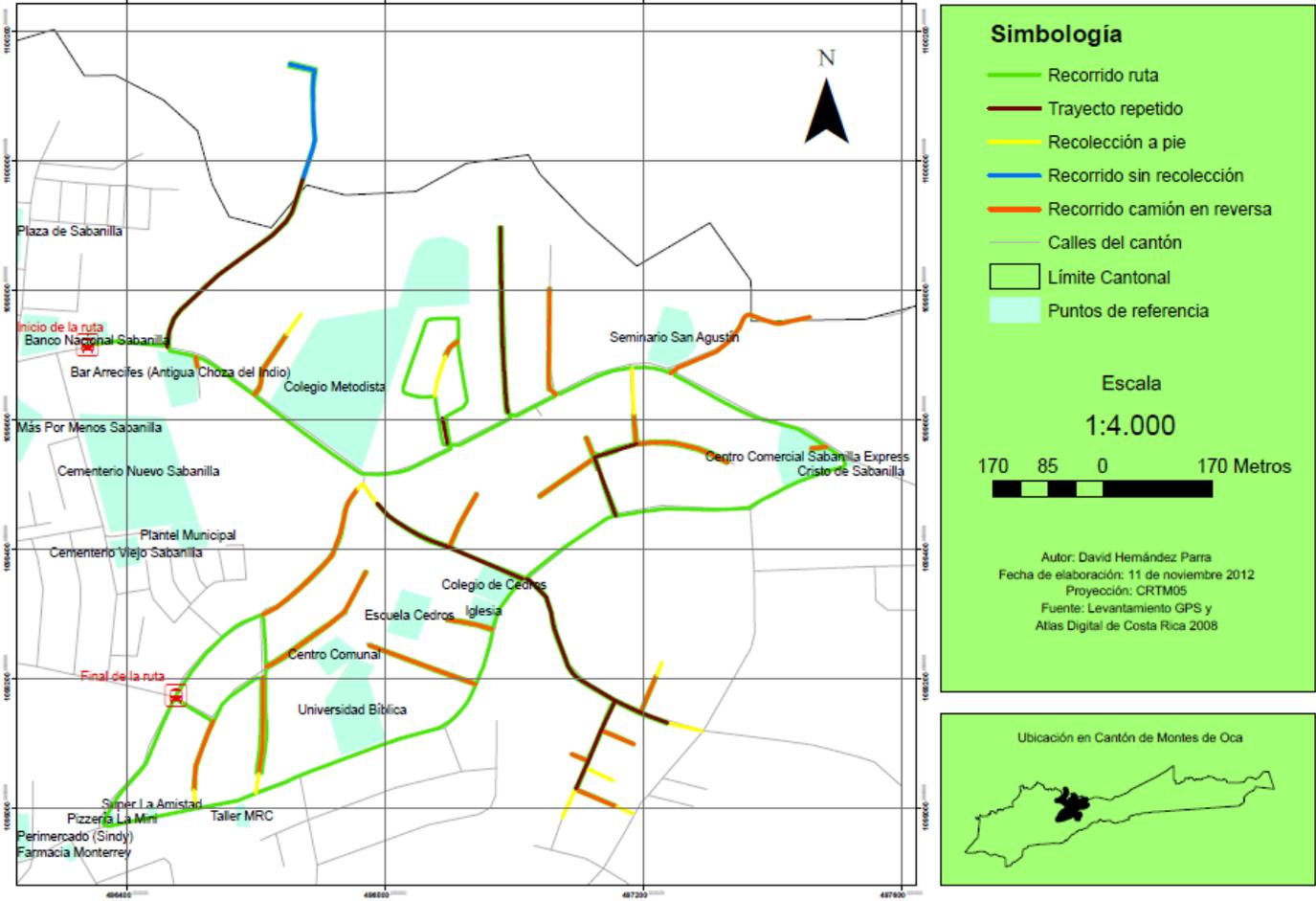


Figura 13: Tipo de recorridos del camión recolector en la Ruta Cedros

b. Análisis de los recorridos de recolección:

Los camiones recolectores de la Municipalidad de Montes de Oca recorren en promedio 12 km para limpiar una ruta, excluyendo la distancia del plantel a la ruta y el viaje al relleno sanitario. Sin embargo, la carga de trabajo en cada una de las rutas no está equilibrada, como se demuestra en el cuadro 19. La ruta San Rafael es 2,3 veces más larga que Vargas Araya y el camión recolector recorre 2,7 veces más distancia para limpiarla. Esta diferencia va traducirse en mayor desgaste de los funcionarios asignados, especialmente para el encargado de realizar los grupos (amontonar). Este funcionario debe recorrer la ruta a pie para bajar las bolsas de basura de las canastas o portones de las casas, y formar un grupo grande en algún lugar accesible para que el camión recolector se aproxime para cargarlas. Es importante indicar que la ruta de San Rafael debe ser analizada de manera independiente por tratarse de un sector rural con casa aisladas, esta característica explica que la longitud de la ruta sea significativamente mayor a las demás.

Cuadro 19: Comparación del recorrido total de rutas y distancias de caminos y calles para las rutas de recolección de residuos del cantón de Montes de Oca

Ruta:	Recorrido total del camión recolector en la ruta:	Distancia de caminos y calles de la ruta:
Cedral Marsella	14,19	9,81
San Rafael	21,2	14,86
Cedros	11,96	8,43
San Pedro	14,2	10,71
Mercedes	12,27	9,98
Roosevelt	10,28	8,4
Carmioles	10,55	8,64
Yoses	14,93	12,41
Vargas Araya	7,79	6,65
Santa Marta	8,05	7,1
Sabanilla	12,92	11,53
Barrio Pinto	9,03	8,52

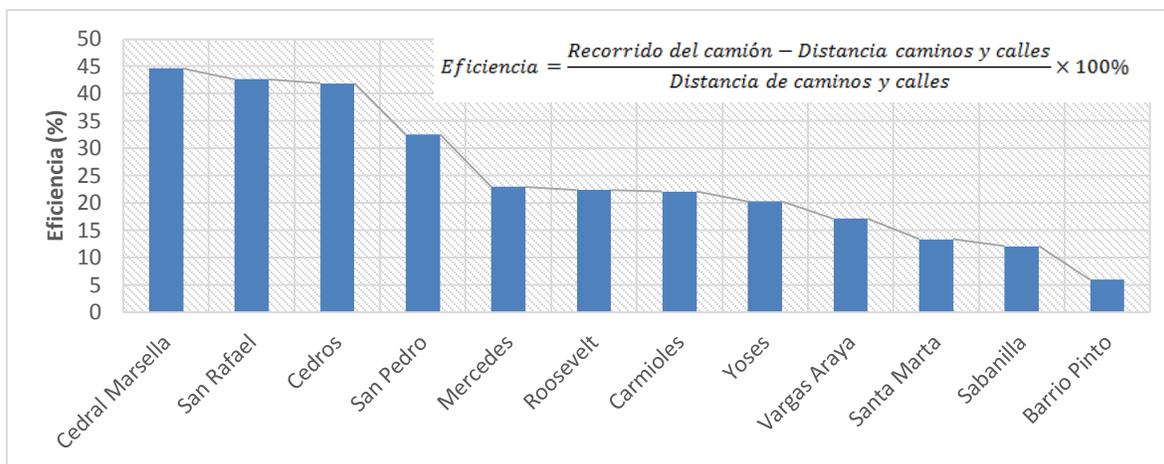


Figura 14: Relación entre el recorrido total del camión y la distancia de caminos y calles para cada ruta de recolección.

La figura 14 refleja la diferencia que existe entre la distancia de caminos y calles de la ruta y el recorrido del camión recolector a la hora de transitar por dichas calles. Se observa que la ruta de Barrio Pinto es la más eficiente en su recorrido. Por el contrario, cuando el camión recolecta la ruta de Cedral Marsella, transita un 45% más distancia que la longitud de dicha ruta. Esto significa que el trayecto del camión incluye muchas calles repetidas y recorrido improductivo.

Para ampliar los parámetros que reflejan la eficiencia de una ruta de recolección, se determinó la proporción entre la distancia (calles o trayectos) que el camión recolector repite a lo largo de la ruta, y la distancia total recorrida (figura 15). Se observa que el recorrido más ineficiente corresponde a las rutas de Cedral Marsella y San Rafael, donde el recorrido repetido, es superior al 20%. En la literatura esta característica se reporta como una distancia muerta y deben reducirse tanto como sea posible (Racero y Pérez, 2006). Además, se observa que la relación no es constante para todas las rutas, lo que indica que se debe a una mala planificación del recorrido y no a una característica inherente del trabajo. Por lo tanto pueden ser reducidos para hacer más eficiente el recorrido.

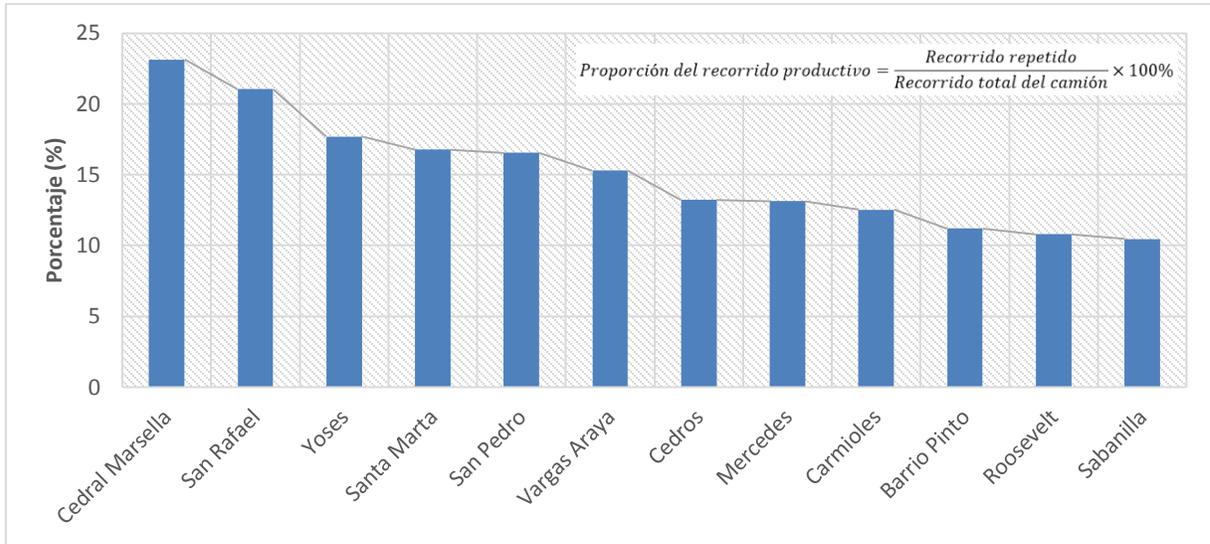


Figura 15: Relación de calles o trayectos repetidos sobre el recorrido total del camión recolector para cada una de las ruta.

De la misma manera, se analizó la proporción del recorrido realizado con el camión en reversa. Este parámetro es importante debido a que es un factor de riesgo que podría desencadenar accidentes. Es importante resaltar que los recolectores empleados por la Municipalidad, y en general en Costa Rica, son de carga trasera, lo que significa que los operarios deben ubicarse detrás del camión para lanzar las bolsas. Cuando se opera el camión en retroceso se podría golpear fácilmente al operario. En la figura 16 se observa que hay 5 rutas donde más del 10% del recorrido se realiza en reversa. Las calles del cantón de Montes de Oca son complejas debido a la alta presencia de sitios con calles desordenadas, es decir que no existen cuadrantes. Esta situación obliga a los choferes a realizar muchas maniobras, lo que explica que se emplee significativamente la recolección en retroceso. Sin embargo, debe valorarse la posibilidad de reducir esta práctica.

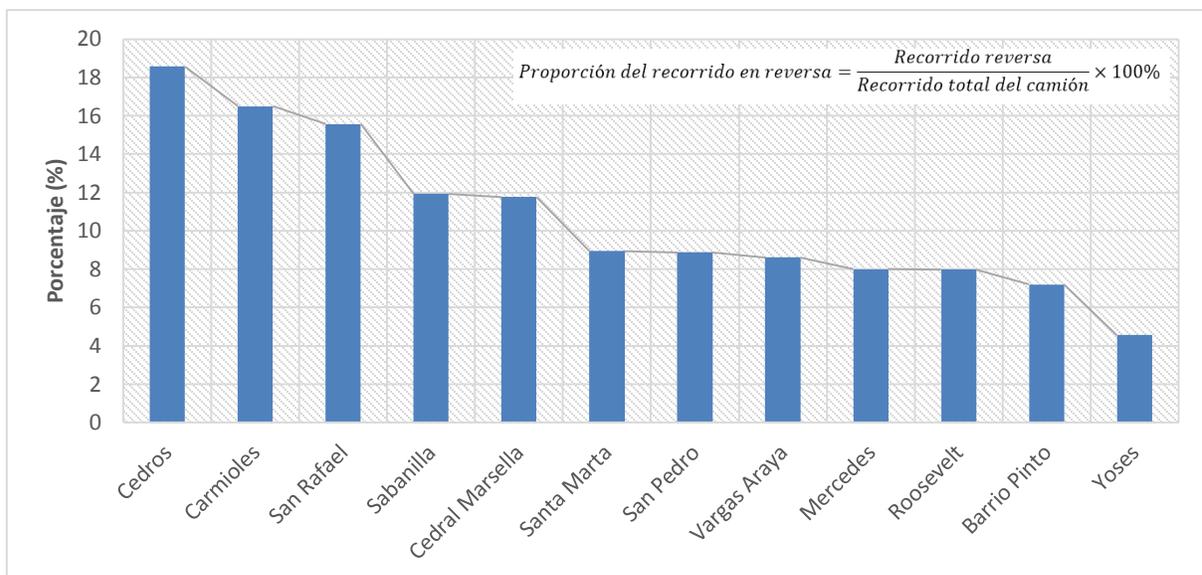


Figura 16: Relación del recorrido en retroceso sobre el recorrido total del camión recolector para cada una de las rutas.

A lo largo del cantón se localizan calles estrechas o servidumbres donde el camión recolector no puede ingresar. Por lo tanto, el servicio se ha organizado de manera que a un funcionario le corresponde acarrear las bolsas de residuos hasta una calle principal. En otras ocasiones, la organización de la ruta simplemente asignó calles donde el camión no transita y las bolsas se trasladan hasta la siguiente calle o avenida para recolectarse. La recolección a pie mejora la eficiencia del servicio ya que evita maniobras complejas o peligrosas al camión recolector y reduce el consumo energético. Se observa en la figura 17 que en la mayoría de las rutas se recolectan entre un 10% y un 15% de las calles de modo manual y no existen diferencias significativas entre las rutas. Este hecho puede explicarse porque cada ruta, o cada zona geográfica del cantón, tienen cantidades similares de servidumbres o calles inaccesibles para el camión. Por lo tanto, la distancia responde más a una necesidad de la recolección (constante) y no precisamente una organización particular del servicio. Como excepción está la ruta de Cedros donde solamente el 6% se recolecta con esta modalidad representando 700 metros por debajo del promedio. Para este caso, es posible afirmar que existe una mala organización de la cuadrilla para limpiar la ruta ya que además presentan una baja eficiencia en su recorrido y una alta proporción de recolección en reversa.

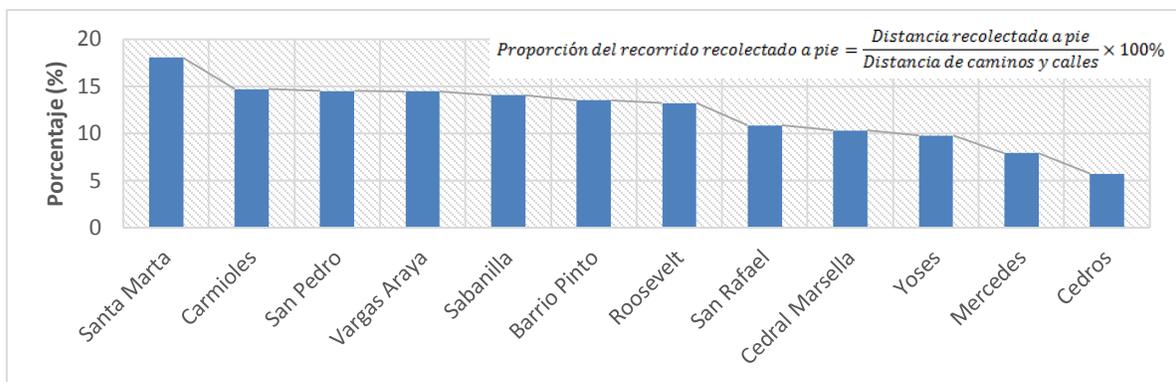


Figura 17: Relación entre la recolección manual (a pie) de las bolsas con residuos sobre la distancia de caminos y calles de cada ruta.

Otro aspecto analizado consiste en las maniobras o recorridos que realiza el recolector en calles distintas a la ruta asignada (figura 18).

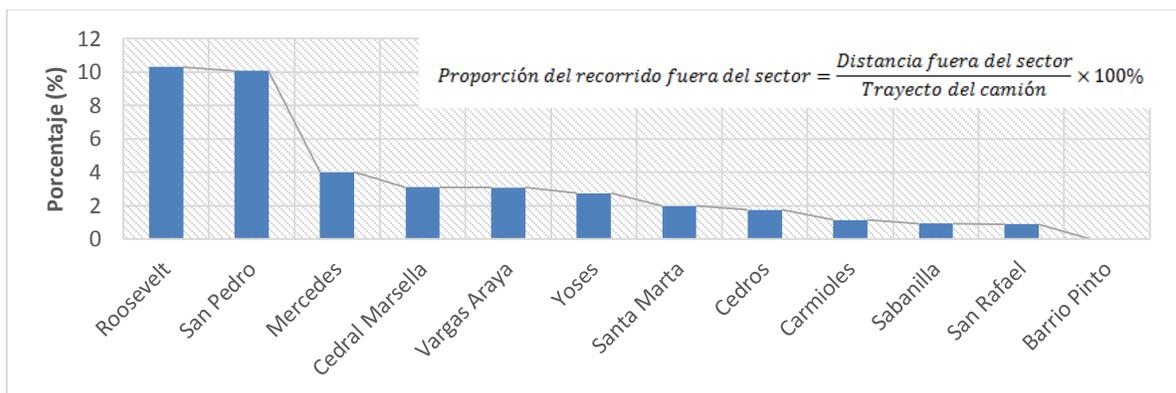


Figura 18: Relación entre el recorrido fuera del sector y el recorrido del camión recolector.

Esta relación es bastante baja con excepción de la ruta de San Pedro y Roosevelt. Estas rutas se encuentran fragmentadas debido a modificaciones que ha realizado la municipalidad a lo largo de los años para ajustar el servicio cuando una ruta genera más residuos que la capacidad del camión recolector. Las rutas restantes donde se recorre 500 metros o menos fuera de la ruta se explica en los casos donde el recolector debe desplazarse a un área segura

para realizar una maniobra compleja, por ejemplo un giro en U. Esta característica no representa una deficiencia en el recorrido sino una medida de seguridad.

4.2. Resultado y análisis de la cantidad de residuos sólidos recolectados en las rutas

Para realizar una comparación de la cantidad de residuos generados en cada ruta, en el cuadro 20 y la figura 19 se muestra un análisis empleando la producción semanal.

Cuadro 20: Análisis estadístico básico de la generación de residuos sólidos por ruta entre agosto del 2011 y junio del 2012 en Montes de Oca.

Ruta:	Promedio semanal de residuos generados (Toneladas):	Desviación estándar:	Intervalo de confianza del promedio al 95%	
			Inferior	Superior
1- Yoses	23,3197	2,72316	22,4118	24,2277
2- Mercedes	23,9497	3,48826	22,7867	25,1128
3- Barrio Pinto	20,6184	1,91039	19,9814	21,2553
4- Roosevelt	18,2819	2,77602	17,3563	19,2075
5- Vargas Araya	24,1357	1,96,042	23,4820	24,7893
6- Cedral Marsella	26,0670	3,52659	24,8912	27,2429
7- San Pedro	24,4200	2,19300	23,6888	25,1512
8- Carmioles	20,1303	3,32088	19,0230	21,2375
9- Sabanilla	25,1143	2,48829	24,2847	25,9440
10- Santa Marta	20,5278	1,86338	19,9066	21,1491
11- San Rafael	25,3068	3,22009	24,2331	26,3804
12- Cedros	25,2762	2,63443	24,3979	26,1546

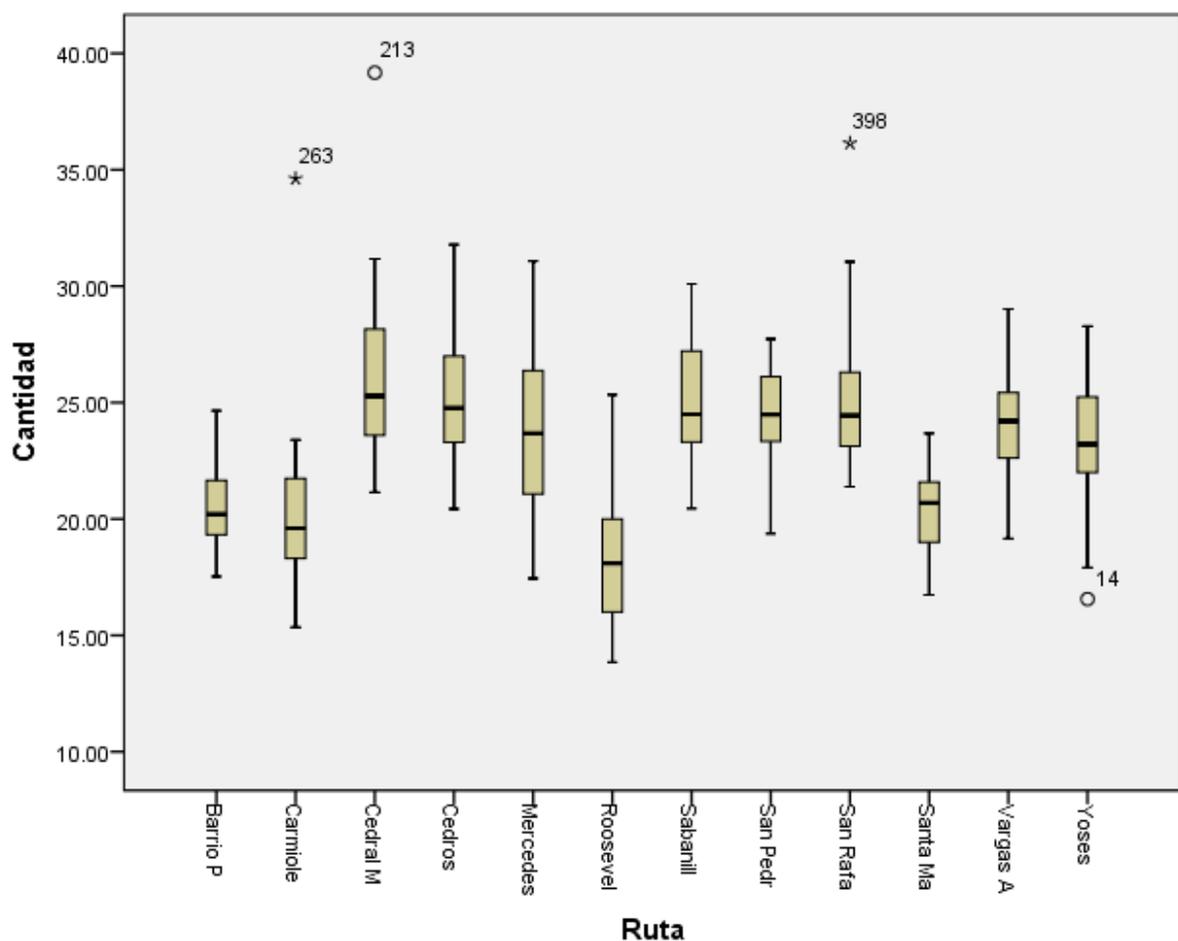


Figura 19: Diagrama de caja de los residuos recolectados en las rutas de Montes de Oca entre agosto del 2011 y junio del 2012, en toneladas métricas.

Las rutas en Montes de Oca generan en promedio 23,1 toneladas semanales. Es importante señalar que los camiones recolectores están diseñados para soportar como máximo una carga útil de 14 toneladas, es decir 28 toneladas semanales. Considerando la variabilidad de los datos observados en el cuadro 20, parece adecuado el promedio general de residuos recolectados. El camión se está utilizando en promedio al 89% de su capacidad de diseño y el 11% restante deberá compensar las variaciones normales o indeterminadas. De acuerdo a la experiencia del personal operativo del departamento, se genera más basura en semanas con días festivos o feriados y cuando se recolecta bajo la lluvia (el agua aumenta el peso recolectado en 1 a 1,5 toneladas, según los operarios de la municipalidad).

Sin embargo, la figura 19 muestra que las rutas Cedral Marsella, Cedros, Mercedes, Sabanilla y San Rafael el percentil 75 se encuentra por encima de la barrera de las 28 toneladas métricas. Esto situación indica que el camión recolector se está sobre cargando con mucha frecuencia. Por el contrario, las rutas de Barrio Pinto, Carmioles, Roosevelt y Santa Marta están de 3 a 5 toneladas por debajo del promedio. Por lo tanto, se puede afirmar que existe un desequilibrio en la cantidad de residuos sólidos recolectados entre las rutas del cantón de Montes de Oca.

Esta afirmación se refuerza separando el análisis por viaje de la semana. Debido a que los residuos se recolectan dos veces por semana, el viaje 1 (realizado entre el lunes y miércoles) debe soportar la basura de 4 días, y el viaje 2 (realizado entre jueves y sábado) solamente la producción de 3 días. Para determinar diferencias entre el primer y segundo viaje, se obtuvo el promedio de cada viaje y la cantidad de veces se superó el límite de la capacidad del recolector (cuadro 21).

La información del cuadro 21 indica que las rutas que generan residuos por debajo del promedio (Barrio Pinto, Roosevelt, Carmioles y Santa Marta) son las que presentan mayor brecha en la recolección del primer y segundo viaje. Es posible que esta diferencia se deba a que el segundo viaje de dichas rutas se realiza sábado y también, de acuerdo a información brindada por los operarios, porque el viaje 1 se aprovecha para cargar bolsas con desechos de jardín y otros materiales que normalmente no se recolectan; y el viaje 2 se carga estrictamente los residuos sólidos ordinarios de las casas y comercios. En las demás rutas, ambos viajes se cargan solamente con los residuos ordinarios debido a que pocas veces queda espacio en los recolectores para llevarse otros materiales. Cabe aclarar que las bolsas de jardín, escombros y otros residuos se recolectan mediante otro servicio que existe en la municipalidad (donde se emplea vagoneta, retroexcavadora y camiones convencionales), por lo que los operarios no están en la obligación de llevarse dichos materiales en conjunto con los residuos ordinarios.

El cuadro 21, también muestra que la frecuencia con que se supera la capacidad del recolector es mayor en el primer viaje para todas las rutas. Además, la ruta de Cedros es la que presenta con mayor frecuencia este inconveniente. No obstante, en todas las rutas se ha superado el límite del camión. Para estos casos, debido a que los operarios deben cumplir con el objetivo

de limpiar la ruta, se está sobrecargando el recolector. Cuando los residuos son muchos y no existe la posibilidad de forzar el camión, los operarios deben ir al relleno sanitario a descargar los materiales para posteriormente regresar a la ruta y terminarla de recolectar. Esta problemática es crítica porque se induce el equipo de la municipalidad a un desgaste prematuro. También se dan casos donde los operarios incumplen con la labor porque realizar dos viajes al relleno sanitario alarga mucho la jornada laboral.

Cuadro 21: Comparación de primer y segundo viaje del camión recolector para el servicio del cantón de Montes de Oca.

Ruta:	Tipo de ruta:	Viaje 1				Viaje 2				Relación del viaje 1 entre el viaje 2
		Día	Cantidad (Ton)	Desviación estándar:	Viajes con sobre carga ¹	Día	Cantidad (Ton)	Desviación estándar:	Viajes con sobre carga ¹	
Yoses	C y R	L	11,6962	1,7694	0	J	11,6235	1,64469	1	99%
Mercedes	C	K	12,8449	3,29509	8	V	11,1049	1,91911	5	86%
Barrio Pinto	C y R	M	13,0351	1,43182	6	S	7,5832	1,28337	0	58%
Roosevelt	C y R	M	11,3951	2,2012	4	S	6,886	1,49055	0	60%
Vargas Araya	C y R	L	13,3476	1,11024	8	J	10,7881	1,45128	1	81%
Cedral Marsella	R	K	14,6332	3,15655	11	V	11,4338	1,77011	2	78%
San Pedro	C	L	13,5684	1,26413	13	J	10,8516	1,70644	0	80%
Carmioles	C y R	M	12,7881	3,37595	11	S	7,3422	1,37587	0	57%
Sabanilla	R	K	13,5078	2,05847	12	V	11,6065	1,54989	1	86%
Santa Marta	C y R	M	12,9589	1,8289	9	S	7,5689	1,41012	0	58%
San Rafael	R	L	14,3884	2,21765	14	J	10,9184	1,71954	0	76%
Cedros	C y R	K	14,3732	2,22548	18	V	10,903	1,81754	2	76%

¹ **Viajes con sobre carga:** Significa la cantidad de viajes donde se cargaron más de 14 toneladas y se excluyen los valores extremos o anómalos.

Día: L = Lunes; K = Martes; M = Miércoles; J = Jueves; V = Viernes; S = Sábado

Tipo de Ruta: C y R = Comercial y Residencial; C = Principalmente Comercial; R = Principalmente Residencial

4.3. Resultado y análisis del tiempo de limpieza de las rutas de recolección de residuos sólidos

Para comparar los tiempos empleados en la recolección de las rutas, el cuadro 22 muestra la diferencia de tiempo entre la entrada y salida del camión del plantel municipal. Se debe realizar la excepción con las rutas de Roosevelt - Barrio Pinto y Carmioles - Santa Marta porque se recolectan ambas rutas con la misma cuadrilla y en una misma jornada laboral (sin regresar al plantel), por lo que no existe un registro individual del tiempo.

Cuadro 22: Análisis estadístico básico del tiempo empleado para recolección de residuos sólidos en Montes de Oca por ruta entre enero y junio del 2012.

Ruta:	Tiempo promedio empleado en la ruta (horas):	Desviación estándar:	Intervalo de confianza del promedio al 95%	
			Inferior	Superior
Yoses	7,21	1,320	6,79	7,63
Mercedes	5,99	1,378	5,53	6,44
Barrio Pinto y Roosevelt	10,17	1,488	9,70	10,63
Vargas Araya	5,61	1,132	5,25	5,97
Cedral Marsella	7,70	1,378	7,24	8,15
San Pedro	6,82	0,847	6,55	7,09
Carmioles y Santa Marta	11,56	1,711	11,02	12,10
Sabanilla	6,26	1,488	5,71	6,80
San Rafael	6,27	1,387	5,81	6,73
Cedros	7,46	1,808	6,88	8,05

Se observa que existen rutas donde se requiere menos tiempo para la limpieza. El turno de trabajo Barrio Pinto – Roosevelt abarca dos rutas en 10,17 horas, por lo que podemos asumir

que cada ruta requiere de 5,085 horas. Del mismo modo, Carmioles y Santa Marta se recolectan en 5,78 horas cada uno. En contraste, las rutas de los Yoses, Cedral Marsella y Cedros requieren más de 7 horas, lo cual es una diferencia importante debido a que representan un desequilibrio en la jornada laboral de los funcionarios municipales.

El cuadro 23 agrupa las rutas que son recolectadas con la misma cuadrilla para determinar la carga laboral de los operarios y el uso del recurso humano disponible.

Cuadro 23: Jornada laboral promedio por cuadrilla entre enero y junio del 2012.

Cuadrilla	Rutas asignadas a la cuadrilla:	Tiempo promedio diario de trabajo (horas):	Desviación estándar:	Días laborados por semana	Proyección de horas laboradas por semana
A	Yoses y Mercedes	6,62	1,475	4	26,48
B	Barrio Pinto y Roosevelt	10,17	1,488	2	20,34
C	Vargas Araya y Cedral Marsella	6,61	1,631	4	26,44
D	San Pedro y Sabanilla	6,57	1,199	4	26,28
E	Carmioles y Santa Marta	11,56	1,711	2	23,12
F	San Rafael y Cedros	6,88	1,714	4	27,52
<i>Promedio</i>					25,03

Las cuadrillas A, C, D y F tienen jornadas de trabajo muy similares, alrededor de 26 o 27 horas semanales. Sin embargo, las cuadrillas B y E tienen una carga laboral inferior. Esta diferencia se explica en que las rutas correspondientes a dichas cuadrillas generan menos residuos y son más cortas.

El sistema de recolección debe tener una carga laboral muy similar para todas las cuadrillas. Se considera aceptable diferencias de una hora semanalmente, ya que no va existir una recarga importante de trabajo de los operarios. Sin embargo, las diferencias de 3 horas o más que se observan deben ser corregidas. La recarga laboral no solo afecta físicamente a los

trabajadores, también permite que existan reclamos entre las cuadrillas y se deteriore el ambiente laboral.

Basando en el estudio de los costos por servicios personales, calculados para la fijación del impuesto actual por servicio de recolección de desechos¹³, se estima que cada funcionario tiene un costo para la municipalidad de ₡121.332 colones semanales. Considerando que la convención colectiva define una jornada laboral para los funcionarios operativos de 30 horas semanales, cada hora laboral tiene un costo de ₡4.044,4 colones. El cuadro 23 muestra que los funcionarios laboran efectivamente 25,03 horas en promedio, por lo que existe una subutilización del recurso humano en 4,97 horas/semana que representan ₡20.100,7 colones por funcionario a la semana. En la recolección de residuos ordinarios empleando 30 funcionarios, el gasto por el uso ineficiente del recurso humano asciende a ₡31.357.092 colones anuales. Por las condiciones laborales propias al oficio de recolectar residuos, es complicado controlar que efectivamente cada funcionario labore 30 horas por semana, sin embargo es una evidente opción de mejora para la municipalidad.

4.4. Determinación del combustible empleado en la recolección de residuos sólidos

La determinación del consumo de combustible es importante por el impacto en el costo del servicio y el impacto ambiental de las emisiones de contaminantes atmosféricos. Sin embargo, se encontró que existen muchas variables y situaciones que afectan el consumo. Por ejemplo, las frecuentes averías de los camiones que obligan a detenerlo por varios días y recurrir a camiones alquilados, donde el tamaño y estado del motor es diferente. Además, los camiones no están asignados por ruta por lo que solamente se cuenta con información general. En la Municipalidad de Montes de Oca, el control del combustible agregado a cada vehículo es responsabilidad del Departamento de Servicios Generales. Se suministró información de los meses de enero a mayo del 2012 para los tres camiones recolectores marca Mack modelo 2009.

¹³ Tasa de recolección y tratamiento de basura publicada en la Gaceta No.24 04/02/2010

Cuadro 24: Consumo de combustible de los camiones recolectores de residuos sólidos de la Municipalidad de Montes de Oca entre enero y mayo del 2012.

Placa del recolector:	Distancia recorrida (kilómetros):	Diesel empleado (Litros):	Rendimiento (Litros/kilometro):
SM5055	8118,4	10968,975	1,351125222
SM5056	8402,2	11835,339	1,40860001
SM5057	4771,5	7684,062	1,610408048

Nota: Información suministrada por el Ing. Francisco Cruz, Jefe del Departamento de Servicios Generales de la Municipalidad de Montes de Oca.

En promedio, los camiones consumen 1,45 litros de diesel por cada kilómetro recorrido. Con esta información, se hace evidente que disminuyendo la distancia recorrida por los camiones mediante una optimización de las rutas va tener un impacto positivo para la municipalidad. También es conveniente invertir en capacitaciones a los choferes para cambiar los hábitos de manejo y procurar reducir el consumo.

4.5. Recolección separada de residuos valorizables

La recolección de materiales separados en el sector residencial y comercial del cantón se encuentra proceso de implementación. Actualmente se cuenta únicamente con un listado de locales, condominios y barrios donde se brinda el servicio. Sin embargo, no se tiene establecido un sistema de recolección como tal. El listado de sitios de recolección al momento de la elaboración del presente trabajo se muestra en el anexo 10.14.

4.6. Resumen comparativo de la situación actual de la recolección de residuos sólidos en Montes de Oca

Ruta:	Tamaño de las rutas de recolección:	Eficiencia del trayecto del camión recolector (%)	Cantidad de residuos sólidos por ruta:		Tiempo empleado en la recolección de cada ruta (horas):	Costo de la recolección:			Conclusión de la ruta:
	Longitud (km):		Cantidad de residuos (Toneladas):	Riesgo de alcanzar la capacidad máxima del recolector:		Costo del personal:	Costo del combustible:	Total:	
5- Vargas Araya	6,65	82,9	24,1357	Bajo	5,61	€22.689	€5.818	€28.507	Se debe mejorar el trayecto del camión. Es posible ampliar la longitud.
2- Mercedes	9,98	77,1	23,9497	Alto	5,99	€24.226	€9.164	€33.389	Se debe mejorar el trayecto del camión.
9- Sabanilla	11,53	87,9	25,1143	Alto	6,26	€25.318	€9.649	€34.967	Se debe reducir la longitud de la ruta porque está sobrecargada de residuos.
11- San Rafael	14,86	57,3	25,3068	Alto	6,27	€25.358	€15.833	€41.191	Se debe reformular toda la ruta.
7- San Pedro	10,71	67,4	24,42	Alto	6,82	€27.583	€10.605	€38.188	Se debe mejorar el trayecto, alto costo de recolección.
1- Yoses	12,41	79,7	23,3197	Bajo	7,21	€29.160	€11.150	€40.310	Se debe mejorar el trayecto, alto costo de recolección.
12- Cedros	8,43	58,1	25,2762	Alto	7,46	€30.171	€8.932	€39.103	Se debe reformular toda la ruta
6- Cedral Marsella	9,81	55,4	26,067	Alto	7,7	€31.142	€10.597	€41.739	Se debe reducir la longitud de la ruta porque está sobrecargada de residuos.
3- Barrio Pinto	8,52	94,0	20,6184	Bajo	10,17*	€20.566	€6.744	€27.310	Es posible ampliar la longitud para aprovechar mejor los recursos.
4- Roosevelt	8,4	77,6	18,2819	Bajo		€20.566	€7.677	€28.243	Se debe mejorar el trayecto del camión. Es posible ampliar la longitud.
8- Carmioles	8,64	77,9	20,1303	Bajo	11,56*	€31.465	€7.879	€39.344	Se debe mejorar el trayecto del camión. Es posible ampliar la longitud.
10- Santa Marta	7,1	86,6	20,5278	Bajo		€31.465	€6.012	€37.477	Es posible ampliar la longitud para aprovechar mejor los recursos.

* El tiempo promedio se refiere a la recolección de ambas rutas

Es posible afirmar que todas las rutas de recolección de residuos de Montes de Oca presentan opciones de mejora. En 6 rutas se debe mejorar el trayecto para lograr una recolección más eficiente en el uso de los recursos. Por ejemplo, el tiempo y el costo para la ruta de Mercedes es adecuado ya que se emplea la capacidad del camión recolector en su totalidad y dejando margen a las variaciones normales en la cantidad de residuos, y en un tiempo adecuado para la jornada laboral de los funcionarios.

En contraste, se observa que en San Rafael y en Cedros la organización del servicio es completamente inadecuada y se debería reformular las rutas en su totalidad. Es importante indicar que al realizar un ajuste a una ruta se están alterando las demás, por lo que no es posible realizar modificaciones a las rutas de forma aislada. Por lo tanto, el proceso recomendado para realizar los ajustes es un balance a la totalidad del sistema. En la sección 6 se desarrolla un modelo para equilibrar las rutas de recolección.

5. Propuesta de indicadores para el servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad de Montes de Oca

El análisis del sistema de recolección de residuos de la sección anterior, emplea diversas variables que muestran el estado del servicio en un periodo de tiempo dado. En la presente sección, se plantea una herramienta para evaluar el servicio en el tiempo. Para este fin, se toman las variables que cumplen con las características básicas para la formulación de indicadores, basado en Guttman *et al* (2004). El indicador debe considerar la validez aparente (relación del indicador o variable con el objetivo del estudio o proyecto), que los datos para calcularlo sean fiables, que el indicador refleje la totalidad del proceso en estudio, que la variable adoptada en el indicador dependa de la administración del servicio (que no incluya factores no controlados o indeterminados), y la facilidad para obtener la información (no debe existir un alto costo asociado a la obtención de los datos). Por lo tanto, se definieron dos indicadores relacionados con aspectos básicos de la recolección de residuos, cantidad de residuos y tiempo. El tercer indicador busca reflejar el grado de control de aspectos ambientales de la recolección de residuos sólidos.

5.1. Indicador basado en cantidad de residuos sólidos

Para monitorear si se presentan brechas entre las rutas de recolección, se propone medir la cantidad de residuos sólidos recolectados por mes en cada ruta, el cual es un aspecto básico de un sistema de recolección. La información para calcular el indicador es accesible debido a que en cada viaje al relleno sanitario, para la disposición final de los residuos, se registra las toneladas métricas depositadas (es un dato fiable obtenido por la empresa administradora del relleno sanitario). Además, mediante la distribución de las rutas se tiene control sobre la variable.

Indicador:	Importancia:
<p data-bbox="250 386 787 470">Cantidad de residuos sólidos recolectados mensualmente en cada ruta.</p> <p data-bbox="386 495 651 527">Toneladas/Mes/Ruta</p>	<p data-bbox="829 249 1382 663">Permite observar diferencias de residuos totales recolectados en cada una de las rutas, lo cual refleja el crecimiento y desarrollo que experimenta el cantón en cada una de las áreas abarcadas. Esto va permitir a la Municipalidad planificar el servicio para cumplir con la demanda de la comunidad.</p>

5.2. Indicador basado en el tiempo empleado en la recolección de los residuos sólidos

Las toneladas que se recolectan en cada ruta no reflejan los problemas cotidianos de servicio como el congestionamiento vehicular, complicaciones en el recorrido por mal estado de las calles u obstáculos, dificultad por condiciones topográficas o efecto del cambio de uso de suelo que experimenta el cantón (principalmente crecimiento del sector comercial). Por lo tanto, se plantea monitorear el tiempo empleado en la limpieza de cada ruta mensualmente. La información se puede obtener a partir del control de salida y entrada de los camiones recolectores al plantel municipal, y de la respectiva boleta de deben completar los choferes. En adición, el tiempo es un factor que refleja la totalidad del servicio y puede ser controlada mediante ajustes a las rutas.

Indicador:	Importancia:
<p data-bbox="256 1646 781 1793">Tiempo mensual empleado en la recolección y disposición de los residuos sólidos para cada ruta.</p> <p data-bbox="412 1808 625 1839">Horas/Mes/Ruta</p>	<p data-bbox="829 1621 1382 1871">Permite observar diferencias entre rutas que derivan de las complejidades propias a cada sector del cantón. Además, facilita información para adecuar la carga laboral de los funcionarios del servicio.</p>

5.3. Indicador operativo del servicio de recolección de residuos sólidos

Uno de los aspectos de mayor importancia en la gestión de los residuos consiste en que el servicio de recolección sea puntual y constante. Cuando existe un fallo en el servicio, los residuos siempre serán colocados en la vía pública por parte de la comunidad, y si permanecen ahí mucho tiempo, pueden dispersarse iniciando así un problema de salud pública. Por lo tanto, se plantea un indicador que refleje el cumplimiento del servicio de recolección para cada una de las rutas y que sea reportado mensualmente. Así mismo, la puntualidad afecta la totalidad del servicio y puede ser controlada con ajustes que realice la jefatura. Se considerarán los siguientes aspectos:

- 1) Cumplimiento con la recolección en la totalidad de calles asignadas. (1 punto)
- 2) Cumplimiento con la recolección en el horario establecido. (1 punto)
- 3) Cumplimiento con la disposición de los residuos en el relleno sanitario al finalizar la ruta. (1 punto)

Esta información se clasifica por ruta y debe ser reportada por el chofer. Para facilitar esta labor, se propone modificar la boleta de control de uso de los vehículos municipales (anexo 8.15). Finalmente el indicador se obtiene de la siguiente manera:

Indicador:	Importancia:
<p>Puntos mensuales obtenidos por ruta entre los puntos totales:</p> $\frac{\text{Puntos obtenidos en el mes}}{\text{Número de viajes realizados en el mes} \times 3} \times 100\%$	<p>Corresponde a un indicador operativo que considera los tres aspectos básicos de la tarea que se le asigna a cada cuadrilla de recolección de desechos.</p>

6. Modelo de recolección de residuos sólidos para el cantón de Montes de Oca: Propuesta de un sistema optimizado

6.1. Dimensionamiento del sistema de recolección residencial para el cantón de Montes de Oca

El primer paso para diseñar un sistema de recolección de residuos consiste en realizar un análisis macro a partir de los parámetros básicos que se desean incluir. Para este fin, se requiere definir algunas constantes:

- a. La frecuencia de recolección (F): Se define en 2 veces por semana por razones sanitarias. No es recomendable emplear un sistema con una sola recolección semanal por el riesgo a la salud pública (atracción de vectores de enfermedades), y por otro lado, aumentar la frecuencia implicaría altos costos operativos. Además, por política de la municipalidad se debe brindar dos veces por semana.
- b. Población (P): Se empleará el dato brindado por el INEC para el 2012 que reporta 49008 habitantes.
- c. Viajes diarios al relleno sanitario: El sitio de disposición final de residuos más cercano al cantón de Montes de Oca se encuentra a 15 km (30 a 45 minutos de viaje), razón por la cual solamente es factible realizar un viaje a depositar residuos por jornada laboral ordinaria.
- d. Tiempo disponible para la recolección (t): De acuerdo al reglamento autónomo de servicios de la Municipalidad de Montes de Oca, los operarios del servicio de recolección deben cumplir con una jornada no mayor a 30 horas semanales.
- e. Producción de desechos por habitante (PPC): De acuerdo con el diagnóstico realizado para el Plan de Gestión Integral de Residuos de Montes de Oca, se reportó una PPC de 0,83 kg de residuos por habitante-día.

- f. Capacidad de los camiones recolectores (Cr): De acuerdo con la experiencia de los operarios y los registros existentes en la municipalidad, los camiones recolectores actuales (a la fecha del presente estudio) presentan una capacidad máxima entre 14 y 15 toneladas. Por lo tanto, se toma como criterio de diseño 14 toneladas para disponer de un margen de seguridad.

Para el dimensionamiento del sistema, se emplea como referencia la guía de la CEPIS/OPS¹⁴ con modificaciones para adaptarlo a la información disponible en la Municipalidad de Montes de Oca.

Cálculo de la cantidad de residuos por ciclo de recolección (R):

Un ciclo de recolección corresponde a realizar una limpieza en todas las calles del cantón (o aquellas donde se brinde el servicio). Debido a que se definió previamente que la recolección es dos veces por semana, entonces los ciclos se componen de la siguiente forma. El ciclo 1 recolecta los residuos acumulados de cuatro días y el ciclo 2 de tres días. Por lo tanto se toma cuatro días como criterio de diseño:

$$R_{4 \text{ días}} = PPC \times P \times 4$$

Dónde:

PPC = Producción por habitante por día (kg/hab*día)

P = Población (hab)

¹⁴ Diseño de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente, disponible en <http://www.bvsde.paho.org/acrobat/disen.pdf>

$$R_{4 \text{ días}} = 0,83 \text{ kg/hab} \cdot \text{día} \times 49008 \text{ hab} \times 4 \text{ días}$$

$$R_{4 \text{ días}} = 162706,56 \text{ kg} = 162,70656 \text{ toneladas}$$

Cantidad de viajes necesarios para recolectar un ciclo:

$$\text{Viajes} = \frac{R_{4 \text{ días}}}{Cr}$$

Dónde:

Cr = capacidad del camión recolector definida en 14 toneladas/viaje.

$$\text{Viajes} = \frac{162,70656 \text{ toneladas}}{14 \text{ toneladas/viaje}} = 11,6219 \approx 12 \text{ viajes}$$

Para simplificar el sistema de recolección se define que cada viaje corresponde a una ruta, quedando un sistema con 12 rutas para residuos ordinarios. Es importante señalar que la simplificación es válida en el caso de Montes de Oca por tratarse de un cantón pequeño.

Factor de capacidad de los camiones recolectores:

Primera recolección de la semana:

$$R_{4 \text{ días}} = 162,70656 \text{ toneladas}$$

$$Fc = \frac{162,70656 \text{ toneladas}}{14 \text{ toneladas/viaje} \times 12 \text{ viajes}} \times 100\% = 96,84\%$$

Segunda recolección de la semana:

$$R_{3 \text{ días}} = 0,83 \text{ kg/hab} \cdot \text{día} \times 49008 \text{ hab} \times 3 \text{ días}$$

$$R_{3 \text{ días}} = 122,02992 \text{ toneladas}$$

$$Fc = \frac{122,02992 \text{ toneladas}}{14 \text{ toneladas/viaje} \times 12 \text{ viajes}} \times 100\% = 72,64\%$$

Distribución de los viajes de recolección de residuos:

La Municipalidad dispone de 3 camiones recolectores para los residuos ordinarios, por lo tanto la recolección solamente se puede realizar de acuerdo con la distribución 1 o 2 del cuadro 25. Sin embargo, el sistema de recolección ideal debe trabajar basado en la distribución 9, en donde se trabaja con un solo turno por día, se dispone de horas de la tarde para mantenimiento de los camiones o para atender imprevistos o atrasos del día y, además existe un día en el que se pueden realizar reparaciones o mantenimientos. Al trabajar con menos camiones, se induce un deterioro acelerado de la maquinaria. Las distribuciones en las que se labora el sábado pueden presentar inconvenientes con la carga laboral de los funcionarios. Sin embargo, la distribución de las cuadrillas es dependiente de los recursos que existan y políticas de la municipalidad, por lo que solamente se plantean escenarios.

Cuadro 25: Alternativas de distribución de los camiones recolectores.

Caso:	Viajes por semana:	Cantidad de rutas a recolectar por día:						Cantidad de camiones:	Turnos diarios:	Camión en reserva por día:	Día habilitado para mantenimiento a los camiones:
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado				
1	24	6	6	No	6	6	No	3	2 (M y T)	No se dispone	Miércoles y Sábado
2	24	4	4	4	4	4	4	3	2 (M y T)	1	No se dispone
3	24	6	6	No	6	6	No	4	2 (M y T)	2	Miércoles y Sábado
4	24	4	4	4	4	4	4	4	1 (M)	Horas de la tarde	No se dispone
5	24	4	4	4	4	4	4	4	2 (M y T)	2	No se dispone
6	24	6	6	No	6	6	No	5	2 (M y T)	3	Miércoles y Sábado
7	24	4	4	4	4	4	4	5	1 (M)	1	No se dispone
8	24	4	4	4	4	4	4	5	2 (M y T)	3	No se dispone
9	24	6	6	No	6	6	No	6	1 (M)	Horas de la tarde	Miércoles y Sábado

Turnos diarios: M = Mañana; T = Tarde

6.2. Delimitación del sistema de recolección residencial para el cantón de Montes de Oca

El manual de CEPIS/OPS sugiere realizar una delimitación de las áreas donde se definirán las rutas de recolección basados en factores topográficos, barreras sociales o calles principales. Para la delimitación de rutas de Montes de Oca se consideró, además de los criterios anteriores, la información obtenida en el análisis de rutas del presente estudio. El análisis realizado comprobó que algunas rutas requerían ajustes, sin embargo esa información es un marco de referencia importante para desarrollar mejores rutas. Se desarrolló el cuadro 26 donde se obtuvo una proyección de residuos recolectados por cada metro de calle que recolecta el camión, para cada una de las rutas existentes al momento del estudio. Es importante resaltar que este indicador tiene limitaciones debido a la falta de información o estudios previos en la municipalidad.

Cuadro 26: Indicador de la generación de residuos sólidos por distancia para cada ruta del cantón de Montes de Oca.

Ruta:	Promedio semanal de residuos generados (Toneladas):	Distancia abarcada en cada ruta (metros):	Generación de residuos sólidos / Distancia de la ruta (kg/metro)
1- Yoses	23,3197	12410	1,8791
2- Mercedes	23,9497	9980	2,3998
3- Barrio Pinto	20,6184	8520	2,4200
4- Roosevelt	18,2819	8400	2,1764
5- Vargas Araya	24,1357	6650	3,6294
6- Cedral Marsella	26,067	9810	2,6572
7- San Pedro	24,42	10710	2,2801
8- Carmioles	20,1303	8640	2,3299
9- Sabanilla	25,1143	11530	2,1782
10- Santa Marta	20,5278	7100	2,8912
11- San Rafael	25,3068	14860	1,7030
12- Cedros	25,2762	8430	2,9984

El indicador de generación de residuos se empleó para determinar áreas con generaciones de residuos sólidos similares. El proceso de delimitación se basó en la siguiente secuencia:

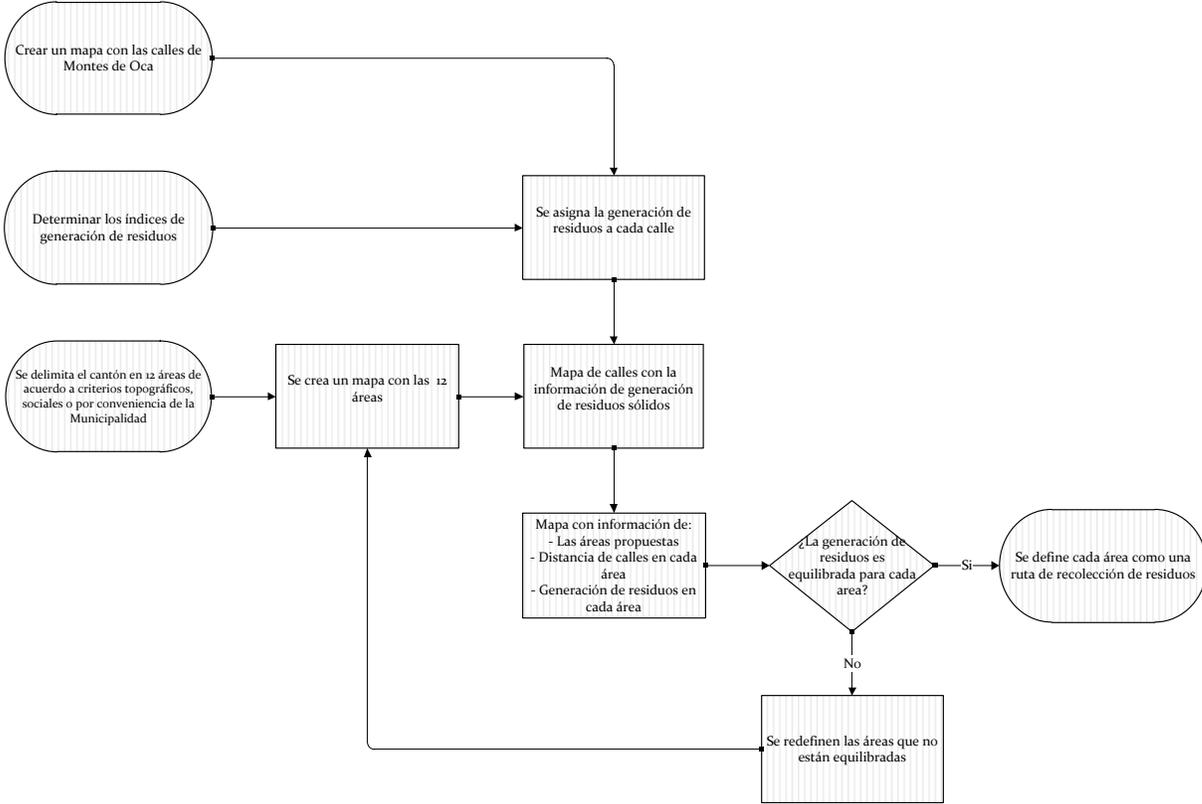


Figura 20: Resumen del proceso para determinar el tamaño óptimo de las rutas de recolección de residuos sólidos para Montes de Oca.

Para facilitar el cruce de información entre los indicadores de generación de residuos, las calles del cantón y la división de las 12 áreas, se trabajó con el software ArcMap 10. El resultado se muestra en la figura 21. Las rutas propuestas se muestran en el cuadro 27. Las rutas se distribuyeron de modo que la proyección de residuos oscile entre 21 a 25 toneladas por semana. Se propone que las rutas con menos residuos a recolectar sean Santa Marta, San Rafael y Cedral-Marsella, ya que corresponde a las zonas donde existe una alta demanda y desarrollo de proyectos urbanísticos, y en consecuencia la cantidad de residuos generados podría aumentar en un futuro cercano.

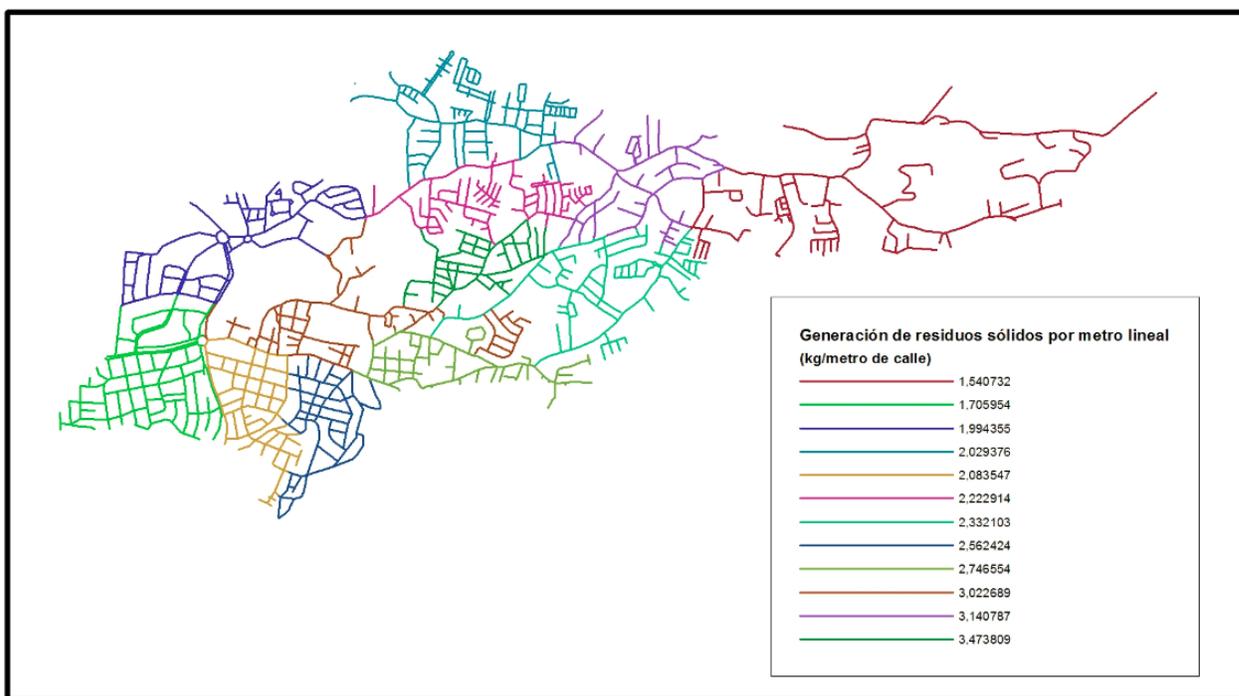


Figura 21: Indicador de generación de residuos sólidos por metro lineal para las calles del cantón de Montes de Oca

Cuadro 27: Proyección de residuos a recolectar semanalmente en las nuevas rutas.

Ruta propuesta:	Proyección de residuos a recolectar por semana (toneladas):
Santa Marta	21,26
San Rafael	21,91
Cedral-Marsella	22,12
Carmioles	22,54
Cedros	23,19

Yoses	23,58
Vargas Araya	23,63
Sabanilla	23,67
Mercedes	23,95
Barrio Pinto y San Pedro Sur	24,98
San Pedro Centro	24,99
Lourdes Barrio Saprissa	25,49

El resultado final de las áreas para establecer las nuevas de recolección de residuos se muestra en la figura 22.

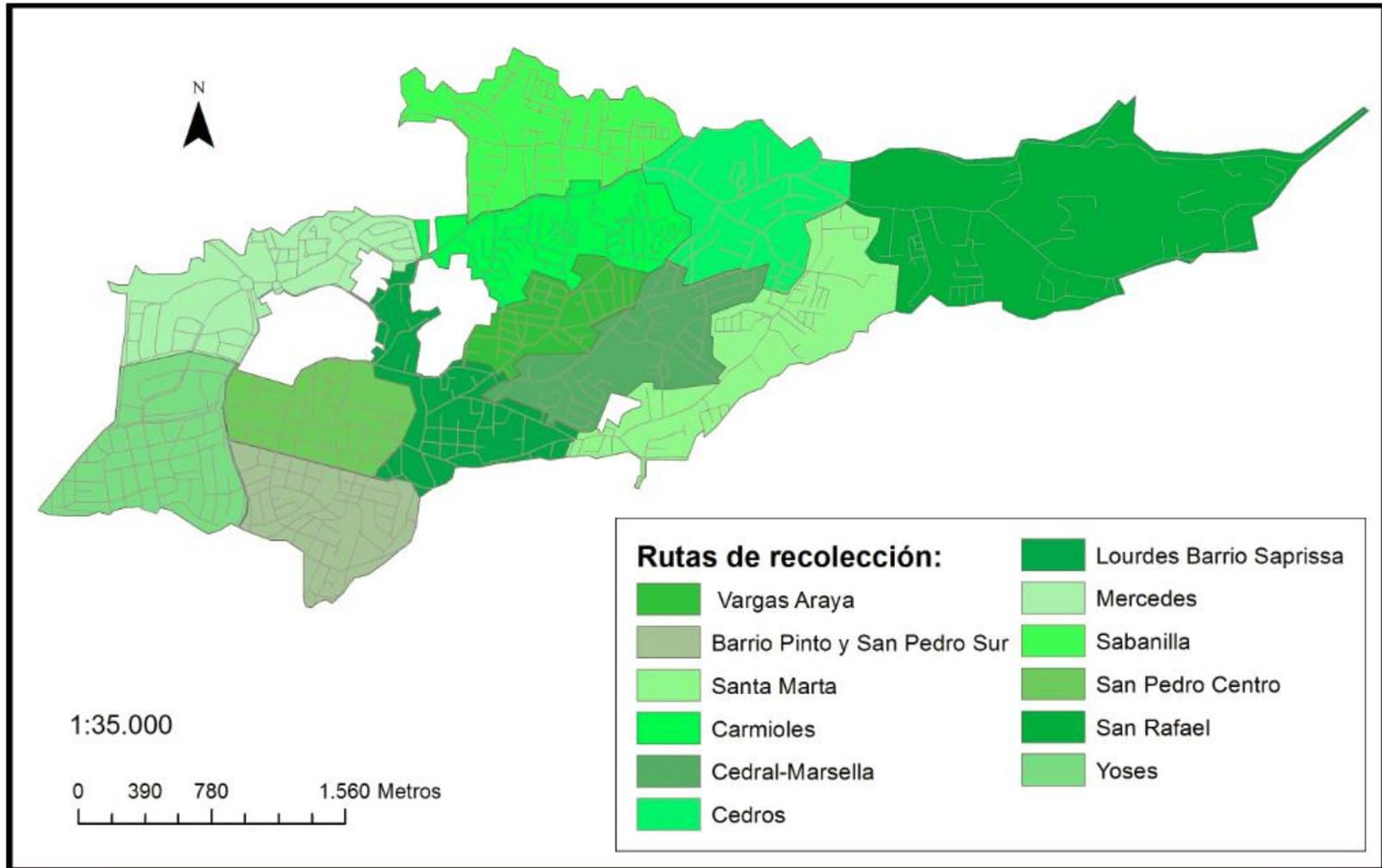


Figura 22: Propuesta de nuevas rutas de recolección de residuos sólidos para el cantón de Montes de Oca

6.3. Diagramación del sistema de recolección residencial para el cantón de Montes de Oca

Se desarrolló un recorrido para cada una de las rutas donde se optimiza basado en la distancia y asumiendo que se recolectan ambos lados de la calle al mismo tiempo. Se establecieron puntos de inicio y final de la ruta en carreteras principales y, si la ruta presenta una alta pendiente, se fijó el inicio en la parte superior. El análisis del sistema de recolección establecido en Montes de Oca determinó las calles que los funcionarios recolectan a pie. La elección de dichas calles es el producto de la experiencia de los funcionarios a lo largo de los años (por criterios de facilidad, como pocas casas o locales que produzcan residuos en esa calle en particular), por lo tanto, la diagramación propuesta mantiene estas calles. Cabe destacar que este resultado, los trayectos propuestos, es una combinación de la experiencia de la municipalidad (interviene un criterio empírico) y de una optimización teórica.

La diagramación se realizó con la siguiente secuencia y con ayuda de la herramienta informática “Network Analyst” del software ArcGis 10.0:

1. Se crea un mapa con las calles de la ruta que son transitable para el camión recolector, considerando disposiciones de tránsito.
2. Se elige el sitio de inicio de la ruta basado en criterios topográficos o cercanía con el plantel. Se procura definir en una carretera principal.
3. Se elige el sitio final de la ruta. Se procura definir en una carretera principal o cerca de las vías principales que dirigen al sitio de disposición final.
4. Se eligen las calles que se deben recolectar a pie, y las que se deben recolectar con camión.
5. Si la ruta presenta calles especiales, como carreteras de alto flujo vehicular o zonas con muy alta generación de residuos, se programa la ruta para recolectarlas al inicio del recorrido.
6. Se calcula la ruta optimizando la distancia y se desarrolla un mapa.

El resultado se muestra en las figuras siguientes:

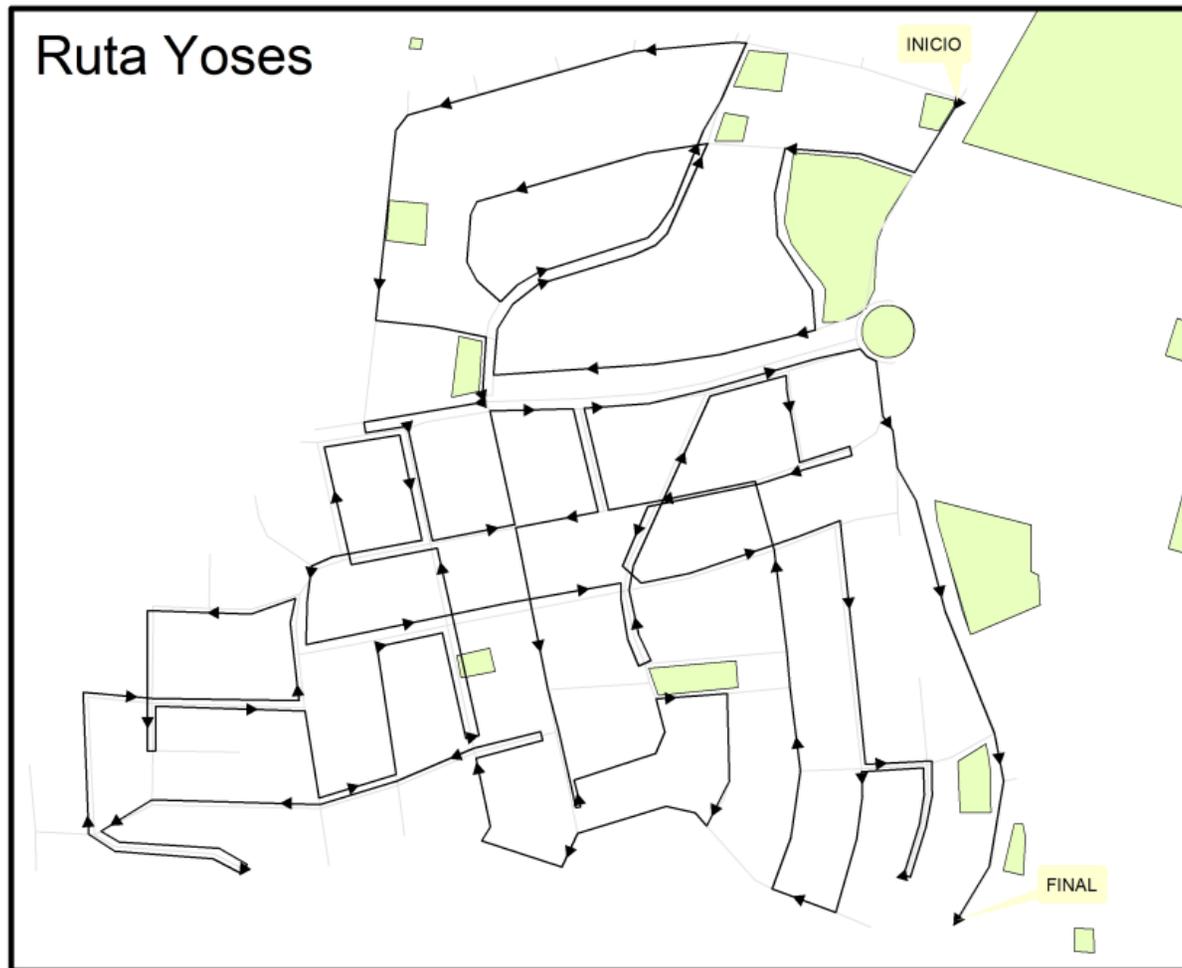


Figura 23: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Yoses.

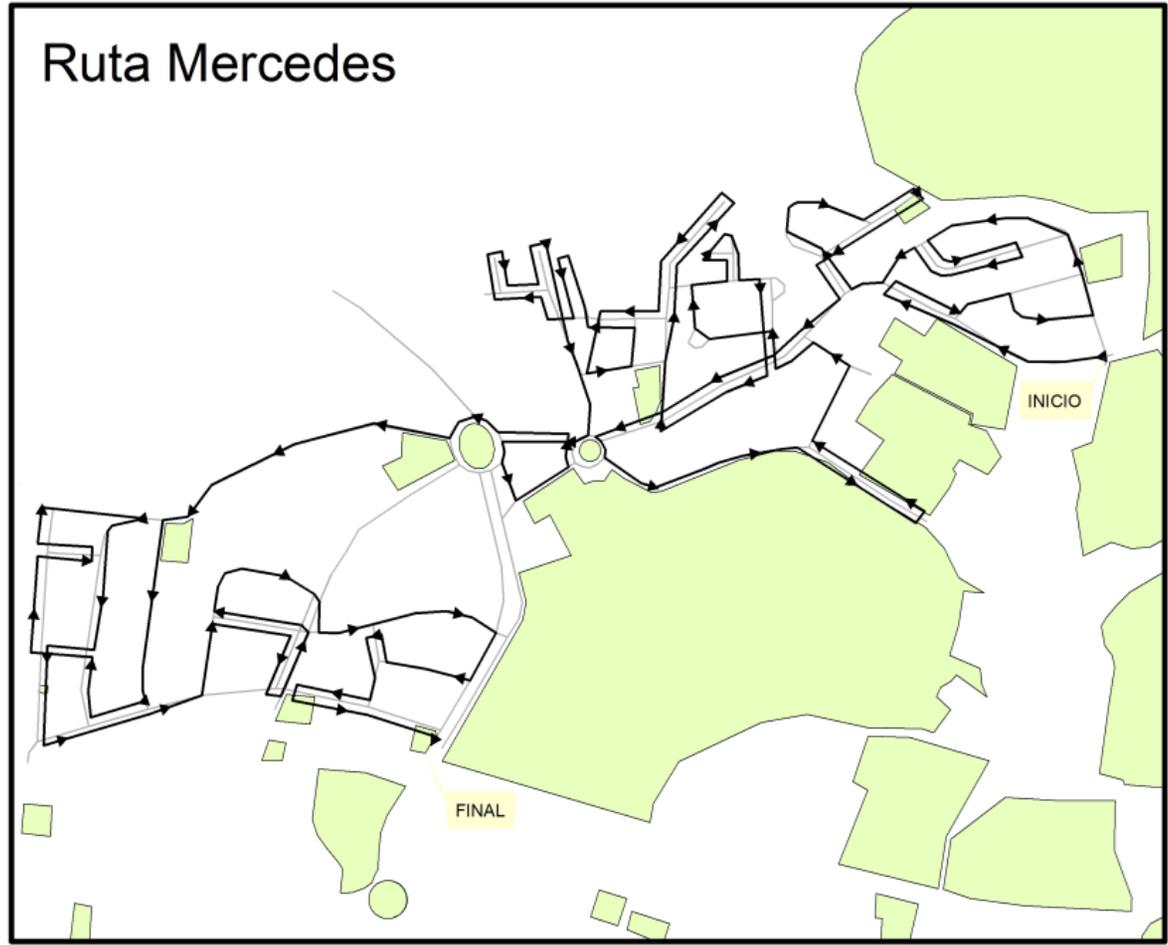


Figura 24: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Mercedes.

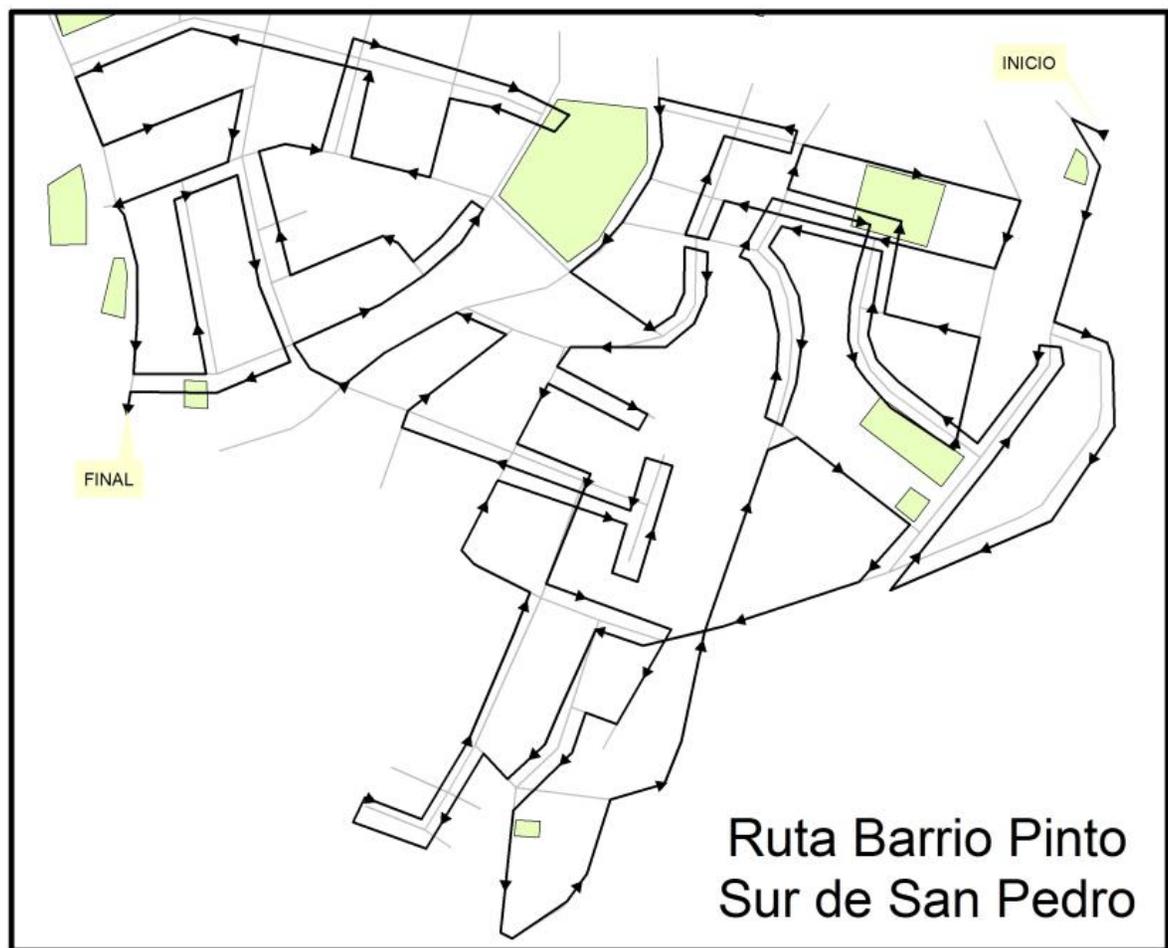


Figura 25: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Barrio Pinto y Sur de San Pedro.



Figura 26: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos San Pedro Centro.

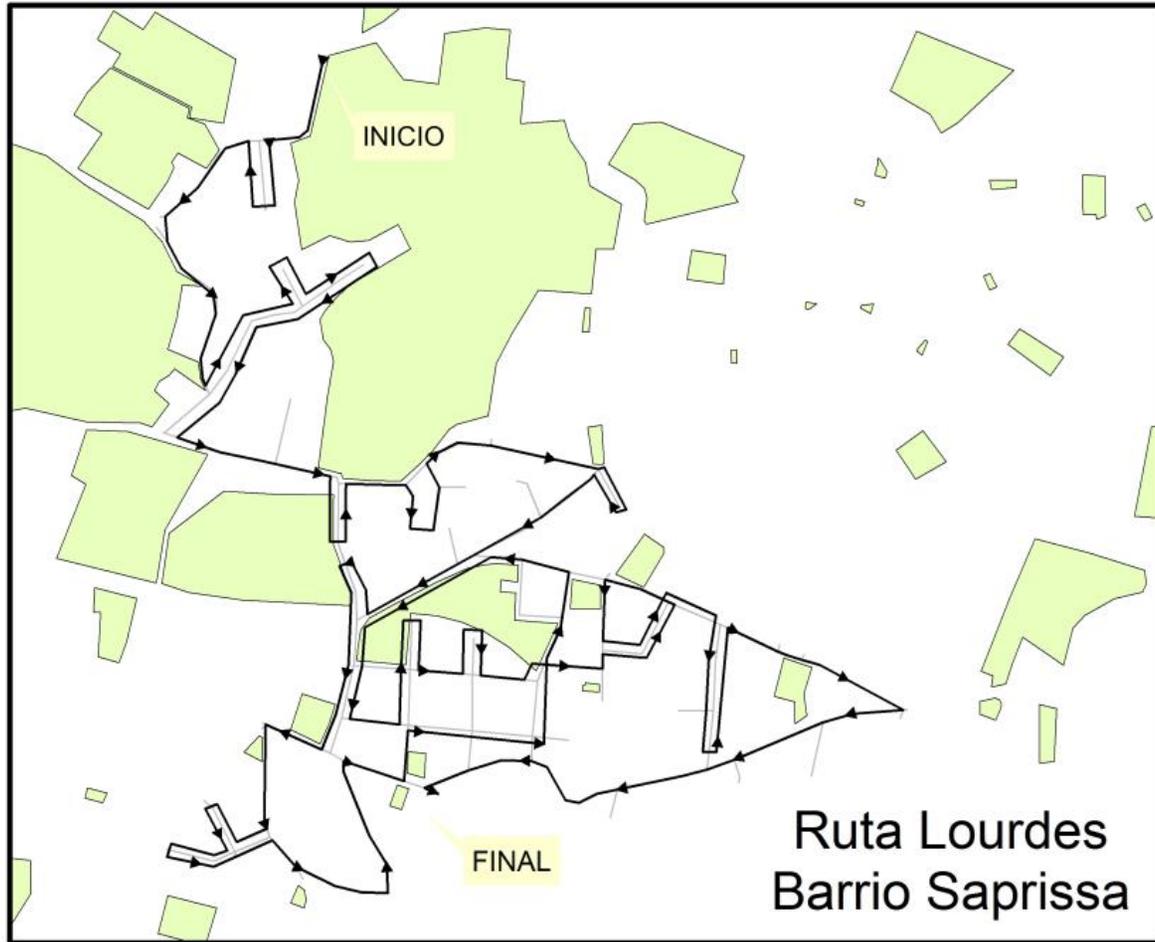


Figura 27: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Lourdes y Barrio Saprissa.

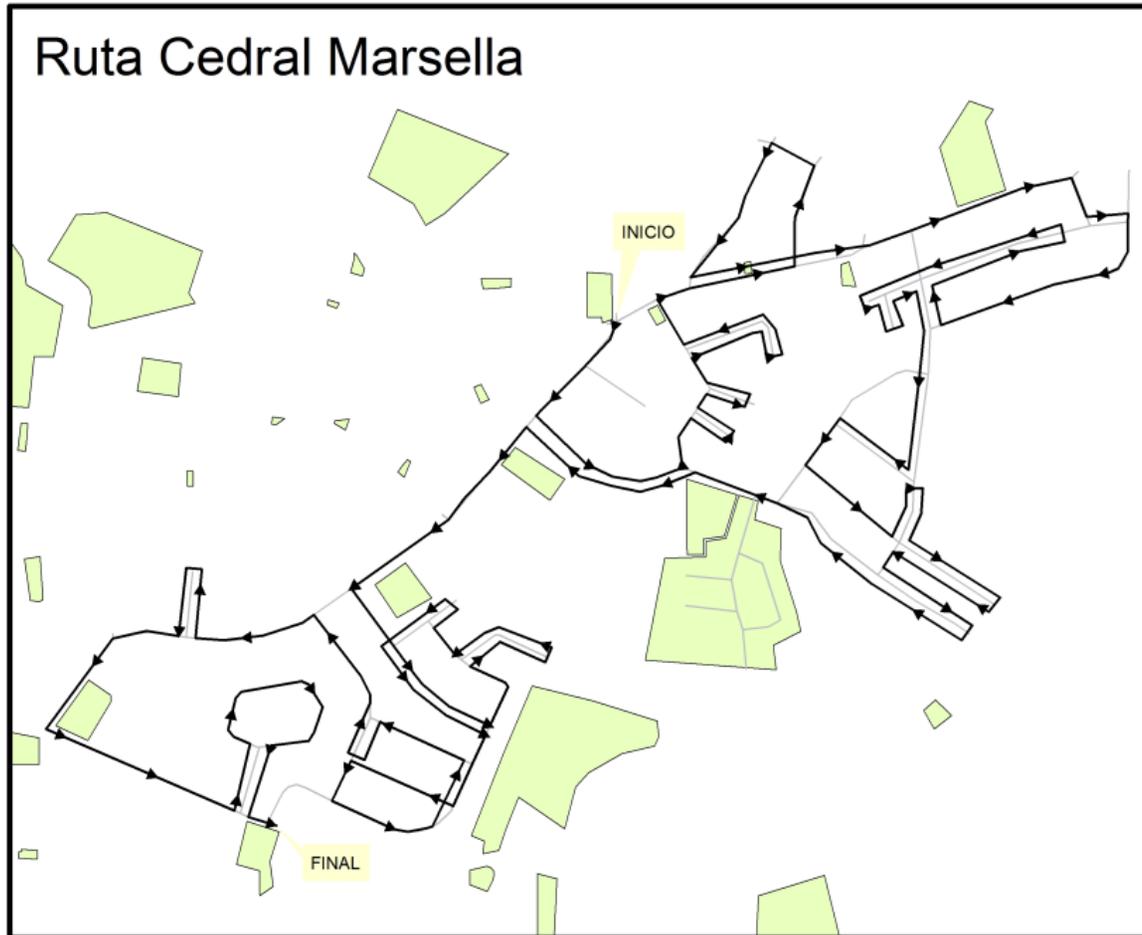


Figura 28: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Cedral Marsella.

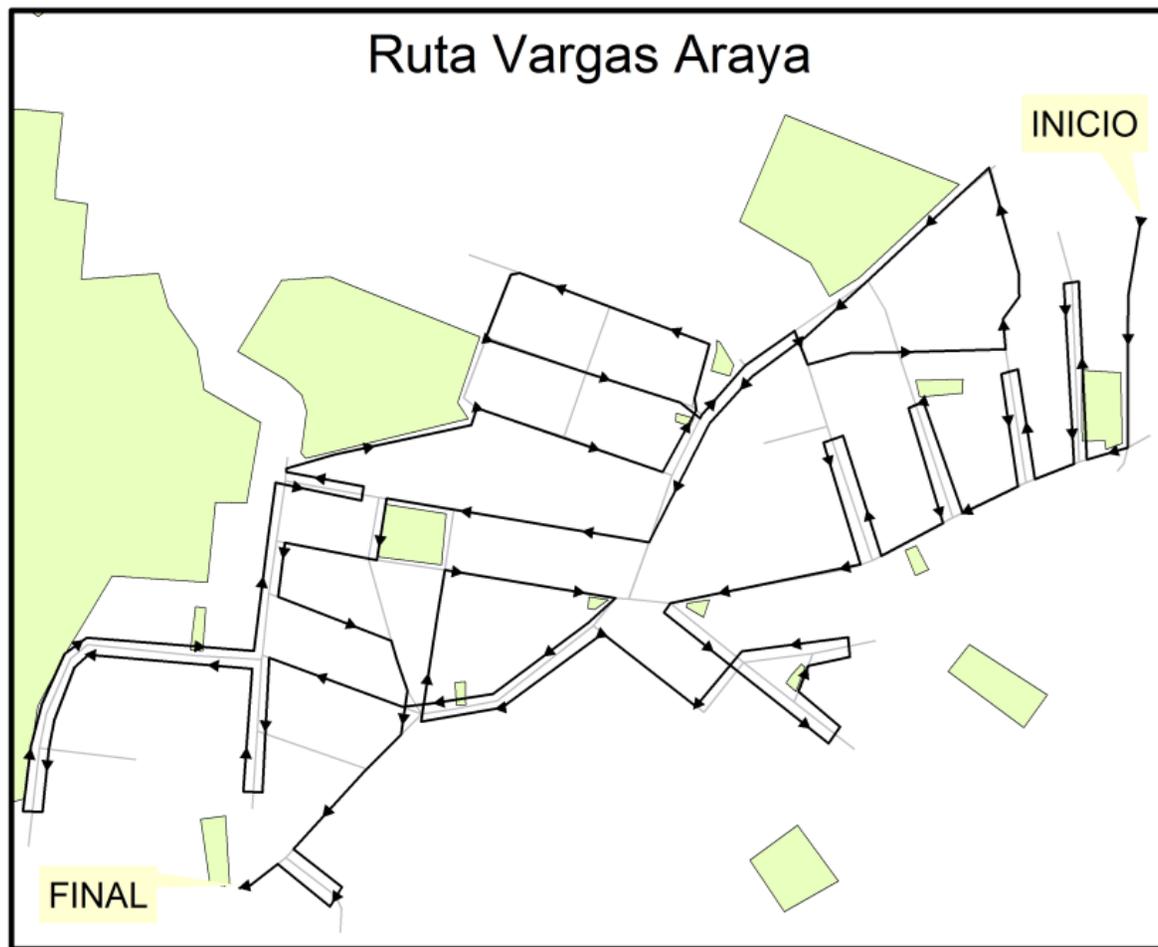


Figura 29: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Vargas Araya.

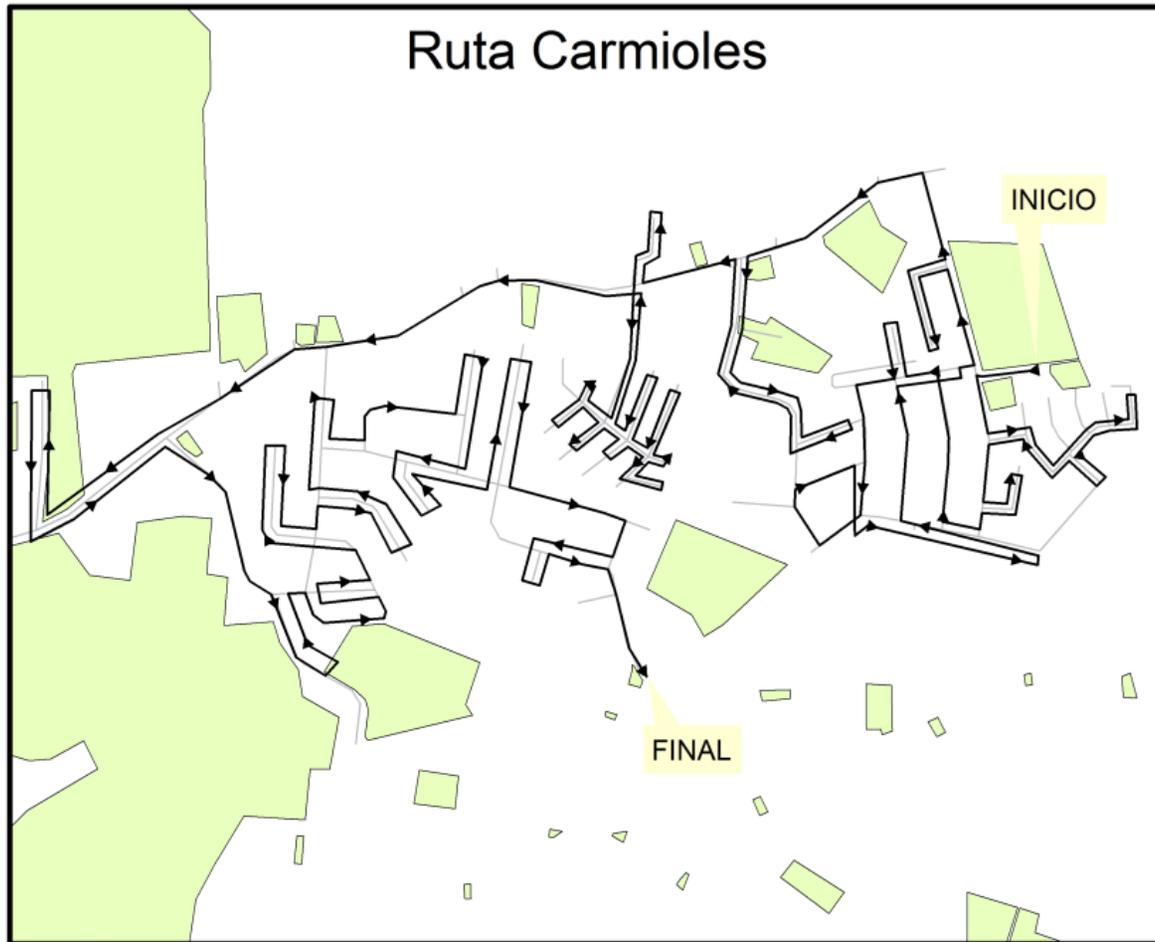


Figura 30: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Carmioles.

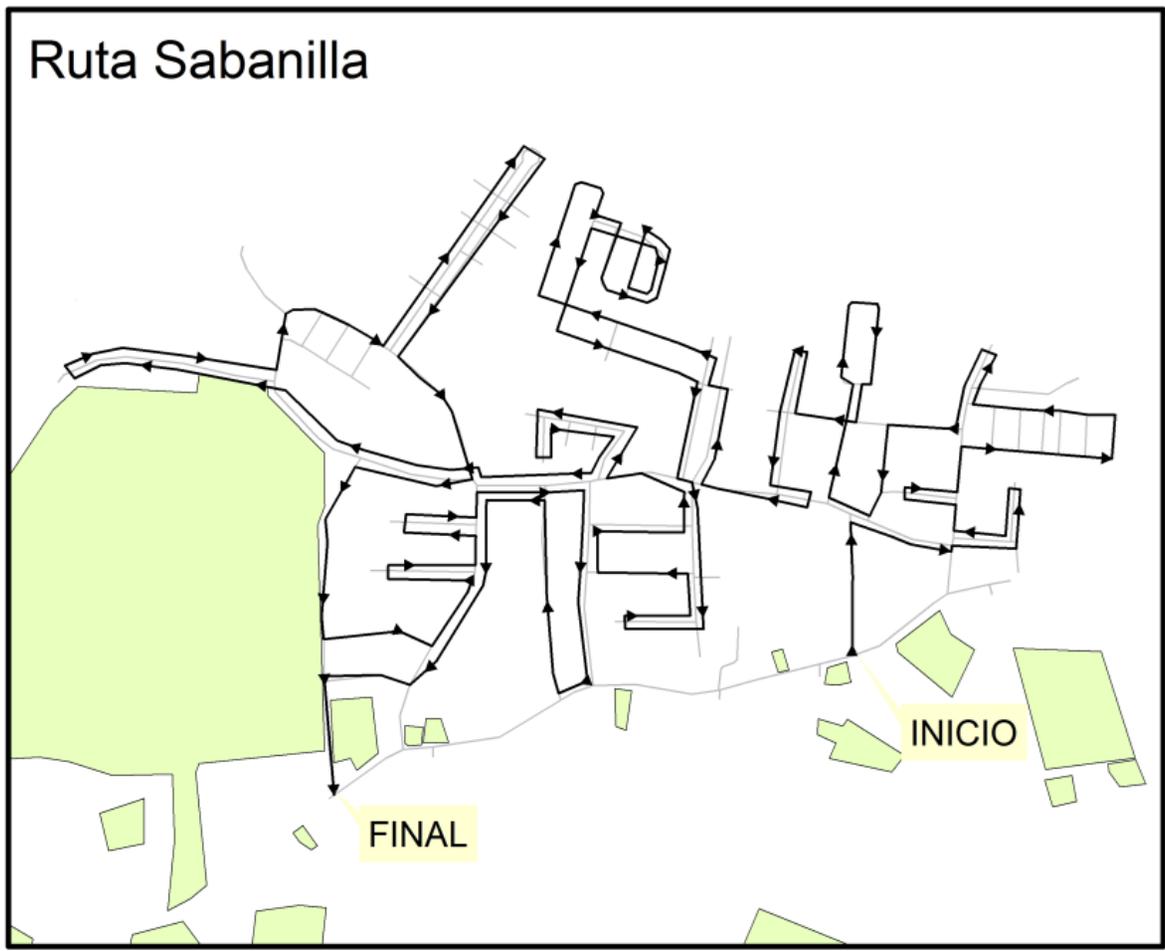


Figura 31: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Sabanilla.

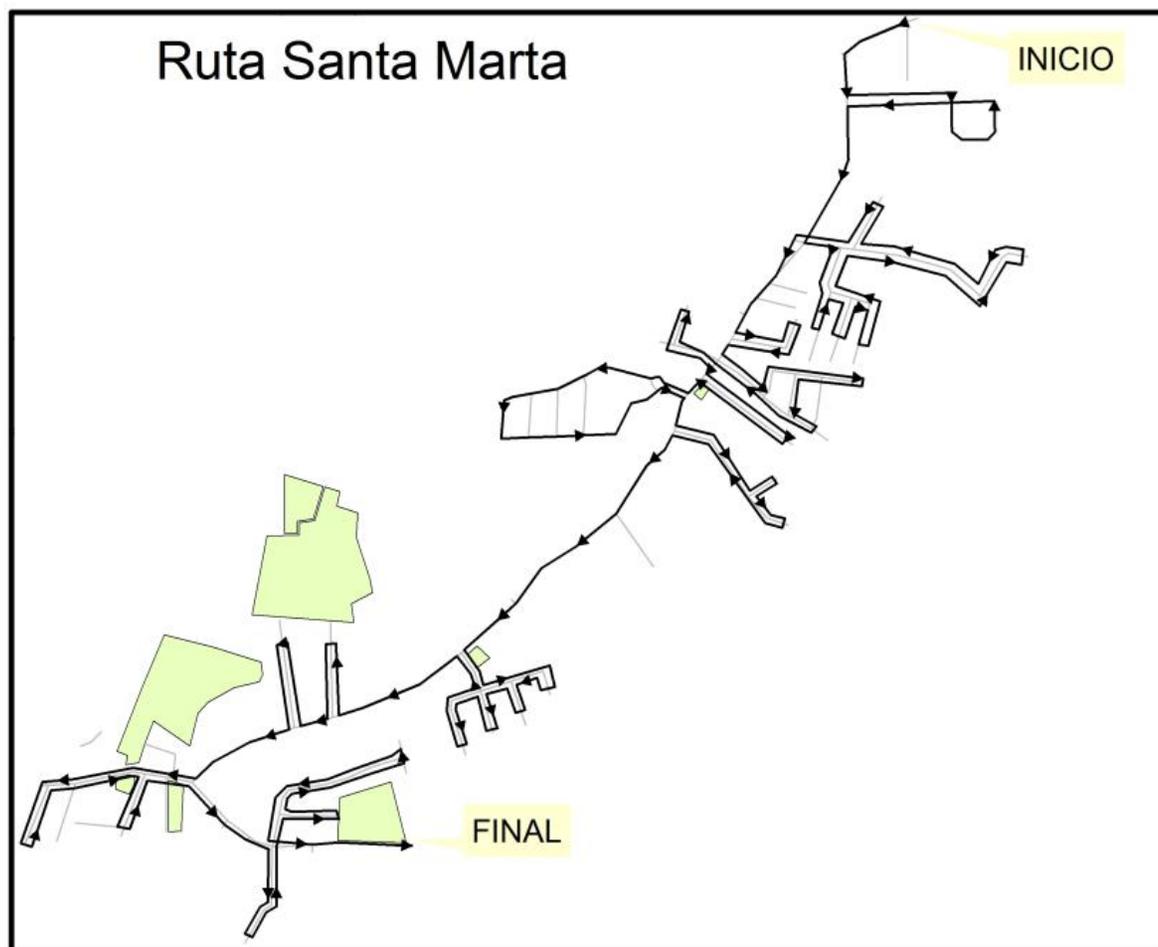


Figura 32: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Santa Marta.

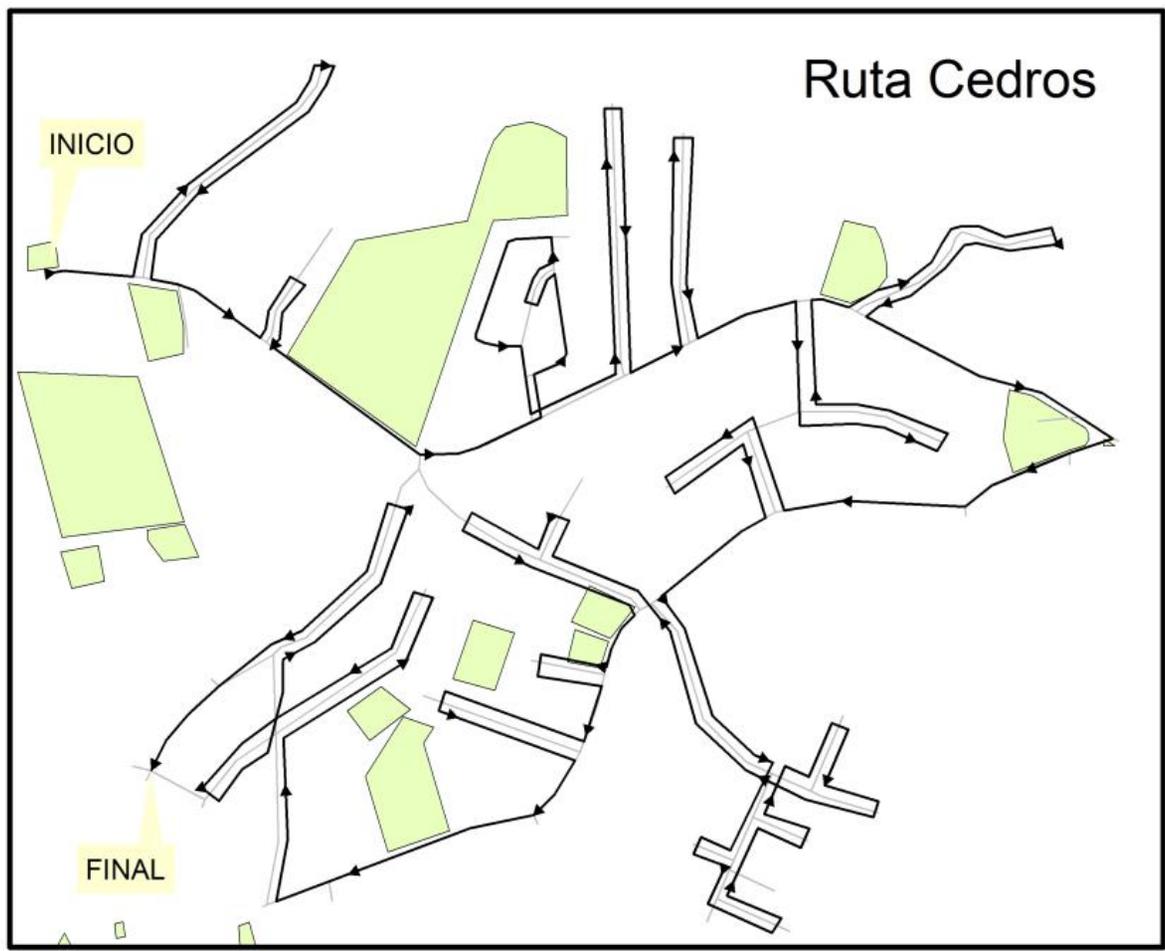


Figura 33: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos Cedros.

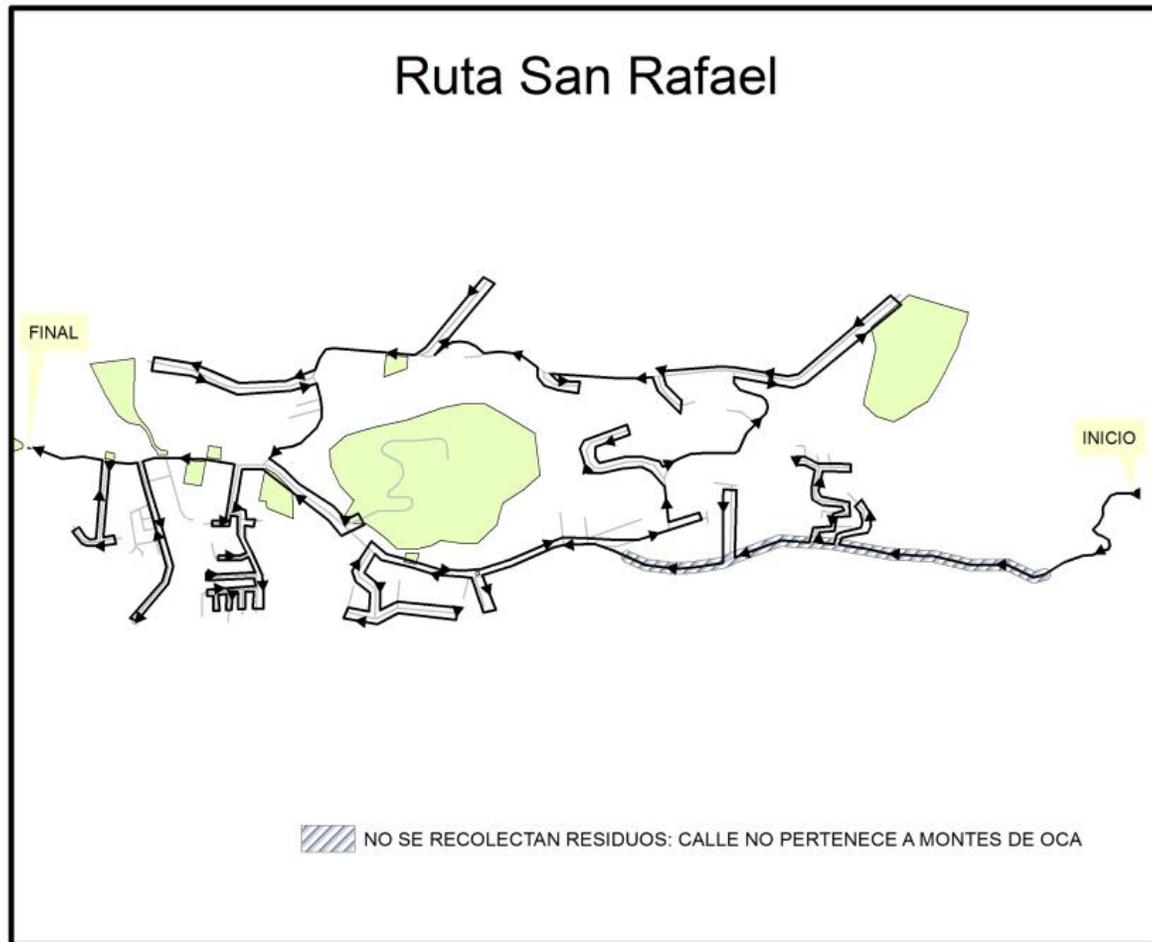


Figura 34: Recorrido propuesto para la nueva ruta de recolección de residuos San Rafael.

La distancia de los trayectos propuestos se resume en el cuadro 28:

Cuadro 28: Distancia de los trayectos propuestos para las nuevas rutas de recolección de residuos sólidos.

Nombre de la ruta propuesta:	Distancia total de la ruta (km):
Yoses	13,1
Mercedes	11,87
Barrio Pinto y Sur de San Pedro	11,46
San Pedro Centro	11,31
Lourdes Barrio Saprissa	9,42
Cedral Marsella	9,68
Vargas Araya	7,08
Carmioles	12,19
Sabanilla	11,96
Santa Marta	11,82
Cedros	10,45
San Rafael	22,01

6.4. Recolección separada de residuos

Los residuos que, al momento del presente estudio, se están recolectando en la municipalidad de Montes de Oca de forma separada se componen de la siguiente manera:

**Cuadro 29: Composición de los residuos sólidos separados que son recolectados por la
Municipalidad de Montes de Oca**

Tipo de residuo:	Porcentaje del residuo sólido sobre la totalidad recolectada de forma separada.
Papel blanco	10,56%
Papel color	12,98%
Papel periódico	8,76%
Cartón	21,46%
Bolsas plásticas (LDPE)	1,32%
PET	19,10%
Chatarra	7,01%
Electrónica	1,38%
Tetra Brik	0,82%
Aluminio	0,91%
Vidrio	15,71%
Total	100%

Debido a que la institución no dispone de una cuantificación de la composición de los residuos a la fecha del presente trabajo, se asume que los residuos del cuadro 29 representan un 20% de la totalidad de residuos sólidos generados. El cuadro 30 muestra la cantidad de residuos sólidos a recolectar por separado conforme se aumenta la cobertura del servicio de recolección separada.

La municipalidad recuperó en promedio 8,5 toneladas entre enero y octubre del 2012, lo que representa 3,44% del potencial de residuos que se podrían recuperar en Montes de Oca. Para realizar esta tarea, se empleó un camión con capacidad de 6 toneladas y 2 funcionarios cargando residuos, además del chofer.

**Cuadro 30: Proyección de residuos sólidos valorizable a recolectar por la
municipalidad en relación a la cobertura del servicio.**

Porcentaje de residuos recuperados (sobre la fracción de residuos valorizables del cantón)	Cantidad de residuos (toneladas) que se generan mensualmente.
5%	12,6
10%	25,3
20%	50,5
30%	75,8
40%	101,1
50%	126,3
60%	151,6
70%	176,9
80%	202,1
90%	227,4
100%	252,7

Para alcanzar la recuperación del 100% de los residuos valorizables, se requiere:

Cantidad de residuos a recuperar por mes:	252,7 toneladas
Cantidad de viajes:	6 semanales (se considera una frecuencia quincenal para las 12 rutas de recolección)
Cantidad de camiones requeridos:	Se necesita entre 7 y 8 camiones.

6.5. Distribución semanal de la recolección de residuos

Se diseñó una distribución semanal de las rutas basado en que la municipalidad dispone solamente de 3 camiones recolectores y que trabaja bajo la modalidad 2 del cuadro 25, es decir con la primera recolección semanal para los días lunes, martes o miércoles; y la segunda

recolección los días jueves, viernes y sábados. Además, se incluye la recolección de residuos sólidos separados con una frecuencia quincenal.

Cuadro 31: Distribución propuesta para la recolección de residuos sólidos del cantón de Montes de Oca

Número de ruta:	Nombre:	Día de la recolección semanal 1:	Día de la recolección semanal 2:	Turno:	Día de la recolección separada de residuos:
1	Yoses	Lunes	Jueves	M	Martes
2	Mercedes	Martes	Viernes	T	Lunes
3	Barrio Pinto y Sur de San Pedro	Miércoles	Sábado	M	Lunes
4	San Pedro Centro	Lunes	Jueves	M	Martes
5	Lourdes Barrio Saprissa	Martes	Viernes	M	Lunes
6	Cedral Marsella	Miércoles	Sábado	T	Martes
7	Vargas Araya	Lunes	Jueves	T	Viernes
8	Carmioles	Martes	Viernes	M	Jueves
9	Sabanilla	Miércoles	Sábado	M	Jueves
10	Santa Marta	Lunes	Jueves	T	Viernes
11	Cedros	Martes	Viernes	T	Jueves
12	San Rafael	Miércoles	Sábado	T	Viernes

Para la recolección separada de residuos se propone habilitar los días miércoles para brindar mantenimiento al camión, ya que la municipalidad solamente cuenta con un vehículo para este fin. Los sitios de recolección establecidos a la fecha deberán adecuarse, por su ubicación,

al nuevo día. Las comunidades o residenciales que se incorporen al sistema de recolección separada se les deberá asignar, de acuerdo con su ubicación, el día señalado por el cuadro 31.

7. Análisis y validación del sistema de recolección de residuos

El nuevo sistema de recolección mantiene la misma cantidad de rutas establecidas para Montes de Oca. El cálculo muestra que los operarios del servicio habían determinado la cantidad de rutas óptima de acuerdo al ensayo diario. Sin embargo, la distribución de las calles a servir y el tamaño de las rutas presentan opciones de mejora. Las rutas propuestas, en lo referente a la cantidad de residuos recolectados, indica que la diferencia entre las rutas se encuentra en un rango de 4,23 toneladas métricas (entre 21,26 y 25,49 toneladas métrica); en contraste el sistema de la municipalidad presenta diferencias de 7,79 toneladas métricas (entre 18,28 y 26,07 toneladas métricas). Esta diferencia se traduce en una carga laboral más equilibrada para los operarios del servicio.

Por otro lado, si comparamos la sumatoria de las distancias totales de las rutas para el sistema viejo y el sistema propuesto se obtiene:

	Sistema vigente de recolección de residuos:	Sistema propuesto:
Sumatoria de las distancias totales de las rutas:	147, 37 km	143,35 km

Sin embargo, la ruta San Rafael del nuevo sistema incluye 3 urbanizaciones que anteriormente se recolectaban de manera independiente, enviando un camión particular de la municipalidad a estas localidades. Esta situación se justificaba porque el camión recolector no estaba en capacidad de realizarlo. Además, para acceder a dichas urbanizaciones, se debe transitar por una carretera perteneciente al cantón vecino de La Unión de Cartago (ver figura 35). Este nuevo segmento suma 4,38 km a la ruta, por lo que podemos considerar que el

modelo propuesto mejora la recolección en 8,4 km. El siguiente cuadro resume los beneficios de la optimización:

Beneficio obtenido:	Cuantificación del beneficio:
Reducción de la distancia total de la ruta:	Reducción en 873 km anuales.
Reducción en consumo de diesel:	Reducción en el consumo de diesel de 1266 litros anuales.
	Ahorro anual de más de ₡650 000 colones. (Costo de litro de diesel exonerado para diciembre del 2012: ₡515,0508 colones ¹⁵)
Mejora en tiempo de recolección:	No es posible una cuantificación hasta la implementación del modelo, sin embargo se espera una mejor distribución de la carga laboral de los empleados. Actualmente se subemplea a los funcionarios el gasto por las horas laborales no aprovechadas asciende a ₡31.357.092 colones anuales.

Secuencia para la implementación de las nuevas rutas:

Paso:	Actividad:	Tiempo estimado:
1	Presentación de las nuevas rutas a las autoridades municipales y aprobación.	Indefinido
2	Capacitación al personal de recolección de residuos sobre las nuevas rutas.	1 mes
3	Campaña informativa de los nuevos horarios de recolección a la comunidad.	2 mes
4	Aplicación de las nuevas rutas en periodo de prueba	1 mes
5	Ajustes de campo a las rutas (si es necesario), considerando aspectos de generación particulares o imprevistos de tránsito.	15 días

¹⁵ Fuente: Refinadora Costarricense de Petróleo: http://www.recope.go.cr/info_clientes/precios_productos/

6	Monitoreo de las rutas mediante los indicadores.	Permanente
---	--	------------

8. Conclusiones

El sistema de recolección de residuos sólidos empleado en la municipalidad de Montes de Oca se realiza bajo una distribución de 12 rutas, siendo esta cantidad adecuada para las 15000 toneladas anuales generadas. Sin embargo, existen opciones de mejora para reducir el tiempo de recolección, ajustar las cargas laborales a las cuadrillas y reducir el consumo de combustible. Se determinaron que 5 rutas de recolección pueden ampliarse y cargar más residuos, y en contraparte se presenta sobrecarga (de residuos y tiempo) en cuatro de las rutas.

Para evitar esta problemática, es posible establecer un nuevo sistema de recolección y reducir el uso y desgaste de los camiones recolectores, el gasto en combustible y mejorar el tiempo de limpieza de las rutas. Además, es necesario realizar un monitoreo constante a las rutas para mantener un equilibrio en el sistema de recolección. También al mejorar la eficiencia del sistema se estaría reduciendo el impacto ambiental del mismo.

La Municipalidad de Montes de Oca debe aumentar la maquinaria que dispone actualmente, ya que se requieren 6 camiones recolectores para prestar el servicio de forma óptima a nivel residencial. Por otra parte se debe disponer de la maquinaria para recolectar residuos comerciales y atender casos especiales, así como 7 u 8 camiones para la recolección separada al momento que exista una cobertura del 100% del cantón. La Dirección de Servicios Ambientales debe enfocar sus esfuerzos para alcanzar esta organización.

9. Bibliografía

CEPGIRMO (2011). Plan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos de Montes de Oca
Manuscrito no publicado.

Guttman E., C. Zorro, A. Cuervo y J.C. Ramírez. 2004. Diseño de un sistema de indicadores socio ambientales para el distrito capital de Bogotá. Proyecto evaluación social de la gestión ambiental, Serie de estudios y Perspectivas, CEPAL/PNUD COL/01/001, Bogotá, Colombia. 81p.

Entrevista con el Director de Servicios Ambientales de la Municipalidad de Montes de Oca:
Ing. Héctor Bermúdez Víquez.

Entrevista con el Jefe del Departamento de Recolección de Desechos Sólidos de la Municipalidad de Montes de Oca: Sr. Marvin Quesada Bolaños.

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) (s.f.). Resultados Preliminares Censo 2011.
Recuperado el 21 de febrero del 2012 de www.inec.go.cr

Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS). 2005. Plan Regulador de Montes de Oca. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

Programa Competitividad y Medio Ambiente (CYMA). 2011. Guía para mancomunidades en gestión integral de residuos sólidos. San José, Costa Rica. 96p.

Racero J. y E. Pérez. 2006. Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios (ecoeficiencia). X Congreso de Ingeniería de la Organización, Valencia. Recuperado el 05 de febrero de 2012 de http://io.us.es/cio2006/docs/000226_final.pdf

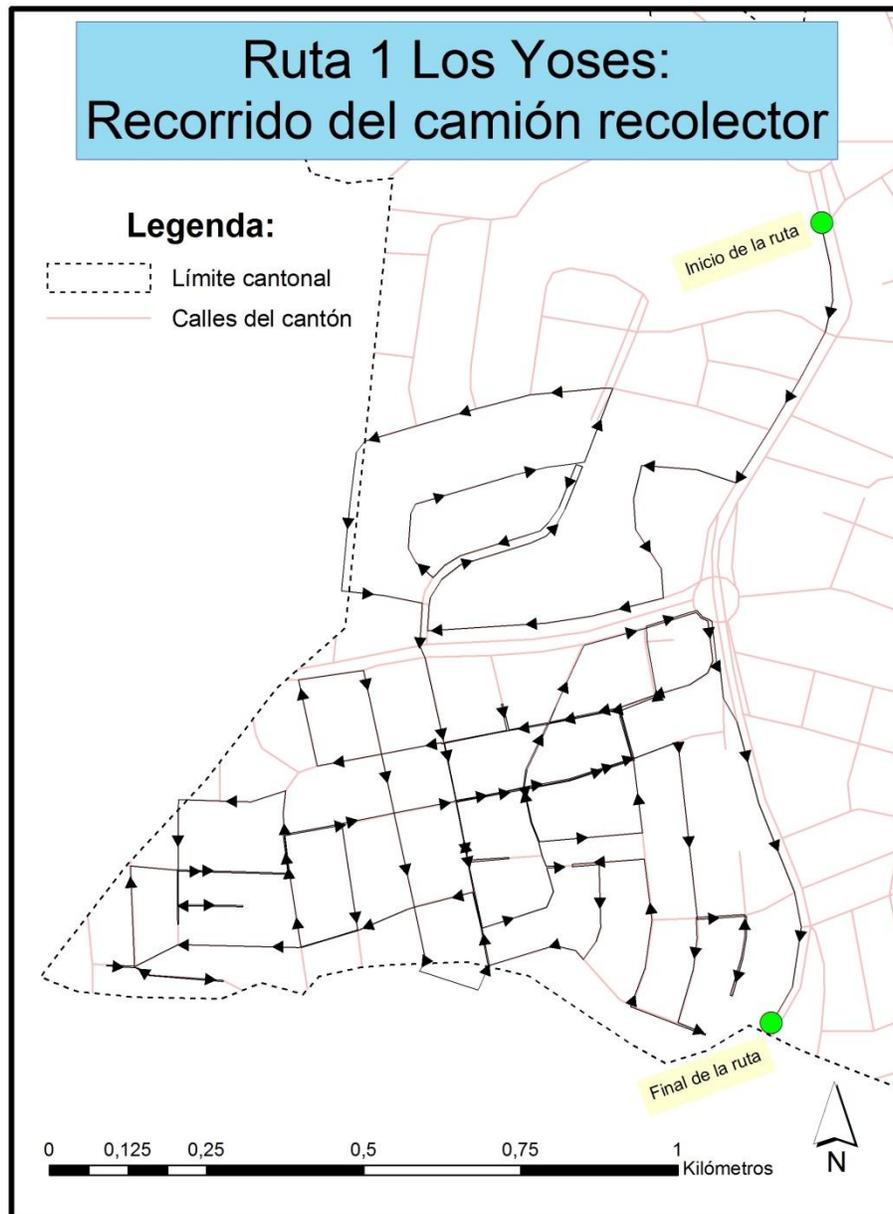
Racero J., I. Eguías, J.M. García y G. Villa. 2008. Modelado para el diseño de rutas en un sistema de recolección de residuos sólidos urbanos. XII Congreso de Ingeniería de la Organización, Burgos. Recuperado el 13 de marzo de 2012 de <http://www.adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2008/LOGISTIC//1113-1120.pdf>

Sakurai K. 1980. Diseño de rutas de recolección de residuos sólidos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/OMS. Recuperado el 05 de febrero de 2012 de <http://www.bvsde.paho.org/acrobat/disen.pdf>

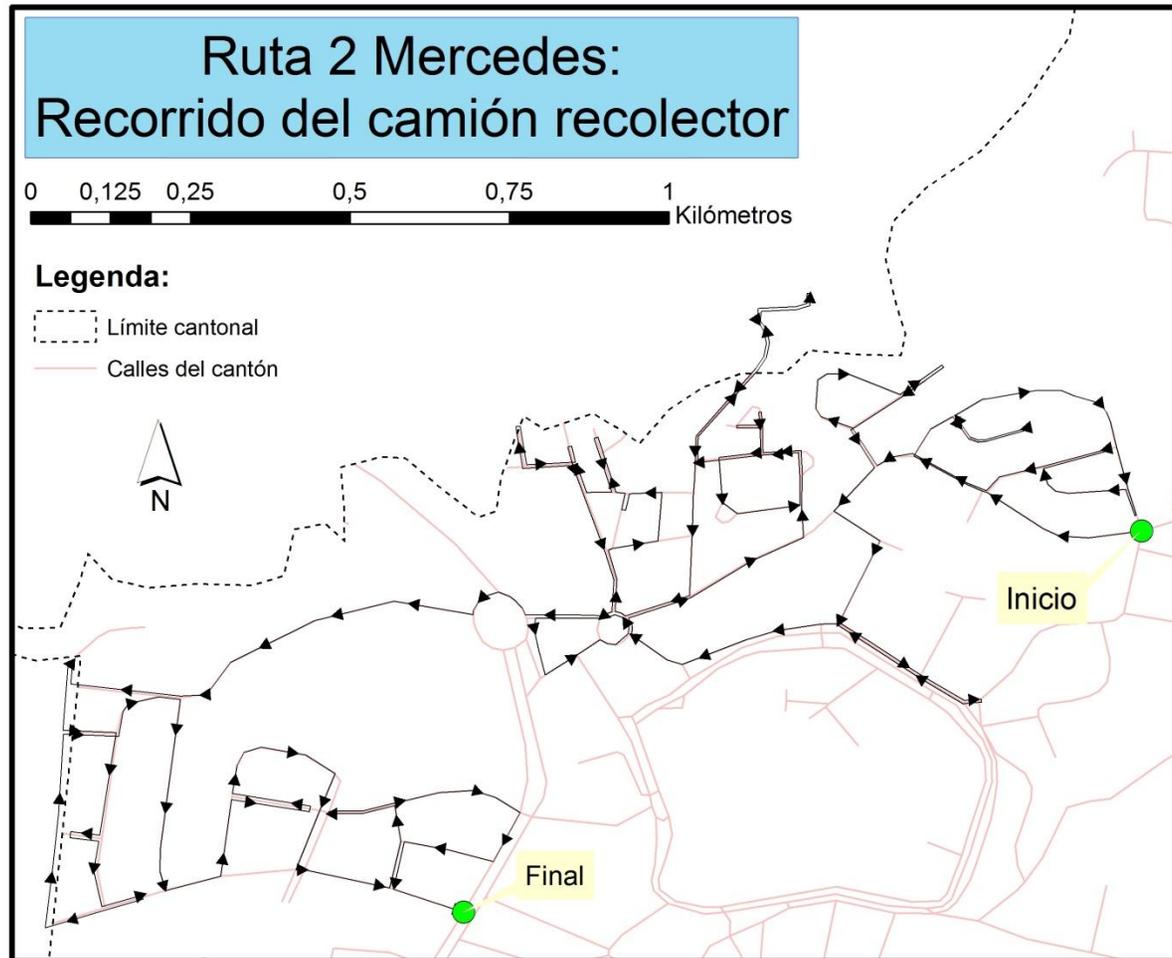
Tchobanoglous G. y F. Kreith. 2002. Handbook of solid waste management. McGraw-Hill Handbooks, United State of America, 2 edición. p.7.1-7.27.

10. Anexos:

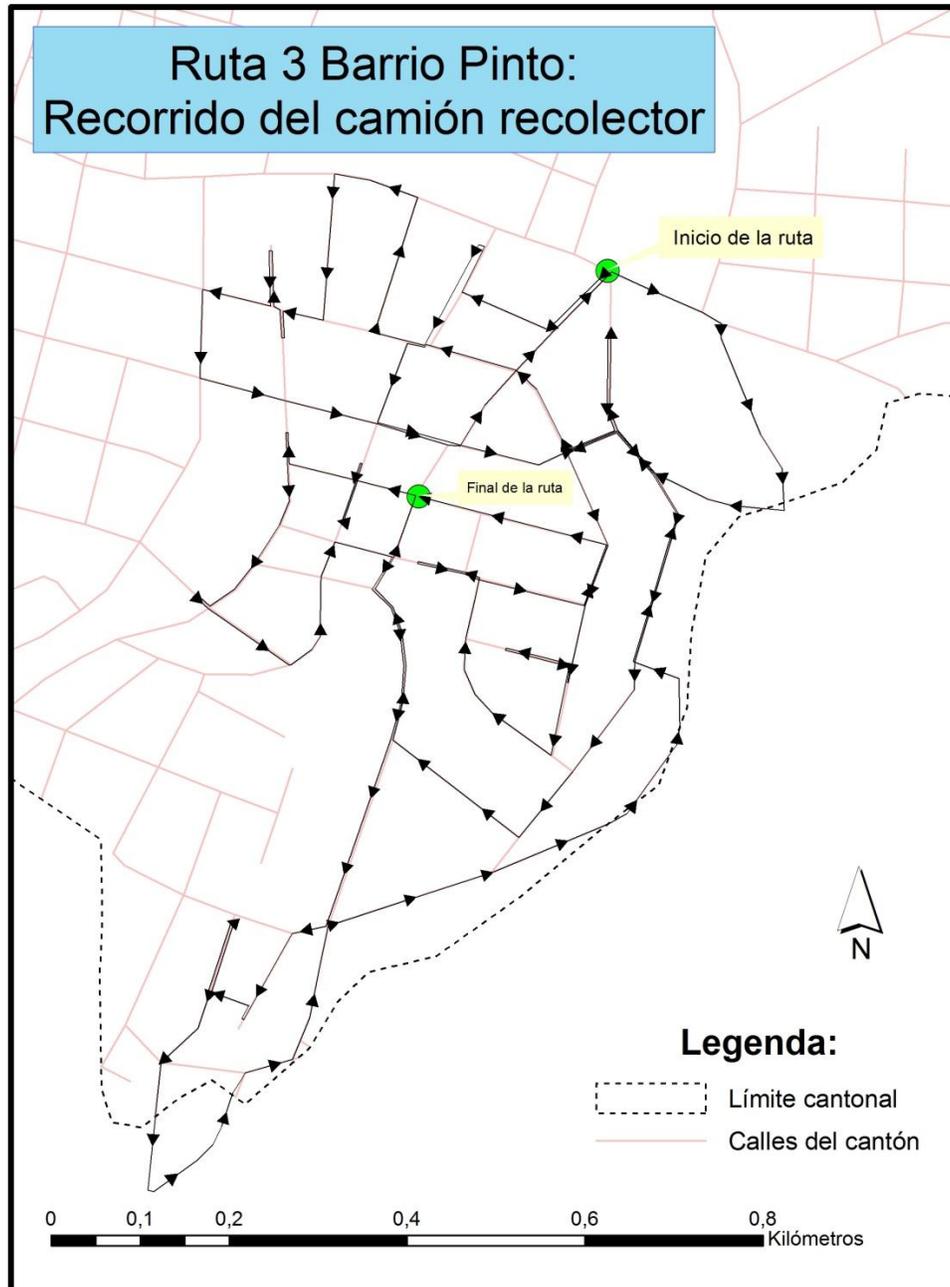
10.1. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 1 Los Yoses



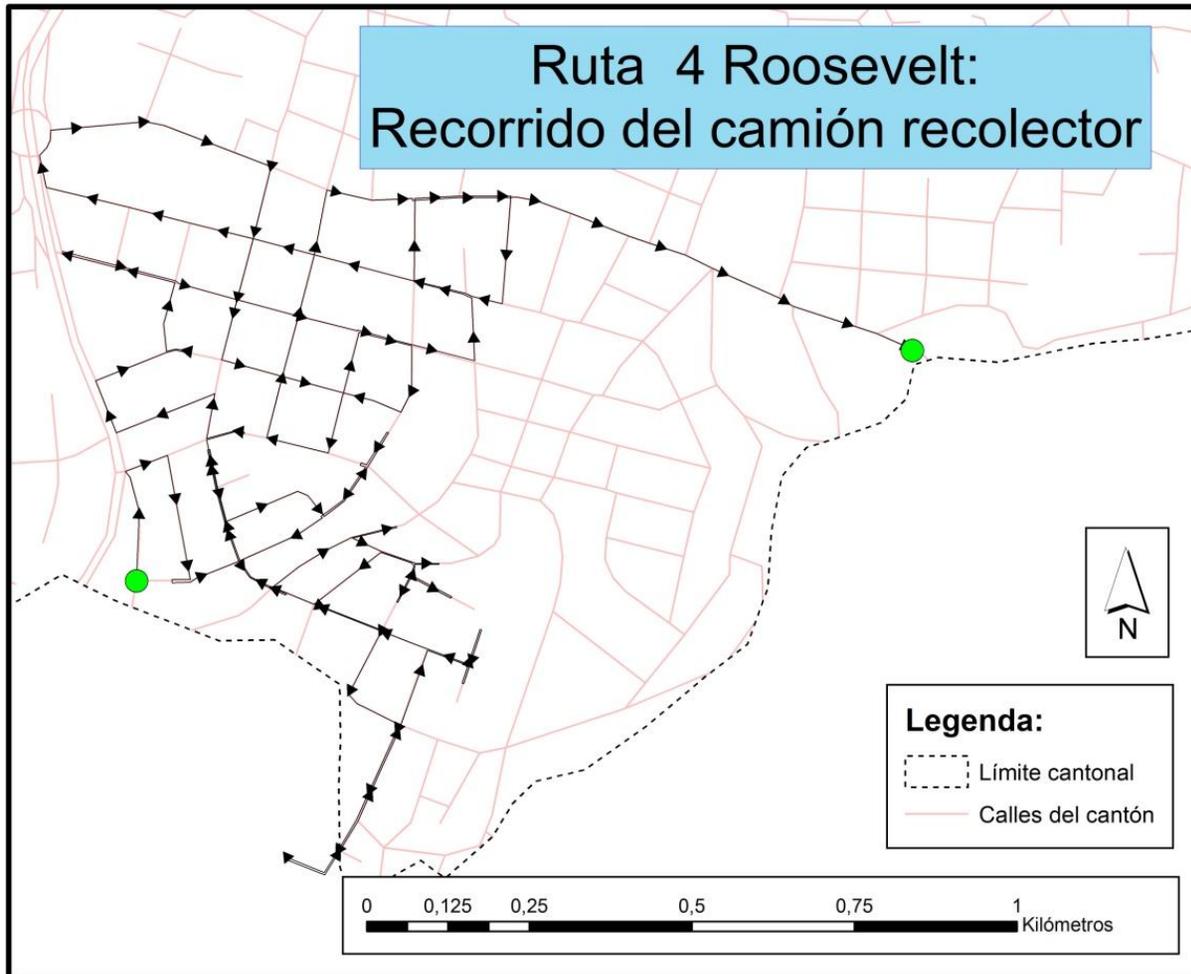
10.2. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 2 Mercedes



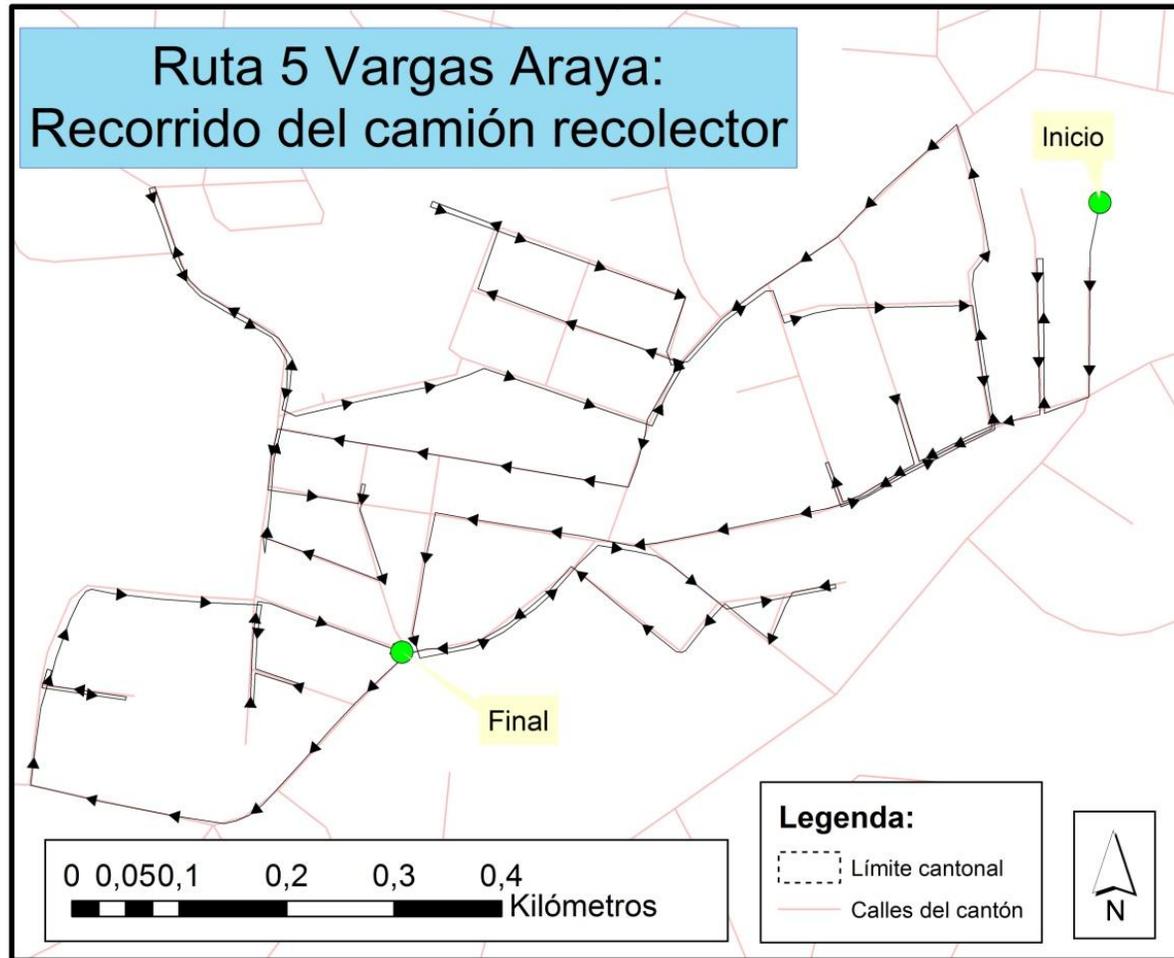
10.3. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 3 Barrio Pinto



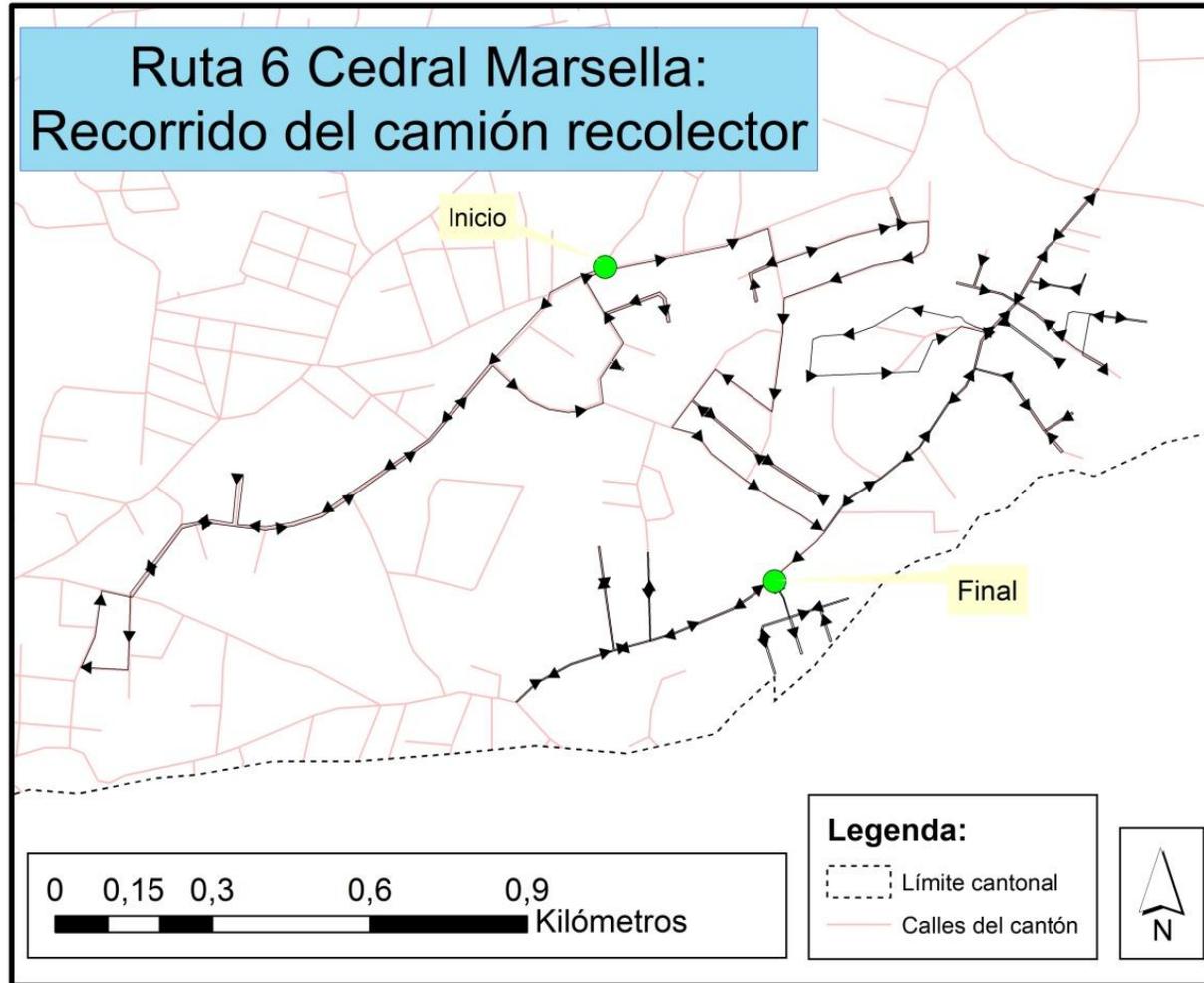
10.4. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 4 Roosevelt



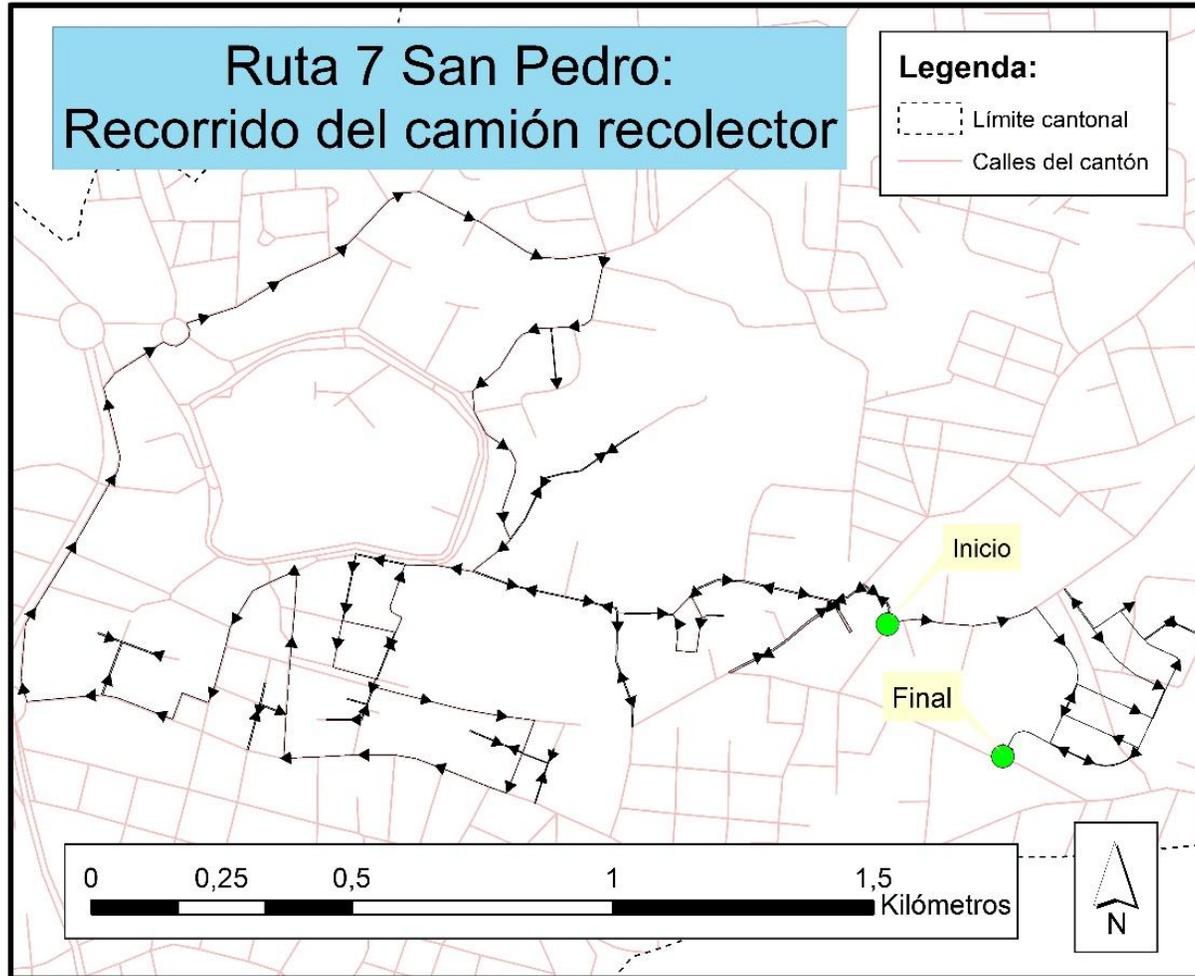
10.5. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 5 Vargas Araya



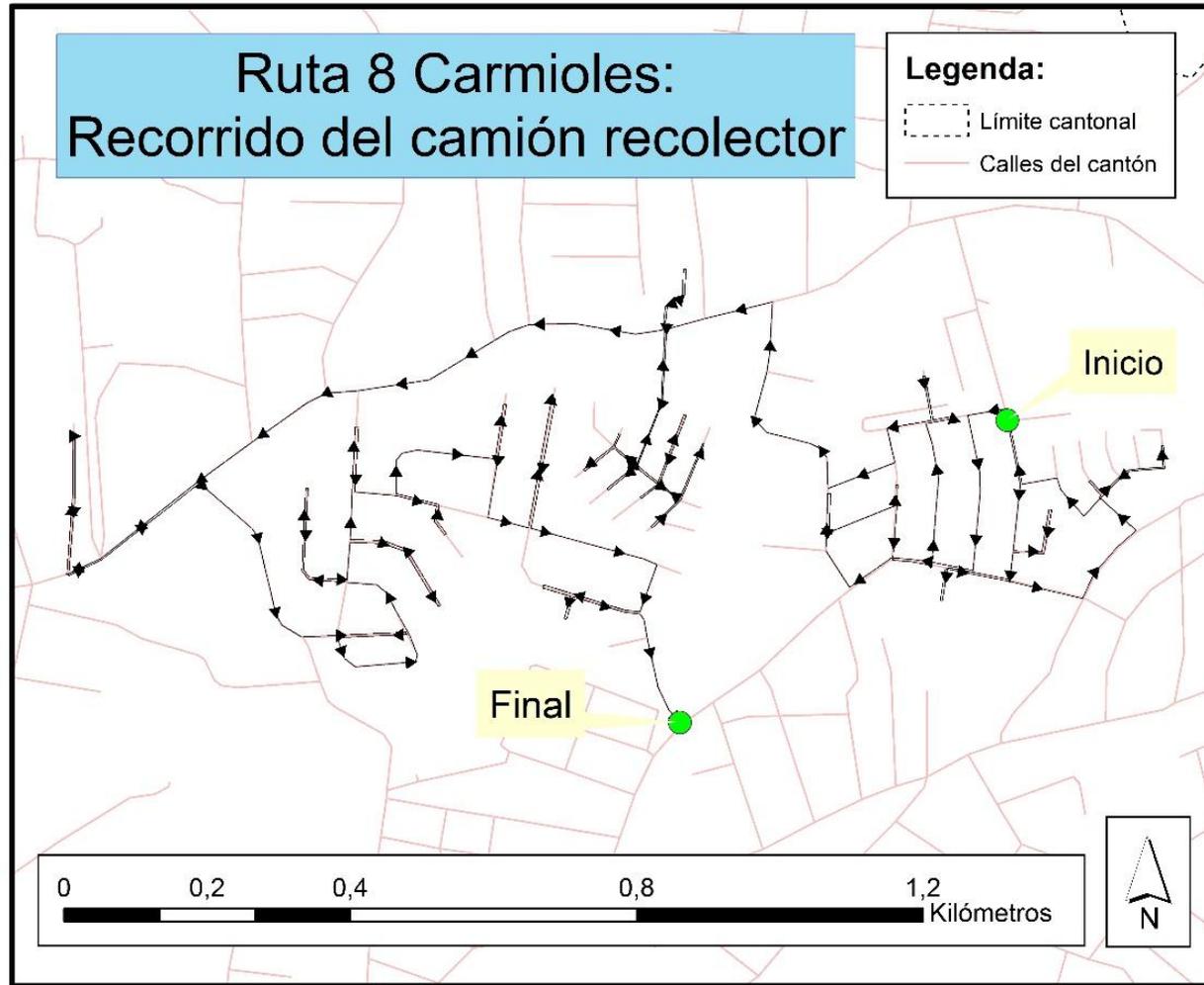
10.6. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 6 Cedral Marsella



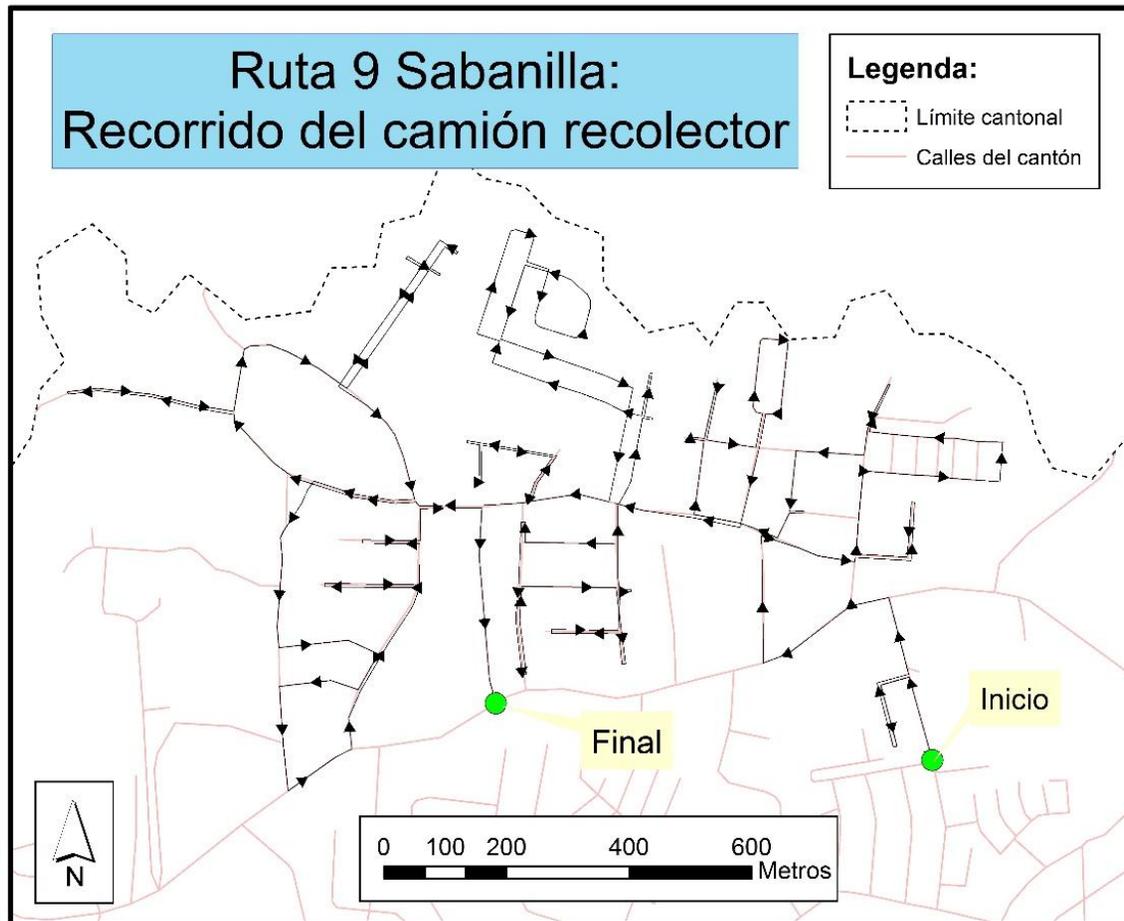
10.7. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 7 San Pedro



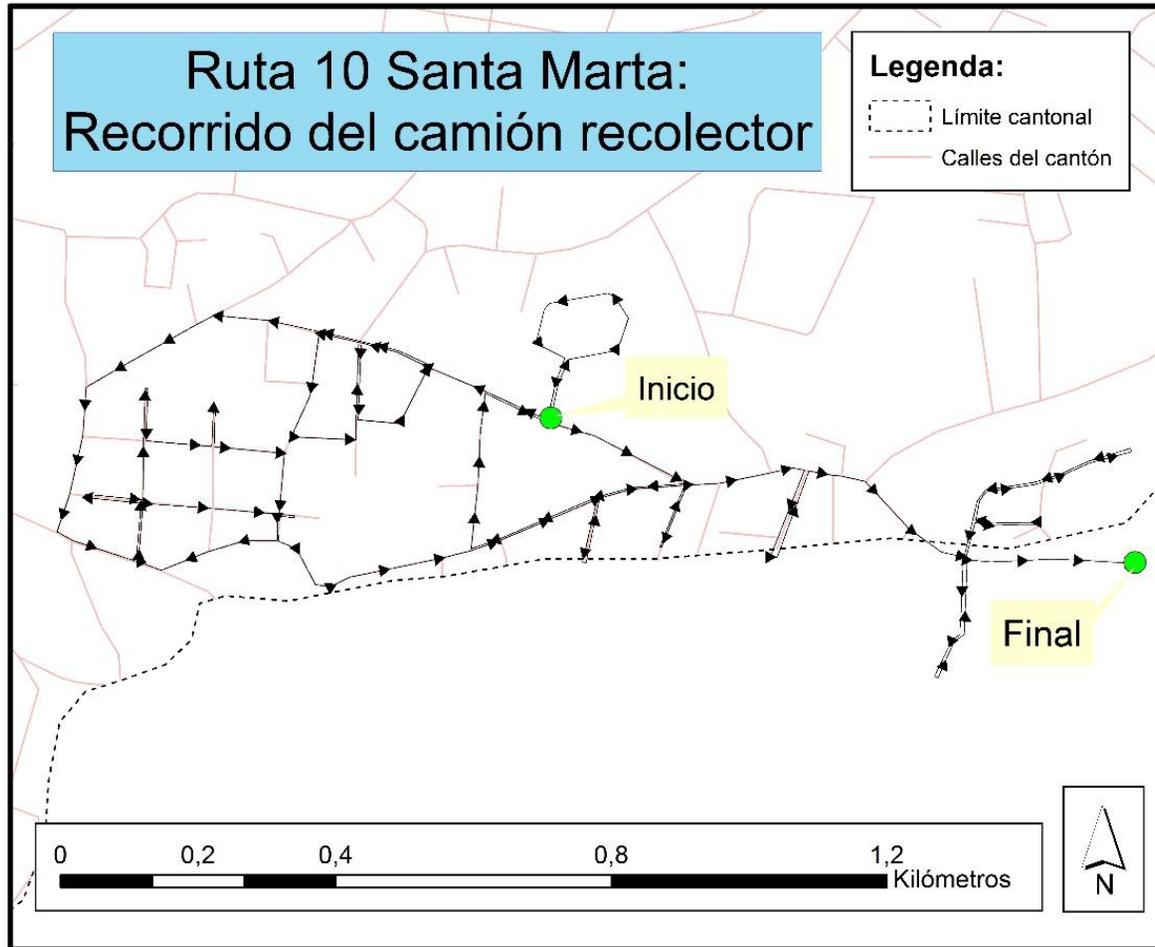
10.8. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 8 Carmioles



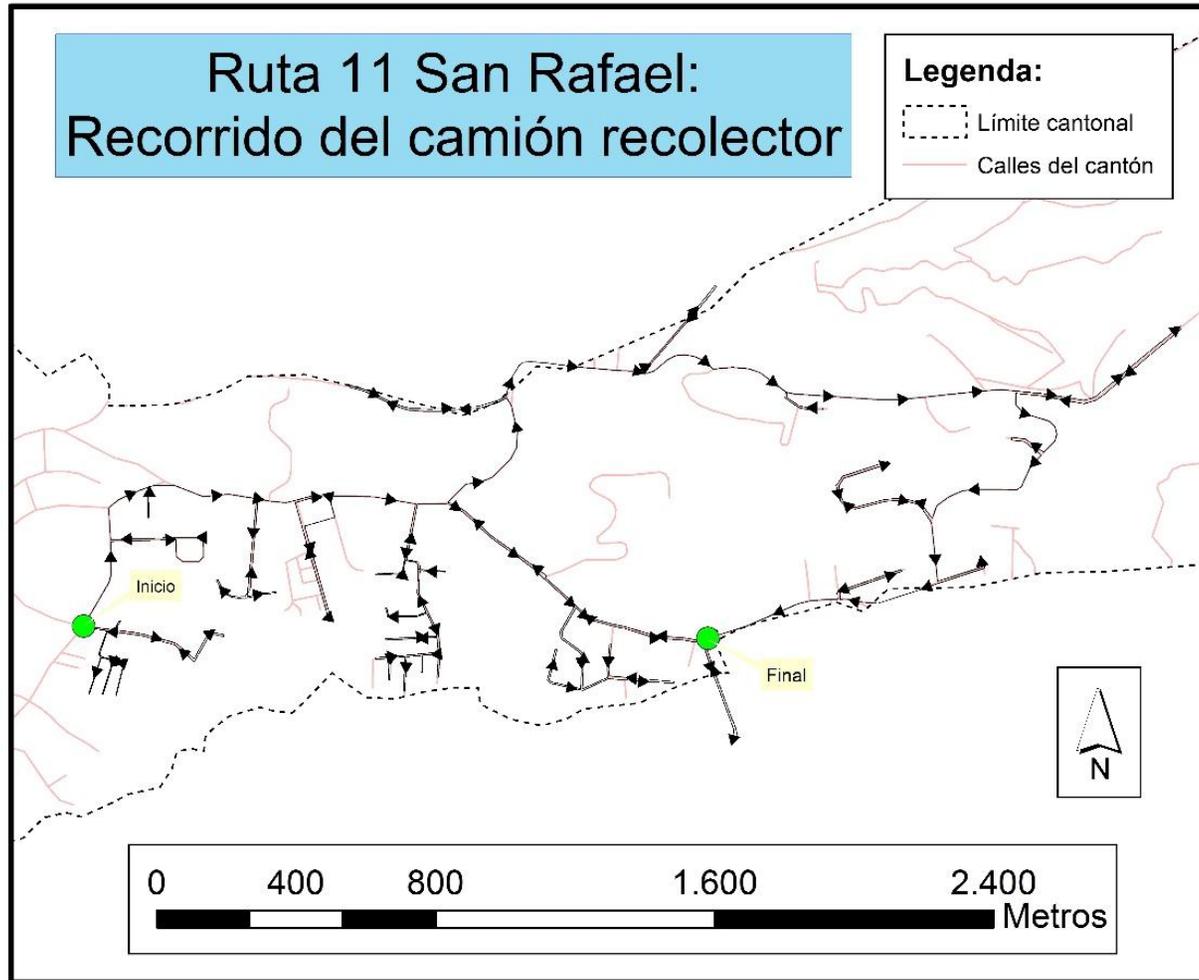
10.9. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 9 Sabanilla



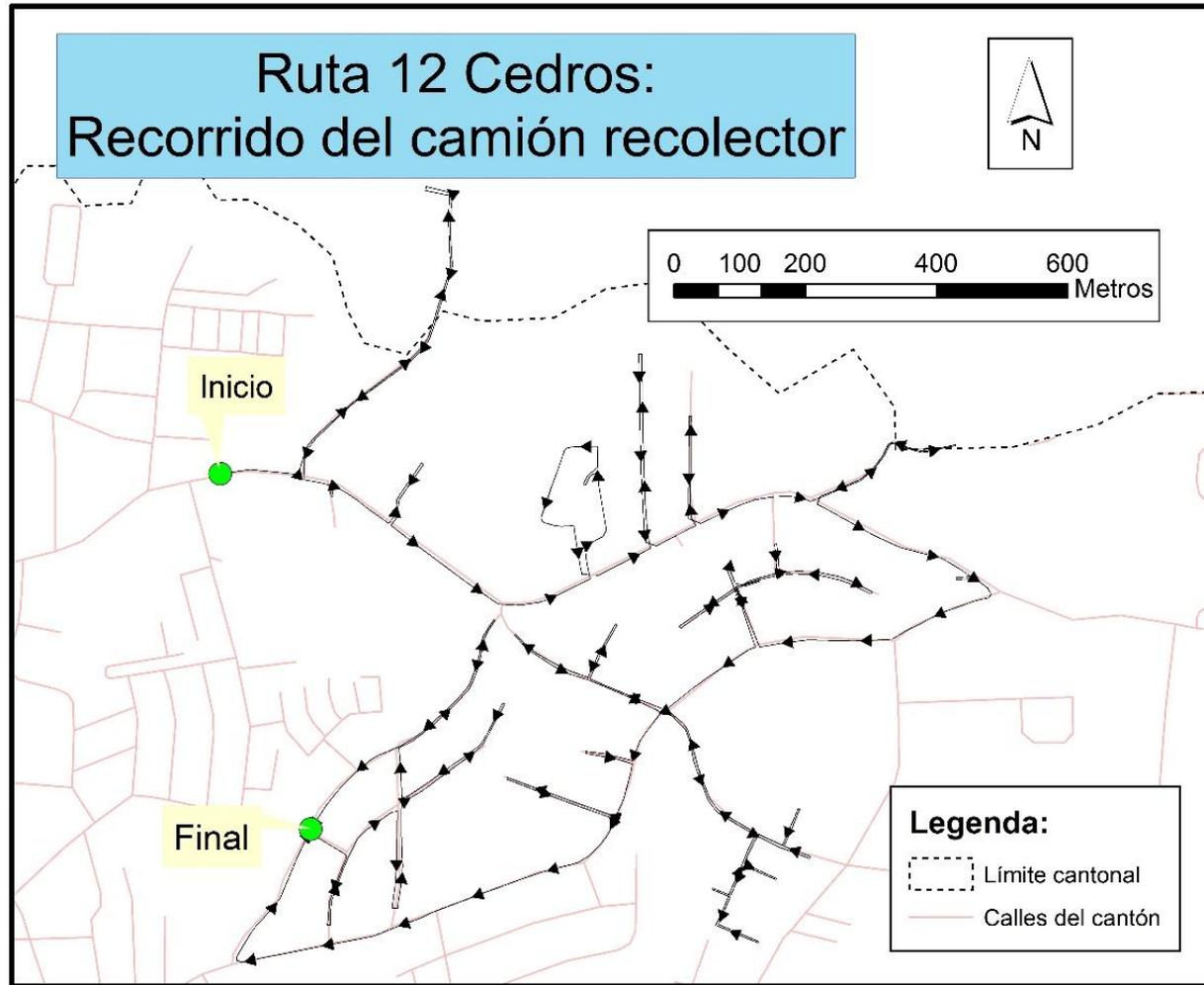
10.10. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 10 Santa Marta



10.11. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 11 San Rafael



10.12. Recorrido actual del camión recolector en la ruta 12 Cedros



10.13. Datos de la cantidad de residuos recolectados por ruta entre el agosto 2011 y junio 2012

ID	Cantidad de residuos (toneladas)																											
	Yoses		Mercedes		Barrio Pinto		Roosevelt		Vargas Araya		Cedral Marsella		San Pedro		Carmioles		Sabanilla		Santa Marta		San Rafael		Cedros					
	Viaje 1 (Lunes)	Viaje 2 (Jueves)	Viaje 1 (Martes)	Viaje 2 (Viernes)	Viaje 1 (Miércoles)	Viaje 2 (Sábado)	Viaje 1 (Miércoles)	Viaje 2 (Sábado)	Viaje 1 (Lunes)	Viaje 2 (Jueves)	Viaje 1 (Martes)	Viaje 2 (Viernes)	Viaje 1 (Lunes)	Viaje 2 (Jueves)	Viaje 1 (Miércoles)	Viaje 2 (Sábado)	Viaje 1 (Martes)	Viaje 2 (Viernes)	Viaje 1 (Miércoles)	Viaje 2 (Sábado)	Viaje 1 (Lunes)	Viaje 2 (Jueves)	Viaje 1 (Martes)	Viaje 2 (Viernes)				
1	7,98	11,43	17,48	10,30	15,00	9,00	14,18	9,01	10,96	8,20	20,12	10,92	13,45	12,97	8,00	7,35	17,78	11,82	11,76	8,00	12,88	10,50	12,41	10,28				
2	11,14	12,90	12,28	10,10	15,30	6,78	11,40	6,00	12,33	9,32	14,02	11,68	15,38	9,11	13,72	7,00	16,96	10,96	15,41	7,36	13,48	10,96	15,52	9,95				
3	13,03	8,29	20,58	8,82	12,43	7,78	9,04	6,00	14,56	8,62	13,94	10,53	13,57	8,50	11,78	7,00	13,68	9,52	14,93	7,64	13,38	8,00	12,00	8,43				
4	12,30	10,38	15,96	8,78	13,66	7,32	9,00	7,00	13,93	8,32	21,82	9,35	14,01	10,33	27,62	7,00	19,90	10,20	14,59	6,58	17,12	12,96	12,2	12,05				
5	9,91	8,00	17,43	7,54	14,04	7,12	13,58	7,00	13,50	13,64	13,64	12,43	15,76	9,68	15,43	7,00	14,21	12,22	13,54	7,92	18,28	11,00	15,02	9,62				
6	15,14	13,14	14,01	11,52	11,18	7,12	14,40	7,00	15,60	10,10	13,78	11,50	14,56	12,68	10,56	7,00	14,24	12,34	15,16	7,92	14,79	11,08	14,84	11,22				
7	12,53	13,70	12,36	14,01	12,30	7,80	13,64	7,00	13,44	12,44	15,50	8,55	14,02	12,14	14,34	8,00	14,46	10,85	10,10	7,84	15,87	10,38	15,86	10,72				
8	10,62	12,01	13,74	12,63	11,65	8,38	8,90	8,00	13,64	10,50	14,38	13,78	13,87	11,30	7,00	12,45	14,05	14,84	7,98	9,73	13,48	12,56	13,41	13,59				
9	13,10	12,37	14,87	12,74	14,76	7,95	10,42	7,00	13,34	11,44	15,33	13,38	14,06	11,19	12,96	8,00	15,17	12,46	13,68	7,36	14,20	9,94	15,47	11,97				
10	12,08	11,94	13,59	13,12	13,76	6,90	13,00	7,00	12,98	12,08	14,94	13,20	14,07	13,00	9,00	7,00	13,00	11,08	11,38	7,08	13,74	10,32	16,93	11,39				
11	11,81	11,10	18,63	11,36	14,63	9,54	16,34	9,00	13,66	11,82	18,27	11,36	12,70	9,00	14,39	8,46	13,02	11,78	13,73	9,94	11,68	10,94	13,04	10,47				
12	13,52	11,52	14,70	14,59	13,36	11,00	10,50	10,14	12,64	10,46	12,26	13,50	13,94	7,35	9,23	9,69	14,75	13,34	10,00	13,68	17,24	13,20	10,33	12,96				
13	10,62	11,38	13,60	12,18	12,94	9,56	13,80	7,28	13,54	13,05	13,15	10,04	13,08	7,82	8,00	10,00	12,80	11,30	13,32	10,00	13,66	11,12	12,22	12,88				
14	9,39	7,17	12,22	8,64	12,32	5,21	8,85	5,00	12,45	8,89	11,59	10,18	8,56	10,81	12,06	4,00	11,36	9,09	12,82	7,25	13,30	9,83	13,52	11,20				
15	7,00	12,35	11,45	10,01	11,00	8,40	11,13	7,70	12,20	10,42	12,22	11,37	11,49	8,00	12,70	7,00	12,46	11,30	11,79	7,10	18,45	12,60	14,80	11,96				
16	12,38	9,86	10,40	10,80	12,28	7,04	11,28	6,00	12,06	10,50	12,39	10,74	12,67	13,25	13,80	6,42	10,80	10,38	12,52	8,00	16,50	9,00	12,06	8,64				
17	9,51	10,02	10,71	10,36	11,30	6,44	13,76	6,00	12,11	12,10	13,68	7,47	14,00	7,50	10,50	6,00	13,40	9,90	11,58	7,90	12,68	13,62	13,62	9,56				
18	12,56	10,49	11,98	8,50	11,00	7,00	9,29	6,22	11,70	12,24	14,23	7,57	12,48	11,29	11,28	6,00	10,54	10,90	14,20	7,38	12,85	8,72	13,26	9,47				
19	11,18	11,25	10,18	10,20	12,48	6,60	11,48	6,00	12,78	10,22	12,82	10,14	13,59	11,15	12,22	7,00	9,34	13,78	14,17	7,32	12,47	9,24	13,44	9,49				
20	11,23	11,86	9,16	14,00	12,24	7,24	13,04	6,00	13,01	12,42	12,30	11,67	13,41	12,70	14,36	7,00	12,26	10,35	13,80	7,32	14,80	7,81	14,49	7,00				
21	12,22	11,90	9,14	9,06	12,50	6,48	13,32	6,00	11,88	10,58	13,62	10,86	14,06	9,86	12,18	6,26	13,21	10,59	11,96	7,00	12,10	9,40	13,39	9,62				
22	12,66	12,49	11,90	10,88	12,21	7,24	13,16	6,00	12,48	9,12	13,07	11,58	13,45	10,96	13,60	6,00	12,46	10,84	13,91	7,60	12,96	9,38	13,13	8,88				
23	12,05	10,81	8,25	11,50	13,15	6,01	9,00	6,00	13,63	9,52	13,42	11,29	12,47	13,74	11,31	7,00	12,99	10,05	13,60	7,36	13,79	10,06	13,58	10,45				
24	9,95	10,60	9,06	11,85	12,74	7,14	8,20	6,00	12,30	9,50	18,45	11,46	13,67	10,70	14,14	7,60	13,24	10,10	12,76	7,00	13,50	10,70	12,76	11,89				
25	8,00	12,11	8,24	9,20	11,45	7,60	9,03	5,00	14,86	10,02	13,58	9,47	14,00	10,51	12,98	6,39	13,14	11,72	13,10	5,90	14,16	10,06	15,50	9,27				
26	12,39	12,11	10,84	11,24	11,92	6,54	9,56	6,00	12,51	9,82	13,20	10,01	13,68	10,70	10,76	6,00	14,08	10,12	13,72	6,24	12,97	10,40	15,16	10,00				
27	11,04	14,20	13,72	9,96	14,55	6,00	11,64	5,58	15,64	11,29	11,74	10,29	11,70	11,00	12,04	7,00	13,14	10,54	16,51	5,46	13,00	9,56	15,83	12,01				
28	13,98	12,00	22,04	9,04	17,56	6,00	16,50	5,64	13,35	10,14	27,76	11,41	13,62	9,71	14,90	6,62	15,30	10,14	13,81	7,00	20,77	15,37	24,39	7,39				
29	12,66	13,84	12,56	12,34	15,62	7,08	9,04	7,00	13,06	12,22	13,62	11,09	13,69	9,69	13,41	7,90	10,85	11,36	11,04	7,00	13,18	11,66	14,25	10,17				
30	11,93	11,28	13,80	9,14	12,65	9,00	10,02	9,45	13,46	9,90	14,27	10,64	13,74	10,69	14,06	8,00	13,00	11,50	10,74	6,00	15,02	15,18	14,36	10,20				
31	11,88	9,34	9,58	14,50	12,72	7,44	8,72	6,50	15,09	10,20	11,19	14,27	12,78	10,29	9,05	7,90	10,90	12,86	12,39	7,00	13,72	11,30	13,34	13,30				
32	11,04	13,67	9,70	10,05	12,07	8,00	9,84	5,90	13,35	11,92	14,22	13,66	15,52	11,85	11,98	7,06	14,56	12,86	13,69	7,00	18,47	10,22	16,10	11,40				
33	13,69	13,34	9,74	9,66	13,49	11,16	10,60	12,39	13,92	10,80	15,17	13,32	12,84	11,80	13,65	7,00	13,80	12,24	12,00	6,49	13,30	11,94	14,96	12,03				
34	13,16	12,95	11,34	13,02	13,65	7,10	11,10	7,00	14,84	10,70	13,38	12,92	14,63	12,56	15,34	8,00	15,50	13,70	10,10	7,70	12,24	11,58	15,30	13,60				
35	13,87	12,39	13,29	14,24	12,69	7,91	11,02	7,00	13,96	10,57	15,95	13,35	13,87	12,09	14,08	8,84	13,60	12,84	12,95	7,00	10,35	12,45	13,83	11,63				
36	11,91	12,03	14,93	13,20	13,70	7,50	11,61	7,00	14,30	11,86	15,07	14,61	15,14	12,59	15,05	7,00	14,90	13,30	14,34	7,98	15,86	10,44	16,00	14,12				
37	13,30	13,85	11,80	11,80	12,00	8,20	12,23	6,00	14,80	14,22	13,34	13,46	14,50	13,00	15,68	7,72	10,94	16,27	16,40	7,00	16,13	10,50	15,49	14,60				

10.14. Sitios con el servicio de recolección separada de residuos valorizables.

El sistema de recolección separada de la Municipalidad de Montes de Oca trabaja con el siguiente listado de sitios:

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
La Españolita Kinder La Tortuga Terrazas del Este San Marino R. Eucalipto R. Alhambra Cond. La Pradera Cond. La Ronda R. Altos de Escalante Robles Arquitectos Cond. Cincuentenario Bomba San Rafael	R. Bosque de Isabel Cond. Torre de Alcalá Policromía El Retiro Cond. Nuevo Milenium Municipalidad Hostel Urbano	Hotel Jade Urb. Buenos Aires Urb. La Familia R. Prados del Este La Marsella	Urb. Málaga Calle el Chorro R. Cedros Urb. Cedral La Arboleda R. La Maravilla Calle Ballesteros	R. Higuierillas R. La Españolita Cond. La Montaña Centro Comercial Laureles Calle La Pituca Esc. Dante Alighieri Carmiol 1 Casa Holandesa Costado Oeste Perimercado Vargas Araya

Nota: Sitios de recolección reportados para octubre del 2012. Existen otras localidades del cantón que se recolectan a solicitud de los habitantes o interesados.

10.15. Boleta de control de uso de vehículos de la Dirección de Servicios Ambientales.



Municipalidad de Montes de Oca
Dirección de Servicios Ambientales

Formulario para el uso y control de recolectores de residuos sólidos

Fecha: _____

Placa: _____ Chofer: _____

Ruta:	Sector:	
Número:		Hora inicio: _____ Hora final: _____
Nombre:		Turno: _____

Horímetro inicio: _____ Horímetro final: _____

Kilometraje inicio: _____ Kilometraje final: _____

Cuadrilla:	Observaciones/Tardías:

Observaciones: _____

Cumplimiento de la ruta:

Se recolectaron los residuos en todas las calles de la ruta: <i>Si</i> <input type="checkbox"/> --- <i>No</i> <input type="checkbox"/>
<i>Calles Pendientes:</i>
Se recolectaron los residuos en la hora habitual: <i>Si</i> <input type="checkbox"/> --- <i>No</i> <input type="checkbox"/>
Se depositaron los residuos en el relleno sanitario al finalizar la ruta: <i>Si</i> <input type="checkbox"/> --- <i>No</i> <input type="checkbox"/>

Firma del chofer: _____

