



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis del Sistema de
Recolección de Residuos Sólidos
Urbanos en el Centro Histórico
de Morelia, aplicando Sistemas
de Información Geográfica
(SIG)"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

ING. AMBIENTAL – RESIDUOS SÓLIDOS
P R E S E N T A :

ING. FRANCISCO GUTIÉRREZ GALICIA

TUTOR
M. EN C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS

2008





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente: Dra. Angélica del Rocío Lozano Cuevas
Secretario: Dra. María Neftalí Rojas Valencia
Vocal: M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios
1^{er} Suplente M en I. Gustavo Solórzano Ochoa
2^{do} Suplente M. en I. Alba Beatriz Vázquez González

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

FACULTAD DE INGENIERÍA

TUTOR DE TESIS

M. en C. Constantino Gutiérrez Palacios

FIRMA

Agradecimientos

A mi alma Mater, por mi formación y por brindarme el enorme privilegio de ser universitario.

Al CONACYT por haberme otorgado una beca para realizar mis estudios de maestría.

A la Dirección de Aseo Urbano del Municipio de Morelia y en especial al Lic. Armando Mendoza y Lic. Darío Gracia por las facilidades que me brindaron en la realización del trabajo de campo.

Un sincero agradecimiento al Maestro Constantino Gutiérrez y a la Dra. Angélica Lozano por su dedicación y confianza que me brindo al realizar esta tesis.

Agradezco también a la Dra. María Neftalí Rojas y el M.I Gustavo Solórzano por el tiempo dedicado al manuscrito y por sus acertados comentarios y correcciones de este trabajo.

A la M.I. Alba Vázquez y al Dr. Enrique César por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi formación académica.

A mis papás, a ella porque siempre me alienta a seguir superándome, y a él por dejarme el ejemplo que siempre me sirve de guía.

A mis abuelos porque me han brindado tanto cariño a lo largo de mi vida y me han apoyado siempre.

A mis tías y tíos por sus consejos, y a Emilio y Elena por el cariño que siempre me demuestran.

Aída por todo su amor y cariño que me hacen muy feliz.

Índice

Resumen	VI
Abstract	VI
Introducción.....	1
Planteamiento del problema	1
Justificación	2
Objetivos	2
Alcances	3
Resultados esperados	3
1 Marco Teórico	4
1.1 Métodos de recolección	4
1.2 Diseño tradicional	7
1.3 Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis del transporte.....	9
2 Metodología	15
2.1 Determinación de la generación	15
2.2 Diagnóstico	15
2.3 Codificación de la red vial.....	15
2.4 Estudio de tiempos y movimientos.....	16
2.5 Almacenamiento de los datos de las rutas de recolección en el SIG	22
2.6 Diseño de rutas	24
3 Caso de estudio	29
3.1 Antecedentes	29
3.2 Estudio de generación.....	30
3.3 Descripción del servicio de recolección	36
3.4 Estudio de tiempos y movimientos.....	39
3.5 Análisis de resultados del estudio de tiempos y movimientos	50
3.6 Indicadores de Desempeño	55
4 Diseño de rutas	62
4.1 Bases para el diseño.....	62
4.2 Construcción de escenarios	64
4.3 Análisis de escenarios	70
5 Conclusiones	85
6 Recomendaciones	86
7 Anexo 1	87
8 Referencias	89
8.1 Bibliográficas.....	89
8.2 Sitios de Internet	90

Índice de Figuras

Figura 1. Sectorización Morelia.....	2
Figura 2. Método de esquina o parada fija	4
Figura 3. Método de acera.....	5
Figura 4. Método intradomiciliario.....	6
Figura 6. Información almacenada en un SIG.....	10
Figura 7. Codificación de la red vial	16
Figura 8. Clasificación de los tiempos.....	17
Figura 9. Cédula de campo con la información de la ruta	19
Figura 10. Digitalización de la ruta de recolección	22
Figura 11. Paradas dentro de la ruta de recolección	23
Figura 12. Ruta de recolección con todos sus atributos	23
Figura 13. Ruta de recolección con atributos	25
Figura 14. Delimitación de la zona de recolección	25
Figura 15. Ruta de recolección más corta	27
Figura 16. Monumentos Históricos del Centro de Morelia.....	29
Figura 17. Zona habitacional.....	31
Figura 18. Disposición de residuos zona habitacional.....	32
Figura 19. Zona Comercial	32
Figura 20. Primer cuadro de la ciudad	33
Figura 21. Zona de hospitales.....	33
Figura 22. Zonas identificadas	35
Figura 23. Vehículos de recolección en el centro	36
Figura 24a. Primer viaje ruta de recolección domiciliar 26345.....	37
Figura 24b. Segundo viaje ruta de recolección domiciliar 26345.....	37
Figura 25. Rutas de recolección vehículo 26345.....	38
Figura 26. Vehículos de brigada	38
Figura 27. Zonas de asignación de brigadas.....	39
Figura 28. Brigadas zona norte turno matutino.....	40
Figura 29. Brigadas zona norte turno vespertino.....	41
Figura 30. Brigadas zona sur turno vespertino.....	43
Figura 31. Brigadas zona sur turno matutino.....	44
Figura 32. Ruta domiciliar 26345.....	46
Figura 33. Ruta domiciliar 26346.....	48
Figura 34. Áreas cubiertas por el servicio de recolección.....	55
Figura 35. Vehículos de recolección con levanta contenedores.	63
Figura 36. Escenario vehículos de brigada	65
Figura 37. Escenario vehículos de recolección domiciliar	65
Figura 38. Vialidades del Centro de Morelia.....	66
Figura 39. Velocidades en horario diurno.	68
Figura 40. Velocidades en horario nocturno.	68
Figura 41 Descarga de los residuos.....	69
Figura 42. Contenedores para residuos sólidos.....	70
Figura 43. Escenarios zona norte matutino	72
Figura 44. Escenarios zona norte vespertino	74
Figura 45. Escenarios zona sur matutino	76
Figura 46. Escenarios zona sur vespertino	78

Figura 47. Escenarios recolección domiciliar 2634581
 Figura 48. Escenarios recolección domiciliar 2634684

Índice de Tablas

Tabla1. Cédula de campo con el registro de tiempos y movimientos.19
 Tabla 2. Inferencia de tiempos20
 Tabla 3. Clasificación de los tiempos21
 Tabla 4. Estimación de los residuos recolectados21
 Tabla 5. Velocidad sobre la red vial.....26
 Tabla 6. Datos obtenidos de la ruta más corta.....28
 Tabla 7. Generación en el centro de Morelia31
 Tabla 8. Tiempos registrados brigadas zona norte (matutino)40
 Tabla 9. Tiempos registrados brigadas zona norte (vespertino)41
 Tabla 10. Tipo de recolección empleada zona norte42
 Tabla 11. Residuos recolectados por brigadas zona norte42
 Tabla 12. Tiempos registrados brigadas zona sur (vespertino)43
 Tabla 13. Tiempos registrados brigadas zona sur (matutino)44
 Tabla 14. Tipo de recolección zona sur45
 Tabla 15. Residuos recolectados brigadas zona sur45
 Tabla 16. Tiempos registrados 26345.....46
 Tabla 17. Tipo de recolección empleada 2634547
 Tabla 18. Residuos recolectados 2634547
 Tabla 19. Tiempos registrados 26346.....48
 Tabla 20. Tipo de recolección empleada 2634649
 Tabla 21. Residuos recolectados 2634649
 Tabla 22. Resumen de tiempos registrados50
 Tabla 23. Resumen de tiempos de recorrido por viaje.....51
 Tabla 24. Resumen de tiempos de recorrido sin recolección y fuera de ruta.51
 Tabla 25. Tiempos de vaciado52
 Tabla 26. Tiempos muertos53
 Tabla 27. Tasa de recolección medida54
 Tabla 28. Residuos recolectados.....56
 Tabla 29. Eficiencia de los Trabajadores de Recolección57
 Tabla 30 Eficiencia en la Ocupación58
 Tabla 31. Salario del Personal de Recolección.....59
 Tabla 32a. Consumos horarios por Vehículo de Recolección de Brigada60
 Tabla 32b. Consumos horarios por Vehículo de Recolección de Brigada60
 Tabla 33. Costo por Tonelada Recolectada61
 Tabla 34a Costo Horario.....61
 Tabla 34b Costo Horario.....64
 Tabla 35 Velocidad promedio en vialidades principales del centro67
 Tabla 36. Rediseño recolección por brigada zona norte matutino.....71
 Tabla 37. Rediseño recolección por brigada zona norte vespertino.....73
 Tabla 38. Rediseño recolección por brigada zona sur matutino.....75
 Tabla 39. Rediseño recolección por brigada zona sur vespertino.....77
 Tabla 40. Rediseño recolección domiciliar 2634579
 Tabla 41. Rediseño recolección domiciliar 2634682

Resumen

Este estudio tiene como objetivo proponer un procedimiento para diseñar rutas de recolección de residuos sólidos utilizando sistemas de información geográfica (SIG). Uno de los softwares para SIG para el transporte más conocidos es TransCad, de Caliper Corporation. TransCad es un SIG diseñado para problemas de transporte.

Para la aplicación de este software es necesario la obtención de los principales atributos de la red vial: como los son: nombre, sentido, ancho y velocidad de la vía. Así como los tiempos empleados en la operación de las rutas de recolección para determinar los tiempos de vaciado dependiendo del método empleado, el tiempo de recorrido y el tiempo muerto.

La mayor ventaja en el diseño de rutas recolección de residuos empelando SIG, es que la actualización y modificación de las rutas de recolección existentes, es muy sencilla, y permite la interacción con un amplio número de variables, mediante la aplicación de este método al centro de Morelia se logró realizar el rediseño de cada una de las rutas analizadas en cuatro escenarios distintos variando el horario de recolección, el método de recolección y/o el equipo empelado, logrando reducciones de hasta un 50% del tiempo original.

Palabras calve: Residuos Sólidos, Recolección , Diseño de Rutas y SIG.

Abstract

These studies has the objective proposes a procedure to design routes of solid wastes using GIS. One of the software's for GIS for the transport more known is TransCad, of Caliper Corporation. TransCad is a SIG designed for transport problems.

For the application of this software the obtaining of the main attributes of the road network is necessary: name, sense, wide and speed of the route. As well as the times used in the operation of the routes of solid wastes , to determine the times of collect depending on the used method, the time of route and the dead time.

The greater advantage in the design of routes solid wastes using GIS, is that the update and modification of the existing routes, is very simple, and it allows the interaction with an ample number of variables, by means of the application of this method to the center of Morelia was managed to make the redesign of each one of the analyzed routes in four scenes different being varied the schedule from harvesting, the method of harvesting and/or the equipment using, obtaining reductions of until a 50% of the original time.

Key Words: Solid Wastes, Collect, Design of Routes and SIG.

Introducción

Planteamiento del problema

México al igual que muchos países del mundo enfrenta grandes retos en el manejo de sus residuos sólidos. Esto debido al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial en el país y las costumbres de la población, orientadas al consumo de artículos desechables, así como la tendencia de la población a abandonar las zonas rurales para concentrarse en los centros urbanos.

Actualmente sólo el 43% de las ciudades medias del país realiza un diseño de rutas a través de un método técnico para llevar a cabo la recolección, por lo que solo el 27% de las ciudades disponen de rutas eficientes de recolección y un 73 % no son suficientes.

Por lo anterior se puede observar que existe un número mayoritario de ciudades que no disponen de un diseño de rutas y que éstas son insuficientes, lo cual refleja que los municipios aparte de no contar con los suficientes recursos económicos, tampoco disponen de una buena planeación para ampliar su cobertura adecuadamente y con menores costos.

Un ejemplo de esto es el municipio de Morelia en el cual se estima que generan aproximadamente 830 toneladas de residuos sólidos diariamente, los cuales son recolectados por el servicio de recolección a cargo del municipio así como por permisionarios particulares (INE,2007).

El servicio de recolección particular es el de mayor cobertura en el municipio ya que se estima que éste recolecta 436 toneladas de residuos al día mientras que el municipio únicamente recolecta 90 toneladas al día. De la misma forma la mayor problemática se encuentra en el servicio de recolección particular.

En sus inicios el municipio permitió la prestación de la recolección particular como un apoyo al servicio municipal y a los habitantes del municipio desempleados que a través de las propinas voluntarias de los usuarios podía percibir un ingreso. Sin embargo, en los últimos años este servicio ha crecido de manera desmedida y sin un estricto control, a tal grado, que en la actualidad se tienen más de 500 permisionarios que prestan el servicio de recolección en el municipio (Reglamento de Recolección, 2001).

Ante tal situación el municipio realizó durante el año 2003 un estudio de sectorización, cuyo objetivo fue presentar una propuesta para ordenar por sectores las rutas de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Morelia con el fin de brindar un servicio a la ciudadanía más eficiente, asegurando que la distribución de éstas sean equitativas pero también viables desde el punto de vista económico y técnico (Ver Figura 1). Como resultado de este estudio el municipio se dividió en 10 sectores para su concesión, cada una de estas concesiones esta integrada por un grupos de 40 a 60 camionetas tipo Pick Up que prestan el servicio de recolección.



Fuente: Dirección de Aseo Urbano.
Figura 1. Sectorización Morelia

Si bien es cierto que con la sectorización se ha logrado tener un mayor control sobre los vehículos particulares, ya que actualmente se tiene una vía para canalizar las quejas de los ciudadanos en la prestación del servicio de recolección con cada una de las asociaciones de permisionarios, al interior de estas asociaciones aparentemente no existe organización alguna ya que carecen de rutas fijas y los enfrentamientos entre particulares por el derecho de prestar el servicio en ciertas calles o colonias son frecuentes, especialmente en el centro de la ciudad en donde convergen las 10 zonas de recolección, el cual será el objeto del presente estudio.

Justificación

Este estudio responde a la necesidad del Municipio de Morelia de contar con una herramienta para planear la prestación del servicio de recolección en el Centro de la Ciudad de Morelia con la mayor eficiencia posible con el fin de contribuir bajo este enfoque a la construcción del desarrollo sustentable de nuestro país.

Se eligió como zona de estudio el Centro de Morelia debido a que además de ser una de las zonas de mayores conflictos, en él se ubican 1,113 monumentos arquitectónicos, 260 de ellos relevantes, el mayor número en México, también se encuentra la obra hidráulica Fray Antonio de San Miguel, acueducto concluido en 1789, uno de los principales del país, con 200 arcos de cantera de casi 2 km de longitud, por lo cual la Ciudad de Morelia fue nombrada Patrimonio Cultural de Humanidad por la UNESCO.

Objetivos

Objetivo General

Proponer un procedimiento para diseñar rutas de recolección de residuos sólidos utilizando sistemas de información geográfica, considerando la generación de residuos sólidos, la infraestructura y equipamiento existentes, así como las características, naturales y físicas de la zona de estudio para su aplicación en el Centro Histórico de Morelia.

Objetivos Particulares

- Identificar las fuentes de generación dentro del Centro Histórico de Morelia
- Estimar la cantidad de residuos que se generan en el Centro Histórico de Morelia.
- Digitalizar y distribuir espacialmente la generación de residuos sólidos en un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Determinar las zonas de recolección en función del equipo con que se cuenta y seleccionar el método de recolección idóneo en función de las características naturales, físicas y de generación.
- Identificar y analizar la metodología para el rediseño de rutas de recolección utilizando Sistemas de Información Geográfica integrando las variables de distribución espacial de la generación.
- Resolver el problema para una zona de recolección del municipio de Morelia mediante el uso del software Transcad.

Alcances

- Estimar la cantidad de residuos que se generan en el Centro Histórico de Morelia y distribuirlos espacialmente.
- Proponer un procedimiento para realizar el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos utilizando el software Transcad.
- Aplicación del procedimiento en el centro de Morelia.

Resultados esperados

Proponer un procedimiento que permita realizar el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos tomando en cuenta la distribución de la generación, para ayudar en la planeación y mejora continua del servicio de recolección en el municipio salvaguardando la calidad de vida de sus habitantes.

1 Marco Teórico

El diseño de rutas de recolección involucra un sin número de aspectos, ya que en esta actividad deben de ser consideradas, tanto las características naturales y demográficas de la localidad como: topografía, vialidades, concentración de la población, habitantes, comercios, hospitales, escuelas, cantidad de residuos, etc., como de las características y condiciones del personal y equipo con que se cuenta.

En este capítulo se presentan los aspectos que deben de ser considerados para realizar el diseño de rutas de recolección.

1.1 Métodos de recolección

El primer paso en el diseño de las rutas de recolección será el de definir el método de recolección a emplear, el cual depende tanto de las características de la localidad como de los usos y costumbres de la población así como de la zona en la que se realice la recolección.

En ese sentido es común que en las zonas habitacionales se empleen los métodos de recolección de parada fija y acera, mientras que el de contenedores y de "llevar y traer" es el más utilizado para las fuentes de generación no domésticas, las características de cada uno de estos métodos se describen detalladamente a continuación.

1.1.1 Esquina o de parada fija

Se puede decir que es el método más económico y, es aquel mediante el cual los usuarios del sistema llevan sus recipientes hasta donde el vehículo recolector se estaciona para prestar el servicio (Ver Figura 2).

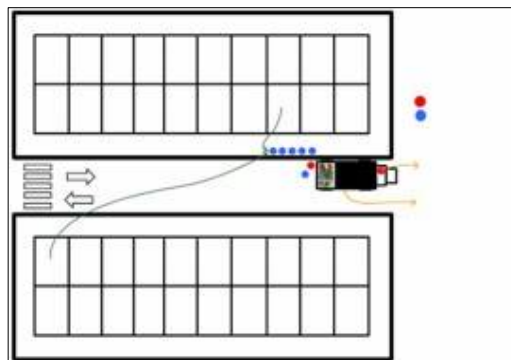


Figura 2. Método de esquina o parada fija

Una vez que los usuarios han llegado hasta el vehículo, forman una fila ordenada para que un operador les tome el recipiente y lo entregue a otro que se encuentra dentro de la carrocería del vehículo, el cual vacía su contenido y lo regresa al operario que se le entregó para que, a su vez, se lo devuelva al usuario, quien después de ser atendido se retira del vehículo. La operación anterior se repite tantas veces como sea necesario, hasta atender a todos los usuarios que lo hayan solicitado.

1.1.2 Acera

En este método, el personal operativo del vehículo recolector toma los recipientes con basura que sobre la acera han sido colocados por los usuarios del servicio, para después trasladarse hacia el vehículo recolector, con el fin de vaciar el contenido dentro de la tolva o sección de carga de dicho vehículo; regresándolos posteriormente al sitio de la acera de donde los tomaron, para que los usuarios atendidos los introduzcan ya vacíos a sus domicilios (Ver Figura 3).

Para que se cumpla debidamente lo antes descrito se requiere, además de amplio civismo por parte de los usuarios del sistema, que el vehículo recolector transite a bajas velocidades en ambos sentidos de la calle; por consiguiente, es lógico pensar que este método tiene más posibilidades de ser implantado ordenadamente en aquellas localidades que cuentan con calles de doble sentido y, de preferencia, con camellones.

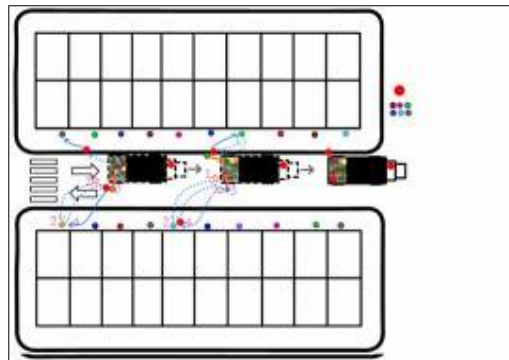


Figura 3. Método de acera

Este método, además de ser más costoso que el de esquina, presenta el inconveniente de que animales domésticos y no domésticos (perros, gatos y ratas entre otros), pueden verse atraídos por recipientes con basura sobre la acera, pudiendo en un momento dado, dispersar sobre la misma al buscar su alimento y, dando por resultado que la recolección se lleve a cabo en forma más lenta. Para evitar o atenuar este inconveniente, suele recomendarse el uso de bolsas de polietileno herméticamente cerradas, así como el empleo de canastillas elevadas en las aceras donde se colocan los recipientes con los residuos; sin embargo, esto puede involucrar un costo adicional para los usuarios, que no siempre están dispuestos a cubrir.

1.1.3 "Llevar y traer" o intradomiciliario.

Este método es semejante al anterior, (Ver Figura 4) con la variante de que los operarios del vehículo recolector, entran hasta las casas habitación por los recipientes con basura, regresándolos hasta el mismo sitio de donde los tomaron, una vez vaciado dentro del vehículo. Naturalmente, este método de recolección suele resultar más costoso que el de acera y, aún más que el de esquina.

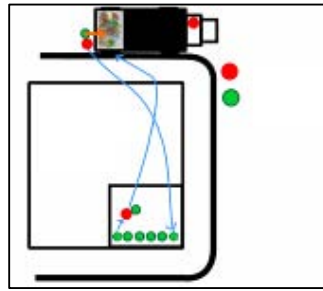


Figura 4. Método intradomiciliario

1.1.4 Contenedores

El Método de Contenedores (Ver Figura 5), es semejante al de esquina en cuanto a que el vehículo recolector debe detenerse en ciertos puntos predeterminados para llevar a cabo la prestación del servicio. Puede decirse que este método es el más adecuado para realizar la recolección en centros de gran generación o de difícil acceso; como pueden ser hoteles, mercados, centros comerciales, hospitales, tiendas de autoservicio y zonas marginadas, entre otras.

La localización de los contenedores, deberá disponerse de tal manera que el vehículo recolector tenga un fácil acceso a ellos y que, además, pueda realizar maniobras sin problemas.

No debe pensarse, no obstante, que en todos los casos los métodos de recolección mencionados se cumplen tal y como fueron descritos, puesto que de una u otra manera siempre existe alguna variante en cuanto al equipo, participación del usuario y número de empleados que prestan servicio (por señalar tan sólo algunas de ellas), que los diferencian de los antes mencionados.

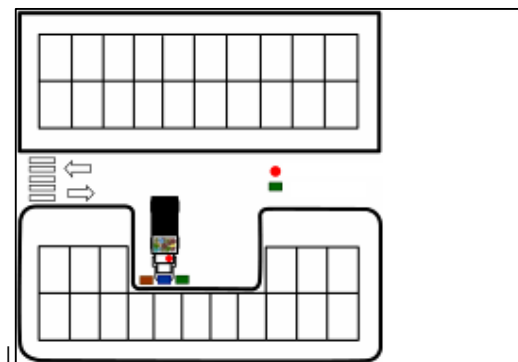


Figura 5. Método de contenedores

1.2 Diseño tradicional

Regularmente los sistemas de recolección en México carecen de rutas de recolección y en los casos en las cuáles se tiene, en su mayoría estas se realizan en función de la experiencia de los encargados de los sistemas recolección y los conocimientos de la zona que tengan los operadores de los vehículos.

Cuando se decide emplear alguna técnica que no solo esta basada en la experiencia, regularmente se emplea la técnica de la macro y micro ruta la cual es la más conocida y aplicada, ya que partir de una serie de sencillos pasos e información de fácil acceso, se pueden diseñar rutas de recolección de residuos que resulten sino optimas si funcionales para recolectar todos de los residuos de una determinada zona dentro de los horarios de trabajo ya establecidos.

Mediante está técnica una vez que se tiene definido el método de recolección a emplear se define las macro rutas, cada macro ruta corresponderá así a una área compacta que generalmente comprenden colonias o barrios enteros, tomando en cuenta la cantidad de residuos que deben de recolectarse por lo cual estará restringida a la capacidad de los vehículos de recolección.

Así el primer problema en la recolección de residuos sólidos, consiste en determinar el número de vehículos que deben utilizarse dada la generación de residuos sólidos en una determinada zona. Los elementos básicos que se requieren son:

- Estimar la generación per cápita domiciliaria
- Datos de la densidad poblacional
- Estimar la generación no doméstica
- La localización de las fuentes no domiciliarias
- Un mapa actualizado y detallado de la ciudad o zona a recolectar.
- Frecuencia de recolección.

La solución se puede encontrar modelando las relaciones existentes entre capacidades de recolección, la generación de las zonas a recolectar y frecuencia con la cual se planea prestar el servicio de recolección.

Bajo está técnica el número de vehículos se deberá corresponder al numero de áreas compactas en que se divido la zona de estudio, para que cada uno de los vehículos realice un recorrido especifico que cubra la mayor cantidad de viviendas y con la mayor eficiencia en carga.

Una vez que se tienen definidas cada una de las macro rutas, se deberá de realizar el diseño de las micro rutas, que es el recorrido especifico que deben cumplir diariamente los vehículos de recolección en las áreas donde han sido asignados, con el fin de recolectar en el menor tiempo posible los residuos sólidos generados por los habitantes de dicha área.

Para el diseño de las micro rutas se cuentan tanto con diverso métodos, unos se basan en la experiencia que el diseñador pueda tener en el planeación de los servicios de recolección y en el conocimiento de la zona de estudio, mientras que otros métodos se basan en modelos de redes, para facilitar su trabajo y contar con prediseños factibles que necesariamente se probarán en campo.

Los modelos de redes son los más recomendables, ya que en ellos se pueden involucrar todos los parámetros que inciden en el diseño de las rutas de recolección, por lo que regularmente las rutas que se obtiene suelen ser más cortas en comparación a los diseños basados únicamente en la experiencia.

Cuando se emplean los modelos de redes para realizar el diseño de las microrutas se utilizan dos métodos distintos dependiendo del método de recolección empleado los cuales que son:

- El problema del Agente Viajero que se utiliza para diseñar rutas utilizando el método de parada fija y el de contenedores.
- El Problema del Cartero Chino, que será utilizado en el método de recolección por acera y el intradomiciliario.

El problema del agente viajero consiste en encontrar, en un conjunto de rutas que conectan diversos puntos, el camino más corto que recorra cada uno los puntos y regrese al lugar de origen.

El algoritmo lleva ese nombre por la problemática que viven los agentes viajeros, que deben de ir a determinadas ciudades, y hacer el recorrido con un costo mínimo.

Aplicado a la recolección de residuos, se puede establecer: Un vehículo de recolección de residuos sólidos, al iniciar el día de trabajo, se propone visitar un número determinado de paradas de recolección, pasando por ellas una vez, recolectando los residuos de y regresando al punto de origen de la microruta.

Por otra parte cuando se emplea el método de solución del cartero chino, consiste en encontrar un recorrido a través de una red que representa una microruta, pasando por cada calle cuando menos una vez, de tal manera que la distancia recorrida sea mínima. A diferencia del problema del agente viajero, en el que se requería de ir a todos los nodos o vértices, el problema del cartero chino propone visitar todos los arcos, sin importar cuántas veces se pase por un determinado nodo.

Este problema se utiliza cuando el método de recolección exige pasar por todas las calles, a diferencia del problema del agente viajero que se utiliza en recolección por punto fijo y de contenedor estacionario.

1.3 Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis del transporte

Debido a la gran cantidad de variables que se requieren conocer para realizar el diseño de las rutas de recolección como son: la población, generación per cápita, tipos de vehículos, capacidades, vialidades, velocidades etc. Los sistemas de información geográfica resultan ser una herramienta de gran ayuda.

Cada una de las variables involucradas en el diseño de las rutas de recolección puede agregarse a un Sistema de Información Geográfica (SIG), ya sea como una serie de datos en los casos de población o tasa de generación y por otra información gráfica como la red vial, e interactuar entre sí y resolver distintos problemas como el de la ruta más corta.

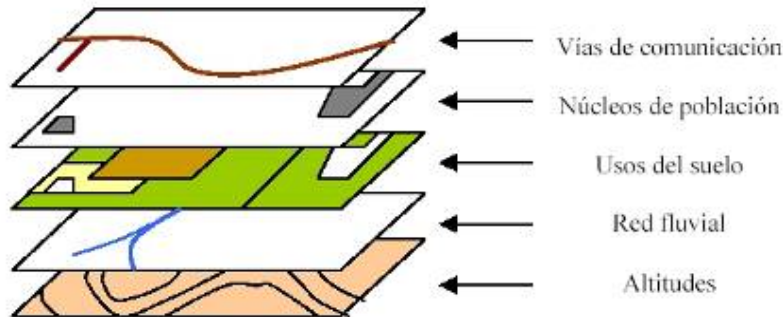
Otra ventaja de la utilización del SIG en el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos, es que muchas de las variables involucradas son temporales, varían de un año a otro, o inclusive de una estación del año a otra, por lo que es necesario estar actualizando las rutas de recolección lo cual resulta ser a diferencia de otras técnicas relativamente sencillo si se está utilizando un SIG.

1.3.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

La obtención de un mapa en muchos casos constituye la fase final del trabajo, su resultado último, en otros, se trata de un documento que proporciona (junto con datos territoriales) un conocimiento integrado del espacio en estudio. En el planteamiento, la cartografía obtenida a partir de la digitalización constituye una variable adicional dentro de un sistema de información integrado para el mejor conocimiento del espacio que los rodea.

De esta forma, han nacido los SIG que puede definirse como bases informatizadas de datos con algún tipo de componente espacial (Ver Figura 6).

Esto significa que la información que almacena está referenciada geográficamente, ya sea que se trate de mapas, estadísticas o datos climáticos sobre un territorio concreto, por lo que todas las variables pueden relacionarse mutuamente de diversas formas. Dado que la información que contiene se almacena en formato digital, los SIG aprovechan las posibilidades analíticas de las computadoras, facilitando múltiples operaciones que resultan difícilmente accesibles por medios convencionales: generalización cartográfica, integración de las variables espaciales, análisis de la vecindad, etc. Además, los SIG permiten almacenar esta información espacial de forma eficiente facilitando su actualización y acceso directo al usuario. En definitiva, amplían enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, además de facilitar el almacenamiento y visualización.



Fuente: Wikipedia.

Figura 6. Información almacenada en un SIG

Un SIG está compuesto por equipos físicos, especializados en el manejo de la información espacial, y una serie de programas que, conectados con aquellos, permiten realizar múltiples transformaciones a partir de las variables espaciales introducidas al sistema.

En esencia, un SIG proporciona un almacenamiento coherente de la información espacial, que puede ser actualizada o manipulada con el mínimo esfuerzo. Permite obtener modelos cartográficos, a partir de la transformación o combinación de diversas variables: señalar corredores de una determinada distancia a un río o una carretera; realizar tablas de coincidencia entre dos o más mapas, capas de información, etc. Asimismo facilita la presentación gráfica de los resultados, al permitir el acceso a diversos periféricos controlados por la computadora. Por último un SIG puede emplearse como instrumento de simulación.

Para ilustrar con más detalle las aplicaciones de un SIG conviene describir sus principales partes:

1. Entrada de información
2. Almacenamiento y organización de las bases de datos
3. Análisis y transformaciones
4. Representación gráfica.

1.3.1.1 Entrada de información

Para que pueda efectuarse un análisis integrado entre variables es preciso que todas sean plenamente compatibles. Esto significa que se alojen en el mismo soporte (digital), con el mismo formato y sujetas a un sistema de referencia común. Por ello, la función trascendental de un SIG es la entrada y transformación de los datos, para que ellos resulten coherentes con la base de referencia seleccionada para el proyecto.

A este respecto conviene tener presente que la información que se almacena en un SIG puede proceder de fuentes muy variables: teledetección, cartografía a diferentes escalas, datos geográficos o climáticos, modelos digitales de terreno, etc. Por esta razón, un SIG debe de incorporar la posibilidad de acceder a todas estas variables, así como la

de transformarlas apropiadamente para que sean mutuamente relacionables.

En primer lugar, la información debe de ser convertida a formato digital, compatible con la computadora que soporte el SIG. Esta digitalización puede realizarse a partir de métodos muy variados, en función del tipo de variables que quieran introducirse al sistema. Para información alfanumérica, como datos demográficos o climáticos, resulta necesario acudir al teclado, mientras que para mapas convencionales el medio más idóneo es un digitalizador, que facilita la obtención automática de coordenadas. Si lo que se pretende incorporar al sistema son imágenes analógicas, como fotografías aéreas o de imágenes digitales de satélite, resulta necesario acudir a un rastreador de barrido (scanner), que permite traducir niveles de gris a valores numéricos.

Una vez convertidas a formato digital, se requiere que las distintas variables tengan un sistema de referencia común, con objeto de que sean fácilmente relacionables.

1.3.1.2 Almacenamiento de la información

La mayor parte de los expertos distinguen, a este respecto, dos tipos de estructuras de almacenamiento: *vectorial* y *raster*.

El modelo de SIG *raster* o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Cuanto mayores sean las dimensiones de las celdas (resolución) menor es la precisión o detalle en la representación del espacio geográfico.

En el caso del modelo de SIG *vectorial*, el interés de las representaciones se centra en la precisión de localización de los elementos sobre el espacio. Para modelar digitalmente las entidades del mundo real se utilizan tres objetos espaciales: el punto, la línea y el polígono.

Los SIG vectoriales son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios medioambientales donde se requiere detalles de las propiedades del espacio como: contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etcétera.

1.3.1.3 Análisis y transformaciones

Los SIG incluyen un gran número de operaciones para transformar las variables originales para lograr un determinado objetivo, entre los cuales pueden estar: trazar la ruta óptima entre varios puntos; calcular distancias, áreas, perímetros; superponer de formas diversas dos o más mapas; realizar tablas de coincidencia espacial de dos o más variables; etc.

Cada una de esas funciones, además, puede dar origen a otras aplicaciones. Por ejemplo, la obtención de la ruta más corta, a partir de la cual pueden

realizarse otra serie de análisis como: duración de la jornada de trabajo, tiempo de arribo a los distintos puntos de servicio etc.

Este vasto abanico de posibilidades constituye una de las principales novedades del SIG frente a las herramientas convencionales.

1.3.1.4 Representación gráfica

Un SIG permite aprovechar los numerosos periféricos de representación gráfica accesibles a una computadora, facilitando la obtención de resultados con un formato de considerable calidad (monitor, la impresora, trazadores gráficos, filmadoras láser). En general, para ambos tipos de almacenamiento de datos (raster, vectorial), los monitores gráficos son el soporte más habitual de visualización. Buena parte de la calidad de estas reproducciones gráficas se deben al tipo de programas de representación que incorpora el SIG.

1.3.2 SIG aplicados al transporte (SIG-T)

En los últimos años el uso de los sistemas de información geográfica en la gestión y planeación en distintos servicios públicos ha crecido significativamente, fomentando con ello el desarrollo de sistema de información y bases de datos en general.

En el caso del transporte, en muchas de las entidades de gobierno encargados de la prestación de este servicio en sus diferentes niveles, han comenzado con ayuda de las computadoras a utilizar los sistemas de información y bases de datos para elaborar programas y gráficos que ayuden en la planeación del transporte, lo cual ha convencido a muchos del valor del SIG.

Numerosos desarrollos por parte de investigadores y programadores se han realizado en materia de transporte. En la actualidad se tiene incorporados a los SIG algoritmos para resolver diversos problemas como los siguientes:

1. Análisis de la ruta mínima.
2. Diseño de las rutas de vehículos.
3. Modelos de flujo de redes.
4. Modelos de partición-agrupación
5. Modelos de ubicación-asignación.
6. Modelos de planeación de transporte (generación –atracción de viajes, distribución de viajes, elección modal y asignación).

Debido a que toda la información necesaria para la resolución de estos problemas, se almacena por medio de matrices de datos, los SIG-T deben poder crear y modificar y revisar matrices de forma continua, para dar una o varias soluciones a un mismo problema cambiando o variando ciertas restricciones.

Uno de los softwares para SIG-T más conocidos es TransCad, de Caliper Corporation. TransCad es un SIG diseñado para problemas de transporte, el

cual maneja y analiza los datos de transporte, en un ambiente Windows. TransCad extiende las capacidades de los SIG, incluyendo elementos para el análisis del transporte como: redes matrices y sistemas de rutas.

Para el análisis de sistemas de rutas se debe de crear un modelo de redes, en el cual se digitalizan tanto las vialidades de la zona a estudiar y se identifican la cantidad y distribución de las mercancías a recolectar o entregar, para este caso se considera que las mercancías son los residuos sólidos.

Dependiendo de la forma en que las mercancías se recolectan el diseño de las rutas se puede resolver, ya sea mediante el problema de rutas de vehículos o bien mediante las rutas en arco, a continuación se describe cada uno de ellos y en los caso en que se aplican.

1.3.2.1 Problema de rutas de vehículos

La solución al problema de ruta de vehículos consiste en determinar cuantos vehículos son requeridos para atender los distintos destinos que se tienen identificados, y generar una ruta que cumpla con los horarios establecidos de cada uno de los destinos.

En este problema se considera que desde un almacén vehículos de capacidad limitada realizan diariamente la recolección o entrega de productos, a una serie de destinos con distintas demandas, y la final regresan al almacén. En su versión más simple se debe determinar el número de vehículos requeridos para atender la demanda de todos los destinos y encontrar la ruta más eficiente para cada uno de los vehículos.

El punto de inicio de cada ruta será el almacén, y los destinos visitados se conocen como paradas, un viaje se considera como la ruta para un solo vehículo que sale del almacén y visita una o más paradas. La meta de este procedimiento es encontrar el conjunto de viajes que minimicen el tiempo total o distancia recorrida de la flota entra de vehículos.

Así que cuando en el almacén se tenga exclusivamente un solo vehículo, lo que se encuentra es el viaje que reduce el tiempo o la distancia sobre el conjunto de paradas asignadas al almacén.

Existen muchos factores que pueden hacer el problema de ruta de vehículos más complejo, y que pueden ser resueltos a través del software Transcad como los son:

- Contar con más de un almacén
- Tener tiempos muertos en algunas o en todas las paradas
- Tiempos de servicio variables
- Vehículos de distintas capacidades
- Paradas de descarga cuando es necesario que los vehículos vuelvan al almacén vacíos.

1.3.2 Problema de rutas en arco

El problema de rutas en arco, es el tipo de problema en donde lo que se busca es encontrar la manera más eficiente de recorrer una serie de arcos en un modelo de red. Existen numerosas aplicaciones de este problema como los son el barrido de calles, la recolección de residuos y las entregas puerta a puerta.

Existen muchas alternativas para recorrer las calles de una zona y realizar la entrega o recolección de mercancías, y en todas ellas se deberá de recorrer la misma distancia, por lo que la mejor solución de este problema es la que permite realizar la que incluye el menor número de recorridos muertos, los cuales se considera son los recorridos sobre las calles en las cuales no existen usuarios o bien las cuales ya fueron atendidas.

Así como en cualquier otro análisis en un modelo de red, el problema de las rutas en arco permite minimizar los recorridos muertos, el tiempo o cualquier otra variable de la red.

Se pueden incluir a la solución de este problema restricciones tales como:

- Calles en las cuales no se presta el servicio
- Calles en las que el servicios es únicamente sobre una acera
- Varios viajes son requeridos en una misma calle
- Las calles de un solo sentido requieran que se recorra dos veces para atender ambos sentidos de las calles.

Sin embargo, las restricciones que no son pueden ser consideradas por este problema es que existan un orden específico para atender las calles o bien que

2 Metodología

2.1 Determinación de la generación

Se analizó la información bibliográfica disponible y la proporcionada por la Dirección de Aseo Urbano del Municipio de Morelia para identificar las principales fuentes de generación de residuos sólidos urbanos en el municipio de Morelia, para determinar su cantidad y su distribución espacial.

2.2 Diagnóstico

Para la elaboración del diagnóstico se realizó la descripción general de la recolección de los residuos sólidos urbanos, para ello se describió tanto la infraestructura y equipos con que se cuenta, como el tipo de método de recolección empleado y las actividades que los trabajadores desarrollan durante las jornadas de trabajo.

La descripción del servicio de recolección se basó tanto en la información proporcionada por los encargados de los servicios de limpia como en la que se obtuvo del trabajo.

Dicha información se procesó en gabinete para ser representada a través de indicadores de desempeño en cuanto a cobertura eficiencia y costo con lo cual se evaluó el desempeño actual de la recolección en el Centro de Morelia.

2.3 Codificación de la red vial

Para el análisis de los sistemas de recolección aplicando sistemas de información geográfica, fue necesario digitalizar y georeferenciar toda la información relacionada con este servicio.

A continuación se hace una descripción de cada uno de los elementos que intervienen en el diseño y operación de los servicios de recolección y la forma en que estos elementos se digitalizaron.

2.3.1 Delimitación del área de estudio

Para delimitar el área de estudio se debe conocer el área de influencia del servicio de recolección. El área de estudio queda comprendida dentro de los límites en los cuales se presta actualmente el servicio de recolección y las vialidades por las que se circula para llegar al sitio de disposición final o estación de transferencia.

Según el tipo de servicio y el tipo de zona que se esté analizando, el área de estudio puede ser una determinada zona de una ciudad o municipio o bien varios poblados o una ciudad completa, para este caso el área de estudio se actúa a los límites del Centro Histórico de Morelia

2.3.2 Digitalización de la red vial

Una vez que se tiene el área de estudio delimitada se realizó la representación gráfica de la red vial que se encuentra dentro de sus límites, la cual consistió en representar mediante un conjunto de líneas y puntos, la totalidad de las vialidades e intersecciones del Centro de Morelia (Ver Ejemplo en la Figura 7).

Para ello fue necesario contar con un mapa digitalizado del área de estudio debidamente escalado y georeferenciado.

Sobre el mapa se comenzó a construir la red vial, trazando sobre cada una de las calles líneas que las representan y que serán identificadas como los arcos de la red mientras que las intersecciones quedan representadas por los nodos de la red.



Figura 7. Codificación de la red vial

Sobre cada uno de los arcos de la red vial se obtuvieron los principales atributos como lo son:

- a. Nombre: El cual se obtuvo de la carta urbana escala 1:50,000 que son elaboradas por el INEGI.
- b. Sentido: Este atributo se obtuvo del estudio de tiempos y movimientos en el cual se siguió el recorrido de todos los vehículos de recolección indicando el sentido de cada una de las calles del área de estudio.
- c. Ancho: Al igual que el sentido de las calles, este atributo se obtuvo de los recorridos en campo durante la realización del estudio de tiempos y movimientos.
- d. Velocidad a flujo libre. En este caso la velocidad a flujo libre, se obtuvo de los recorridos realizados en campo.

2.4 Estudio de tiempos y movimientos

Los estudios de tiempos y movimientos son necesarios para conocer el proceso productivo de la recolección, y cuantificar el tiempo utilizado en el cumplimiento del proceso en estudio, y así poder estimar el tipo y rutas de recolección requeridas para recolectar de manera eficiente los residuos generados en la zona de estudio.

2.4.1 Clasificación de tiempos

Los tiempos que fueron medidos para poder evaluar la operación de cada una de las rutas de recolección son el tiempo de vaciado (**TV**) según el método de recolección empleado, el tiempo de recorrido (**TR**) y el tiempo muerto (**TM**).

Estos tiempos medidos se clasificaron según el tipo de actividad realizada por los operarios o el vehículo de recolección, como se muestra en la figura 8.

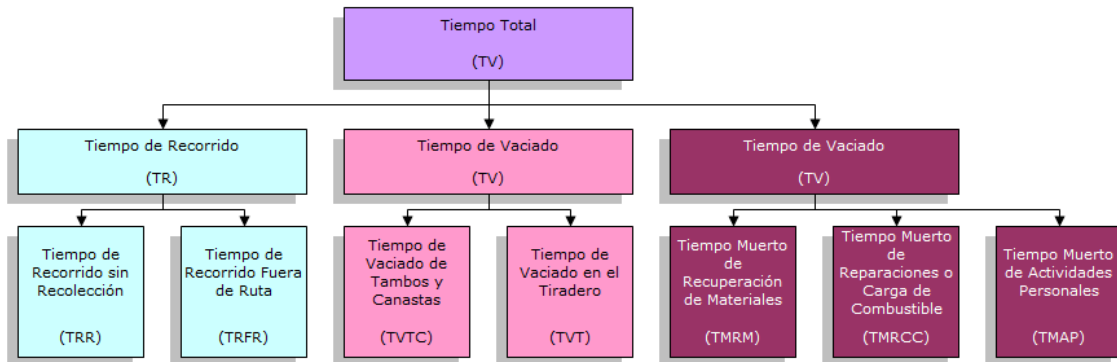


Figura 8. Clasificación de los tiempos.

Tiempo Total (TT). Este tiempo se refiere a la duración de la jornada de trabajo, es el tiempo medido desde que el vehículo de recolección sale del encierro y se dirige a la ruta de recolección asignada, deposita los residuos recolectados en el sitio de disposición final y vuelve al encierro.

Tiempo de Recorrido (TR). Corresponde al tiempo en que se traslada el camión de una parada a otra. Los vehículos realizan dos tipos de traslados:

- **Tiempo de Recorrido sin Recolección (TRR).** Se refiere al recorrido dentro de la ruta de recolección, es decir, de una parada a otra.
- **Tiempo de Recorrido Fuera de Ruta (TRFR).** Como su nombre lo indica, es el tiempo empleado en los traslados desde el patio hasta que inicia la recolección, cuando termina de recoger desechos y llega hasta el tiradero, los regresos del tiradero hacia otra ruta o al patio donde se guarda y en algunos casos, los recorridos que se realizan fuera de la ruta para reparaciones, carga de combustible o para atender cualquier actividad no asociada a la recolección.

Tiempo de Vaciado (TV). El tiempo de vaciado se clasificó en dos tipos: el tiempo de vaciado de tambos y canastas y el tiempo de vaciado en el tiradero.

- **Tiempo de Vaciado de Tambos y Canastas (TVTC).** Como su nombre lo indica es el tiempo que se destina al depósito de los desechos en el vehículo recolector, existen dos formas de realizar esta operación según el método de recolección empleado. En el caso del método de esquina el vehículo se detiene y espera a que los usuarios depositen sus residuos en éste, el tiempo de vaciado será entonces el tiempo en que permanece

parado el vehículo recibiendo los residuos de los usuarios. En el método de acera, el camión avanza lentamente por las calles y los operarios bajan del vehículo y van recolectando los tambos y canastas que se encuentran en la acera de manera continua, el tiempo de vaciado de tambos y canastas es el tiempo en que aún con el camión en movimiento los macheteros van depositando los residuos dentro del vehículo.

- **Tiempo de Vaciado en el Tiradero (TVT).** Es el tiempo que tarda el vehículo en depositar los residuos recolectados en el tiradero municipal.

Tiempos Muertos(TM). Los tiempos muertos son todas aquellas actividades que sean improductivas. Las más comunes son: el acomodo de materiales, recolección de basura intradomiciliar y las actividades personales.

- **Tiempo muerto de Recuperación de Materiales (TMRM).** Es el tiempo que se destina a separar y acomodar dentro del vehículo recolector materiales como el cartón, papel, y otros reciclables para su posterior venta, o el tiempo que se dedica a estibar la basura en los casos que la capacidad del vehículo es superada.
- **Tiempo Muerto de Reparaciones o Carga de Combustibles (TMRCC).** Como su nombre lo dice es el tiempo que los trabajadores dedican a la carga de combustible o a realizar reparaciones dentro de la jornada de trabajo.
- **Tiempo Muerto de Actividades Personales (TMAP).** En este rubro se engloba a todas aquellas actividades realizadas por iniciativa de los trabajadores y que no son propias de la recolección, de entre las que destacan el tiempo que se emplea en el desayuno o comida de los trabajadores o bien en esperar al personal que llega retrasado.

2.4.2 Registro de tiempos

El estudio de tiempos y movimientos se realizó en cada una de las rutas de recolección que existen en el centro de Morelia, se elaboró una cédula de campo en la cual se anotó la información general de la ruta y del vehículo, así como los tiempos y actividades realizadas por éste, tal como se muestra en la figura 9.

En la primera hoja de la cédula de campo se recopila toda la información necesaria para poder identificar el vehículo y la ruta de recolección analizada.

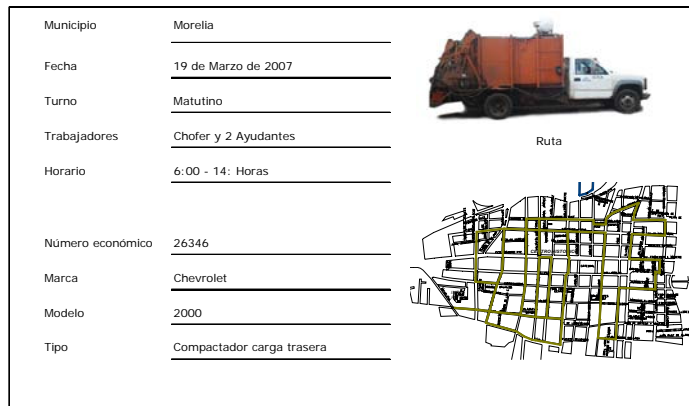


Figura 9. Cédula de campo con la información de la ruta

- Información General. Se indicó el **Municipio** donde se realiza el estudio, la **Fecha** en que se realizó el estudio, el **Turno** que se esté analizando, y el número y cargo de los **Trabajadores**.
- Información del Vehículo. Se anotó el número **Económico**, **Placas**, número de **Serie**, **Marca**, **Modelo** y **Tipo**.
- Adicionalmente se incluyó una **Fotografía** del vehículo, así como un **Plano** de la ruta que se está analizando.

En las siguientes tablas se muestran los datos de la cédula de campo en donde se registraron los tiempos y las actividades realizadas durante la jornada de trabajo así como las condiciones del terreno, en la forma en que se describe en la tabla 1.

Tabla1. Cédula de campo con el registro de tiempos y movimientos.

Punto	Tipo	Litros			Tiempo de Vaciado			Tiempo Muerto			TM	Fuera de ruta	Zona donde se realiza la recolección						
		100	50	25	Inicio		Fin	Inicio		Fin			Calle	Referencia	Observaciones				
1					6	10	54	6	10	54						Encierro Madero			
2											6	19	28	6	19	50	3	1	Espera peón
3	3				6	23	32	6	26	67									
4	1			2	6	28	2	6	28	38									Casa del Estudiante Nicolaita
5	2	B			6	30	25	6	38	30									
											6	38	30	6	38	40	1		
6	2	3	1		6	40	7	6	43	11									Casa de Estudiantes
7	2	4	2	6	6	43	53	6	59	17									Casa de Estudiantes
8	3	1	6	1	7		53	7	7	41									Hidalgo con Altende
											7	7	41	7	13	56	3		
9	1	2	2		7	16	14	7	20	23									Asilo
10	1	1	1		7	20	43	7	21	10									SEP
11	1	6	1		7	21	17	7	34	53									Casa de estudiantes Che Guevara
																			Palacio de Gobierno v. Secretaria de la

- La primera columna **Punto** corresponde al **Número de parada**. Aquí se anota el número de la parada la cual se registra también con un navegador GPS, o bien se indican las paradas fuera de ruta como lo son el encierro, el tiradero municipal, comida de los trabajadores, venta de materiales reciclables, gasolinera y reparaciones.
- La segunda columna **Tipo** corresponde al **Tipo de Recolección**. Aquí se clasifica el tipo de recolección que se efectúa con números del 1 al 4. El 1 corresponde a la recolección utilizando el método de acera, el 2 se utiliza cuando el método empleado es el de esquina, el 3 corresponde a la recolección intradomiciliar y el 4 a la descarga de los residuos en el tiradero.

- De la tercera a la quinta columna **Litros** corresponde al **Número de Tambos y/o Canastas**, de 100, 50 y 25 litros que son recolectados por el personal. En cada uno de los campos se anotan la cantidad de recipientes de esa medida vaciados en el contenedor del camión recolector.
- La sexta y séptima columna se refieren al **Tiempo de Vaciado**. Se debe anotar el tiempo que tardan en vaciar los tambos, canastas, botes, costales, etc. o bien se registra el tiempo que el vehículo tarda en depositar los residuos recolectados en el tiradero municipal.
- De la octava a la novena columna corresponde al los **Tiempos Muertos**. Aquí se registran los tiempos de descanso, los tiempos de almuerzos, los tiempos de pepena y acomodo de materiales y aquellos que sean improductivos.
- En la onceava columna se indica el **Tipo de Tiempo Muerto**. Aquí a través de un número del 1 al 3 se clasifica el tipo de tiempo muerto o tipo de recorrido que realiza el vehículo. Con el número 1 se denota al tiempo en que los operarios se dedican a la selección y venta de materiales reciclables; mientras que con el 2 que el tiempo muerto dedicado a la carga de combustible y o reparaciones dentro de la jornada de trabajo; y finalmente con el número 3 a las actividades personales, como lo son el desayuno, servicios irregulares a comercios o casa etc.
- **Fuera de ruta** en la doceava columna se indica con un número 1 si durante el periodo analizado se está haciendo un recorrido fuera de ruta.
- **Zona donde se realiza la recolección**. En la columna de **Calles** se indica la calle por la que circula el vehículo recolector o bien en la columna referencia se indica el número exterior del punto de servicio o la institución que está siendo atendida.
- **Observaciones**. En esta columna se anotan los aspectos relevantes que requieren una aclaración. Se recomienda que la aclaración se escriba en la misma fila de la cédula de tiempos y movimientos.

2.4.3 Análisis de tiempos

Los tiempos registrados en la cédula de campo se vacían en una hoja de cálculo, en ella se indica el fin y el inicio de cada una de las actividades y posteriormente se realiza el cálculo del tiempo empleado en cada una de las distintas actividades como se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Inferencia de tiempos

Punto	Tipo	Litros			Tiempo de Vaciado		Tiempo Muerto		Tiempo de recorrido		Tiempo de Vaciado		Tiempo Muerto	
		100	50	25	Inicio	Fin	Inicio	Fin	Min	Min	Min	Min	Min	Min
47	1		1		11:13:22	11:13:58			11:13:42	11:13:22	11:13:22	11:13:58		
48	1		1		11:14:17	11:14:43			11:13:38	11:14:17	11:14:17	11:14:43		
49	1		1		11:15:27	11:15:37			11:14:43	11:15:27	11:15:27	11:15:37		
50	1			1	11:17:46	11:18:16			11:15:37	11:17:46	11:17:46	11:18:16		
51	1		1		11:23:52	11:24:06			11:18:16	11:23:52	11:23:52	11:24:00		
52	1		1		11:27:29	11:27:40			11:24:09	11:27:29	11:27:29	11:27:40		
53	1				11:28:39	11:28:54			11:27:40	11:28:39	11:28:39	11:28:54		
54	1		1		11:30:09	11:30:31			11:28:54	11:30:09	11:30:09	11:30:31		
55	4				11:31:58	11:45:00			11:30:31	11:31:58	11:31:58	11:45:00		
					12:30:00	12:30:00	11:45:00	12:00:00	11:45:00	11:45:00	12:30:00	12:30:00	11:45:00	12:00:00

Una vez que se han obtenido los tiempos de vaciado, recorrido y muerto, éstos se clasifican según el tipo de actividad realizada por los operarios, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los tiempos

TR	TV	TM	TT	TR		TV		TM		
				TRR	TRFR	TVTC	TVT	THRM	THRCC	TMAP
				Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
00:01:40	00:00:16		00:01:56	0:01:40		0:00:16				
00:00:39	00:00:26		00:01:05	0:00:39		0:00:26				
00:00:44	00:00:10		00:00:54	0:00:44		0:00:10				
00:02:09	00:00:30		00:02:39	0:02:09		0:00:30				
00:05:36	00:00:17		00:05:53	0:05:36		0:00:17				
00:03:20	00:00:11		00:03:31	0:03:20		0:00:11				
00:00:59	00:00:15		00:01:14	0:00:59		0:00:15				
00:01:15	00:00:22		00:01:37	0:01:15		0:00:22				
00:01:27	00:13:02		00:14:29		0:01:27		0:13:02			
		00:15:00	00:15:00							0:15:00
00:30:00			00:30:00		0:30:00					

Después se realizan las sumas de las columnas y se obtiene el tiempo total de la jornada y de cada uno de los tipos de tiempos, éste se representa como porcentaje del tiempo total de recorrido para poder realizar el análisis de tiempos y movimientos.

2.4.4 Tasa de recolección

Por último se realiza el cálculo de la cantidad de residuos recolectados en cada punto asumiendo que el peso volumétrico de los residuos es de 0.150 kg/L, se asumió este peso volumétrico, ya que es el que comúnmente tiene los residuos de origen domésticos sin compactación.

En la Tabla 4 se muestra el procedimiento que se siguió para el cálculo de los residuos recolectados, en primera instancia se suma el volumen total de los residuos sólidos recolectados en el punto analizado y al multiplicar por el peso volumétrico y se obtiene la cantidad de residuos recolectados en peso. Finalmente esta cantidad de residuos se divide entre el tiempo empleado en la maniobra y se obtiene un tiempo de recolección promedio en kg/min, que después se clasifica según el método empleado y se obtiene la media de cada uno de los métodos.

Tabla 4. Estimación de los residuos recolectados

Punto	Residuos Recolectado en cada punto				Tiempo Método		
	Lt	Kg/Lt	Kg	Kg/min	Acera	Parada Fija	Intra domiciliar
					Kg/min	Kg/min	Kg/min
	50.000	0.150	7.500	28.13	28.13		
	50.000	0.150	7.500	17.31	17.31		
	50.000	0.150	7.500	45.00		45.00	
50	25.000	0.150	3.750	7.50			7.50
51	50.000	0.150	7.500	26.47	26.47		
52	50.000	0.150	7.500	40.91		40.91	
53		0.150					
54	50.000	0.150	7.500	20.45	20.45		

Con la evaluación de este parámetro se selecciona el método de recolección idóneo, el cual será el de mayor tasa de recolección para reducir los tiempos empleados en esta actividad.

Sin embargo, se debe de evaluar si el método de mayor tasa de recolección se puede emplear a todas las fuentes de generación identificadas, o bien si existen algunas fuentes en las cuales el método de recolección seleccionado no se puede aplicar.

2.4.5 Velocidad

Por otra parte con el tiempo de recorrido y la distancia entre cada una de las paradas se determina la velocidad promedio dentro de la ruta de recolección.

2.5 Almacenamiento de los datos de las rutas de recolección en el SIG

2.5.1 Digitalización de la ruta de recolección

Durante el estudio de tiempos y movimientos además de medir los tiempos de cada una de las actividades se registró también el recorrido realizado por cada uno de los vehículos a través del navegador GPS.

El recorrido registrado en el navegador GPS se representa sobre la red vial previamente digitalizada, siguiendo la ruta que se realizó durante el estudio de tiempos de movimientos, respetando el sentido de las calles, e indicándolo como a se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Digitalización de la ruta de recolección

2.5.2 Puntos de recolección

Una vez que se tiene la ruta de recolección digitalizada se indican sobre la red vial las distintas paradas que se realizaron a lo largo de la ruta de recolección (Ver Figura 11)

En cada una de las paradas registradas además de contar con la posición se obtuvo la siguiente información:

- El nodo de la red que se encuentra más cercano al punto donde se realizó la parada.
- El tiempo muerto.
- La tasa de recolección.
- La cantidad de residuos recolectados.
- El horario en el cual se puede realizar la recolección en ese punto.
- El encierro del cual parte el vehículo de recolección.

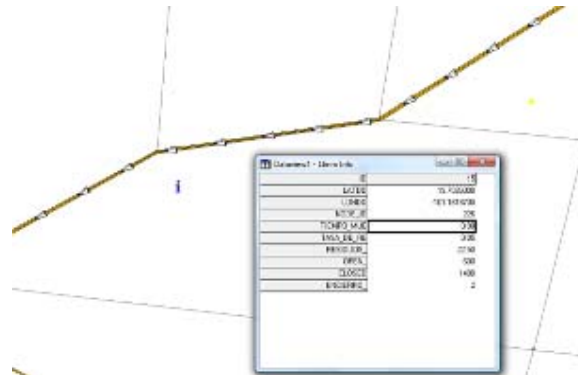


Figura 11. Paradas dentro de la ruta de recolección

Finalmente la digitalización de la ruta de recolección estuvo integrada tanto por el recorrido que realizó el vehículo como por las distintas paradas que se realizaron, en la Figura 12 se muestra la ruta de recolección analizada con todos sus atributos.

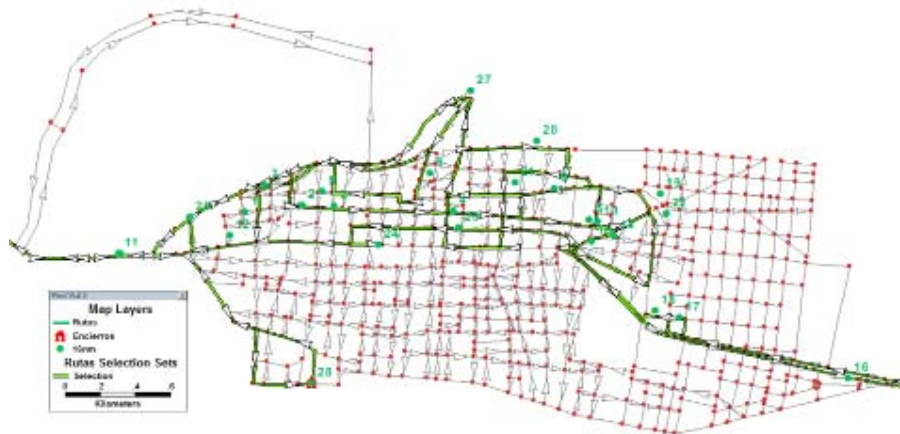


Figura 12. Ruta de recolección con todos sus atributos

2.6 Diseño de rutas

Una vez que se ha digitalizado la ruta de recolección así como las paradas que se registraron durante el recorrido con todos sus atributos, se procede a hacer el rediseño.

El software Transcad permite realizar el diseño de rutas de recolección, encontrando la ruta más corta de una serie de parados o recorriendo un conjunto

de calles en la menor distancias o menor tiempo a partir de los atributos que se tienen en la red (velocidad, distancia, sentido de las calles, tasa de recolección, etc.), dependiendo del problema que se esté resolviendo.

Como se mencionó anteriormente cuando el problema que se tiene es el de atender una serie de paradas dentro de un horario restringido y con vehículos de capacidad limitada se resuelve como el problema de ruta de vehículos, mientras que cuando se trata de atender puerta a puerta a todos los usuarios de una determinada zona con vehículos de capacidad limita el problema se resuelve como rutas en arco (ambos métodos se describieron en el capítulo anterior)

Cuando se trata de diseñar rutas de recolección de residuos sólidos el problema se resuelve como rutas en arco, ya que es necesario recolectar los residuos de todos los domicilios puerta a puerta, sin embargo, para los alcances de este estudio el diseño de las rutas se limito a los puntos que actualmente están siendo atendidos y respetando a las cuadrillas que los atienden.

Por lo anterior, para realizar el rediseño de las rutas existentes en el Centro de Morelia se resolvió el problema de ruta de vehículos, atendiendo una serie de paradas determinadas con un horario de atención delimitado y vehículos de capacidad limitada.

Para el caso de las rutas de recolección de residuos sólidos, lo que se busca mediante el rediseño es reducir el tiempo de recorrido, ya que el objetivo que se persigue es el de reducir el costo en el manejo de los residuos sólidos.

2.6.1 Pardas determinadas

La primera parte consiste en especificar los puntos de inicio y fin de la ruta así como los puntos que deberán de ser atendidos.

El punto de inicio y final de la ruta que fue el encierro. Cada uno de los encierros se ubicó sobre la red vial, por lo que se especificó su ubicación y horario de servicio, como se muestra en la Figura 13.

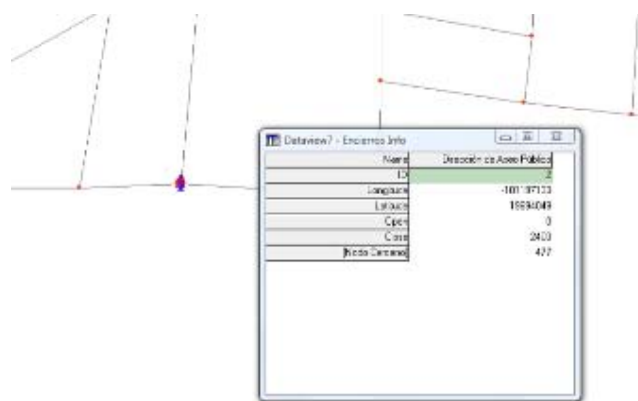


Figura 13. Ruta de recolección con atributos

Una vez que se han indicado los puntos de inicio y fin de la ruta de recolección se establecen el total de paradas que deberán atenderse, asignando en cada una de ellas la cantidad de residuos y tiempo empleado en recolectarlos. Como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Delimitación de la zona de recolección

En la Figura 14 se indica sobre la red vial las paradas que deberán atenderse, éstas puede ser de una o más rutas analizadas, dependiendo de la cantidad de residuos que se quieran recolectar. En este caso se puede hacer el diseño ya sea para la zona norte si se eligen las paradas en verde y una para el sur, si se eligen las paradas en naranja, o bien una sola ruta si eligen ambas paradas.

2.6.2 Parámetros de Diseño

Una vez que se tiene identificadas los puntos de inicio y fin de la ruta, el diseño de la ruta corresponde al recorrido detallado que deberá de realizarse para atender todos los puntos empleando el menor tiempo o la menor distancia, en este caso se eligió reducir el tiempo ya que el objetivo es el de disminuir los costos de recolección.

- *Velocidad*

Para encontrar la ruta más corta en tiempo, el primer atributo que debió determinarse al diseñar la micro ruta es la velocidad promedio dentro de la zona de recolección delimitada (Ver ejemplo en la Tabla 5).

Tabla 5. Velocidad sobre la red vial.

ID	Length	Dir	CARRILES	ROMBIL	VELOCIDAD	Time
72	0.09	0	4	5 de Febrero	25.00	0.22
183	0.14	1	2	Ana María Gallega	25.00	0.34
205	0.12	-1	2	Juan de Ortega y Montañez	25.00	0.28
216	0.05	-1	2	Corregidora	25.00	0.12
220	0.05	1	2	Fray Bartolome de las Casas	25.00	0.11
304	0.12	0	2	Padre Llorenda	25.00	0.25
306	0.09	1	2	Fernández de Córdoba	25.00	0.22
345	0.09	1	2	1 de Mayo	25.00	0.22
582	0.20	-1	3	Juan Ruiz de Alarcón	25.00	0.48
696	0.09	-1	2	Plan de Ayala	25.00	0.22
725	0.08	0	4	Francisco I Madero Oriente	30.00	0.15
745	0.08	-1	2	Antonio Margil	25.00	0.15
750	0.20	0	3	Privada Santa María	25.00	0.47
758	0.08	-1	2	Aquiles Serdán	25.00	0.15
777	0.09	1	2	20 de Noviembre	25.00	0.21
1014	0.14	0	4	Lozaro Cardenas	25.00	0.32
37	9.71	0	4	Carretera a Quiroga	30.00	19.41
36	0.74	0	2	Camino de Acceso a Tiadero	30.00	1.45
1040	0.27	0	2	Camino Interior	30.00	0.54
987	0.44	0	8	Francisco I. Madero Poniente	30.00	0.88
985	1.32	0	8	Francisco I Madero Poniente	30.00	2.64
986	0.42	1	2	Carretera a Quiroga	30.00	0.84
1042	0.42	-1	2	Carretera a Quiroga	30.00	0.84

Las velocidades que se considerarán en primera instancia sobre la red vial son las registradas durante el estudio de tiempos y movimientos, y en segunda instancia se considera la velocidad a flujo libre cuando se considera realizar el recorrido en el horario nocturno.

- *Tasa de recolección*

El otro parámetro que se determinó es el de la tasa de recolección que es la cantidad de residuos que se pueden recolectar por unidad de tiempo, en este caso se determinó la cantidad de residuos en kg que pueden recolectarse en un minuto. Las tasas de recolección dependen principalmente del método empleado, en aquellos métodos de recolección en los que exista una mayor participación de la población para entregar sus residuos, mayor será la tasa de recolección.

- *Tipo de vehículo*

El otro parámetro que se determinó es el tipo de vehículo idóneo para la recolección en la zona estudiada, especificando su capacidad máxima y costo horario.

2.6.3 Diseño de ruta

Para cada uno de las rutas analizadas en campo se analizaron cuatro escenarios distintos, en los cuales se combinaron distintos métodos de recolección, dos distintos horarios de recolección y vehículos con características distintas.

La ruta de recolección elegida fue la que se empleó el menor tiempo para atender una serie de paradas determinadas, esta se comparó con la rutas de recolección existente para identificar las diferencias existentes que se traducen en un ahorro en tiempo (Ver ejemplo en la Figura 15).



Figura 15. Ruta de recolección más corta

En la Figura 15 se puede ver que una de las principales diferencias entre las rutas de recolección analizadas y la ruta más corta, es evitar que el vehículo de recolección circule dos veces por la misma calle.

También mediante el diseño de la ruta de recolección más corta se obtienen el horario en el cual se llega a cada una de las paradas, el tiempo empleado en cada una de ellas ya sea de servicio (recolección de residuos) y/o muerto, la distancia recorrida así como la cantidad de residuos que se tiene a bordo del camión. En la Tabla 6 se muestran los datos obtenidos de las rutas de recolección.

Tabla 6. Datos obtenidos de la ruta más corta

ID	Name	Sequence	Arrival	Wait	Service Time	Departure	Travel Time	Distance	Tot. Dist.	Pickup	Tot. Load	Stop Type
1	Dirección de Aseo Público	0	--	--	--	556	--	--	0.00	--	0.00	Depot
2	24	1	600	0.0	1.3	601	4.0	1.69	1.69	26.250	26.25	Pickup
3	23	2	601	0.0	2.8	604	0.0	0.00	1.69	56.250	82.50	Pickup
4	4	3	604	0.0	2.4	607	0.2	0.09	1.78	48.750	131.25	Pickup
5	20	4	609	0.0	0.4	609	2.1	0.87	2.65	7.500	138.75	Pickup
6	19	5	611	0.0	3.0	614	1.7	0.69	3.34	60.000	198.75	Pickup
7	22	6	614	0.0	3.2	618	0.5	0.21	3.55	63.750	262.50	Pickup
8	16	7	622	0.0	0.8	622	3.9	1.85	5.40	15.000	277.50	Pickup
9	17	8	626	0.0	1.5	627	3.3	1.62	7.02	30.000	307.50	Pickup
10	18	9	628	0.0	2.8	630	0.5	0.22	7.24	56.250	363.75	Pickup
11	15	10	632	0.0	1.1	633	1.4	0.70	7.94	22.500	386.25	Pickup
12	14	11	633	0.0	1.3	634	0.2	0.08	8.03	26.250	412.50	Pickup
13	5	12	635	0.0	0.6	635	0.3	0.15	8.18	11.250	423.75	Pickup
14	13	13	636	0.0	0.2	636	0.2	0.09	8.27	3.750	427.50	Pickup
15	6	14	637	0.0	0.8	638	1.2	0.48	8.75	15.000	442.50	Pickup
16	21	15	638	0.0	1.5	640	0.5	0.22	8.97	30.000	472.50	Pickup
17	27	16	641	0.0	3.0	644	1.8	0.79	9.76	60.000	532.50	Pickup
18	8	17	646	0.0	1.5	648	1.7	0.70	10.46	30.000	562.50	Pickup
19	9	18	649	0.0	1.5	651	1.5	0.63	11.09	30.000	592.50	Pickup
20	3	19	651	0.0	0.6	652	0.6	0.25	11.35	11.250	603.75	Pickup
21	2	20	653	0.0	0.2	653	1.0	0.42	11.76	3.750	607.50	Pickup
22	12	21	654	0.0	1.1	655	1.2	0.54	12.30	22.500	630.00	Pickup
23	1	22	656	0.0	0.2	656	0.7	0.27	12.57	3.750	633.75	Pickup
24	7	23	657	0.0	7.3	704	0.4	0.17	12.75	146.250	780.00	Pickup

3 Caso de estudio

3.1 Antecedentes

La ciudad de Morelia por su condición de capital del Estado de Michoacán de Ocmpao y del Municipio de Morelia, presenta una concentración importante de actividades administrativas, económicas culturales y comerciales de atención regional.

Los servicios que se concentran en el Municipio de Morelia y en particular en la zona centro, atienden al 17% población estatal, como consecuencia la Ciudad de Morelia enfrenta diversos problemas que contribuyen de forma directa a su deterioro.

La ciudad de Morelia se caracteriza por su riqueza histórica, la cual se manifiesta en la traza original con que fue diseñada y construida a partir de 1543; su arquitectura religiosa y civil; la proporción original de los espacios públicos que se percibe en sus plazas, parques y jardines; así como en la cultura y la tradición que conlleva este testimonio físico.

La zona de Monumentos Históricos esta formada por 219 manzanas, donde se ubican un total de 1704 obras que por determinación de ley son monumentos históricos y que de forma esquemática se muestran en la Figura 16.



Figura 16. Monumentos Históricos del Centro de Morelia.

Aun cuando el área de estudio ha sufrido una serie de transformaciones, principalmente en los últimos 25 años, de manera general se pueden identificar las zonas que a continuación se describen.

En el Primer Cuadro de la ciudad, entre las calles Eduardo Ruiz y Aldama, Valentín Gómez Farías y Avenida Morelos se concentran las actividades de la administración pública.

La zona comercial, de servicios y mixta, presenta su mayor concentración entre las calles 20 de Noviembre, Av. Lázaro Cárdenas, Galeana y Vicente Santa María.

Los corredores urbanos con mayor concentración de usos comerciales y mixtos, se ubican en: Av. Madero Oriente y Poniente, Av. Morelos Norte y sur y las calles Virrey de Mendoza, Vasco de Quiroga, Lázaro Cárdenas, Benedicto López, Manuel Muñiz y Mariano Michelena.

Las instalaciones relativas a la salud se localizan entorno al boque Cuauhtemoc, a partir de la ubicación del Hospital General Regional de Salubridad y Asistencia. En esta misma área, conjuntamente con las escuelas de Medicina y Odontología, se ubican la Cruz Roja Mexicana y un gran número de laboratorios y consultorios médicos. Mientras que en el poniente se ubica el Hospital General de Zona del Instituto Mexicano del Seguro Social, el cual proporciona la mayoría de los servicios médicos de la Ciudad, del Municipio y del Estado.

Dentro del Centro Histórico existen más de 100 espacios educativos, de todos los niveles educativos.

3.2 Estudio de generación

3.2.1 Determinación de la generación

Para determinar la cantidad de residuos que se generan en el centro de Morelia, se estimó tanto la población como la tasa de generación per cápita.

La determinación de la población se realizó con base en el X Censo de Población y Vivienda del 2000 y el II Conteo de Población y Vivienda del 2005.

Mientras que la tasa de generación per cápita se obtuvo de las proyecciones que el INE realizó para las 100 ciudades más grandes del país para el periodo 2000-2015.

Como se puede ver en la Tabla 7, se estima que en el Centro de la Ciudad de Morelia se tiene un total de 23,757 habitantes para el 2007, y que estos generan al día un promedio de 1.166 kg, con lo que diariamente en el centro se generan 27,700.66 kg,

Tabla 7. Generación en el centro de Morelia

Generación Per Cápita kg/hab*día	Habitantes Hab	Generación kg/día
1.166	23,757.00	27,700.66

3.2.2 Identificación de fuentes

Durante el mes de noviembre de 2006 se realizó una visita a la zona de estudio para identificar cuáles son las principales fuentes de generación dentro del Centro Histórico de Morelia, de este trabajo se pudieron identificar tres zonas con características distintas: una la zona habitacional, zona comercial y el primer cuadro de la ciudad donde se concentra la mayoría de los atractivos turísticos y dependencias de gobierno, cada una de ellas con un problemática distinta.

3.2.3 Zona Habitacional

En la zona habitacional predominan las viviendas unifamiliares, sin que existan grandes conjuntos habitacionales o edificios de departamentos. Las calles son estrechas y en la mayoría de los casos se encuentran vehículos estacionados en ambas aceras (Ver Figura 17).



a) Vehículos Estacionados en Ambas Aceras



b) Calles de un solo carril

Figura 17. Zona habitacional

En esta zona el municipio no presta el servicio de recolección; sin embargo, sí realiza el barrido manual diariamente en un solo turno, dado que los barrenderos no cuenta con contenedores móviles depositan su residuos en las esquinas para que los vehículos de brigada los recolecten, lo que en ocasiones es aprovechado por los habitantes para también disponer su residuos de la misma forma (Ver Figura 18).



a) Residuos Domésticos Abandonados



b) Residuos Domésticos en las Papeleras

Figura 18. Disposición de residuos zona habitacional

3.2.4 Zona comercial

La zona comercial y de servicios, presenta su mayor concentración entre las calles 20 de Noviembre, Av. Lázaro Cárdenas, Galeana y Vicente Santa María. Al igual que la zona habitacional las calles son muy estrechas y se tiene una gran cantidad de tránsito.

Es en esta zona donde aún cuando existe recolección por parte del municipio y barrido manual, la infraestructura con que se cuenta es insuficiente ya que debido a la gran afluencia de visitantes se puede ver una gran cantidad de basura en las calles y papeleras desbordadas (Ver Figura 19).



a) Residuos en las aceras alrededor del Mercado Independencia



b) Almacenamiento de los residuos en el Mercado Independencia



c) Papeleras sobre Av. Lázaro Cárdenas



d) Residuos en las calles

Figura 19. Zona Comercial

3.2.5 Primer cuadro de la ciudad

En el primer cuadro de la ciudad donde se asientan la mayoría de las dependencias de gobierno, se delimita por las calles Eduardo Ruiz y Aldana, Valentín Gómez Farías y Av. Morelos.

En esta zona el municipio presta tanto el servicio de recolección municipal como el de barrido manual, este último en tres turnos por lo que esta zona permanece limpia en todo momento además es importante mencionar que en esta zona es donde se concentra la mayor cantidad de papeleras para que los visitantes tengan en donde depositar sus residuos (Ver Figura 20).



a) Av. Madero



b) Plaza de Armas

Figura 20. Primer cuadro de la ciudad

3.2.5.1 Zona de hospitales

Las instalaciones relativas a salud se localizan en el poniente donde se encuentra el Hospital General de Zona del Instituto Mexicano del Seguro Social (Ver Figura 21), el cual proporciona la gran mayoría de los servicios médicos de la ciudad, del municipio y del estado.

En estas zonas si bien no se presta el servicio de recolección las calles aledañas se mantienen limpias a través del barrido manual.



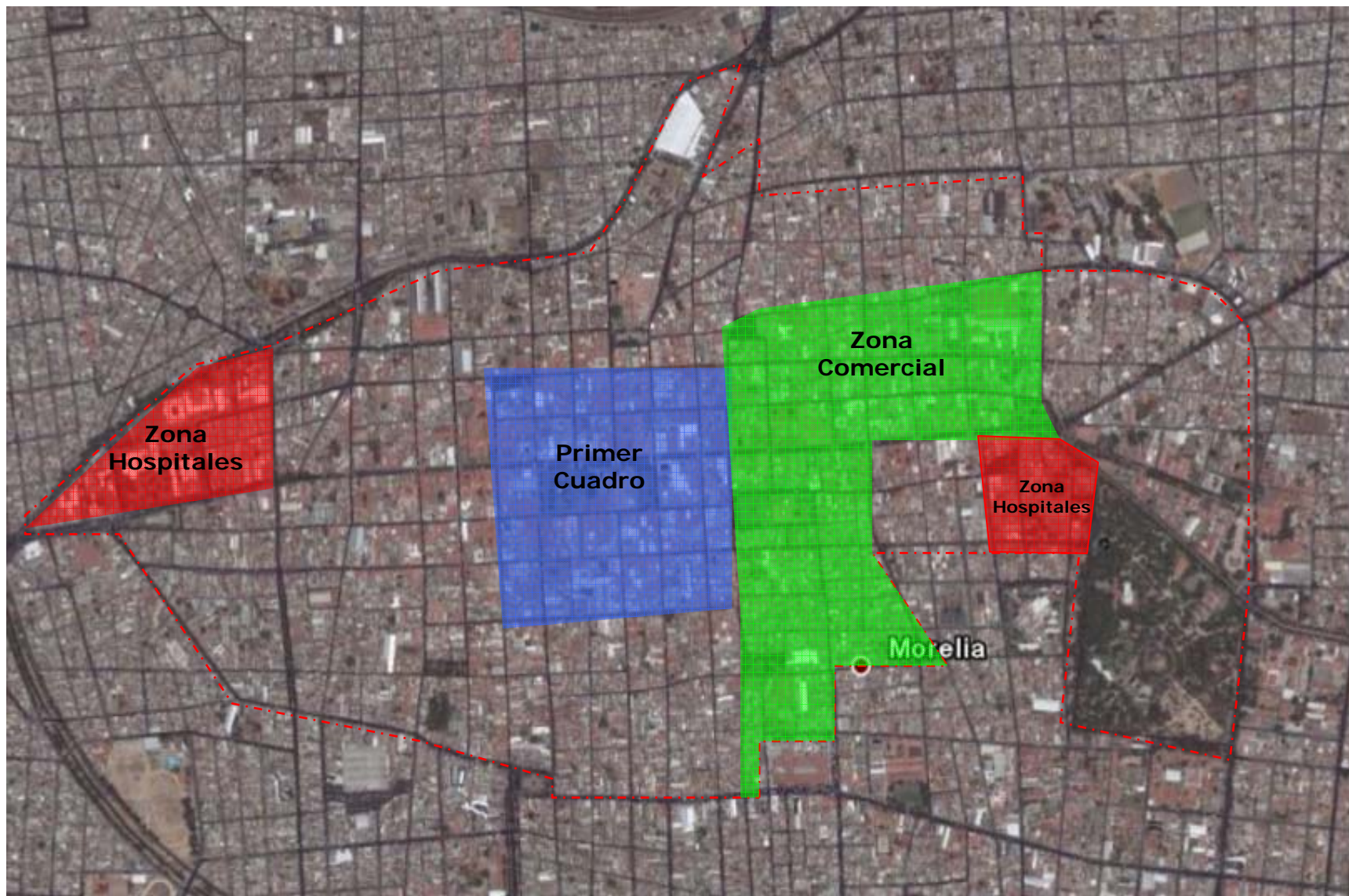
a) Hospital General de Zona



b) Conjunto Medico Administrativo

Figura 21. Zona de hospitales

En la figura 22 se muestra la extensión y límite del Centro Histórico de Morelia, dentro del cual se indica el Primer Cuadro sombreado en color azul, la Zona de Hospitales en color rojo y la Zona Comercial en verde, el resto que no se encuentra sombreado corresponde a la zona Habitacional.



Fuente: Modificado de Google Earth
Figura 22. Zonas identificadas

3.3 Descripción del servicio de recolección

3.3.1 Dirección de aseo público

El servicio de recolección de residuos sólidos prestado por la Dirección de Aseo Público del municipio está integrado por recolección domiciliar y brigadas especiales. La recolección domiciliar consiste en el seguimiento de rutas ya establecidas por parte de los vehículos, recolectando así los residuos sólidos en las diferentes colonias de los diez sectores del Municipio. Las brigadas especiales cubren en algunos casos las rutas de recolección domiciliar además de realizar la recolección de los contenedores y los residuos sólidos producto de las actividades de aseo por parte de la Dirección de Limpia.

3.3.2 Recolección en el Centro Histórico

En cuanto a la recolección en el Centro Histórico de Morelia, aún cuando es el mayor atractivo de la ciudad y donde se concentra un gran número de comercios, hoteles y dependencias de gobierno únicamente se tiene por parte del municipio cuatro vehículos de recolección, dos de ellos con ruta fija y dos más de apoyo los cuales recolectan los residuos que el personal de brigada deja en la esquinas producto del barrido de calles y limpieza de papeleras.

3.3.2.1 Recolección domiciliar

Para la recolección domiciliar se tienen solamente dos vehículos recolectores con caja rectangular de 6.55 m³ y una antigüedad de 7 años (Ver Figura 23). El vehículo con el número económico 26346 es operado por un chofer y dos macheteros, mientras que el 26345 únicamente tiene asignados un chofer y un machetero.

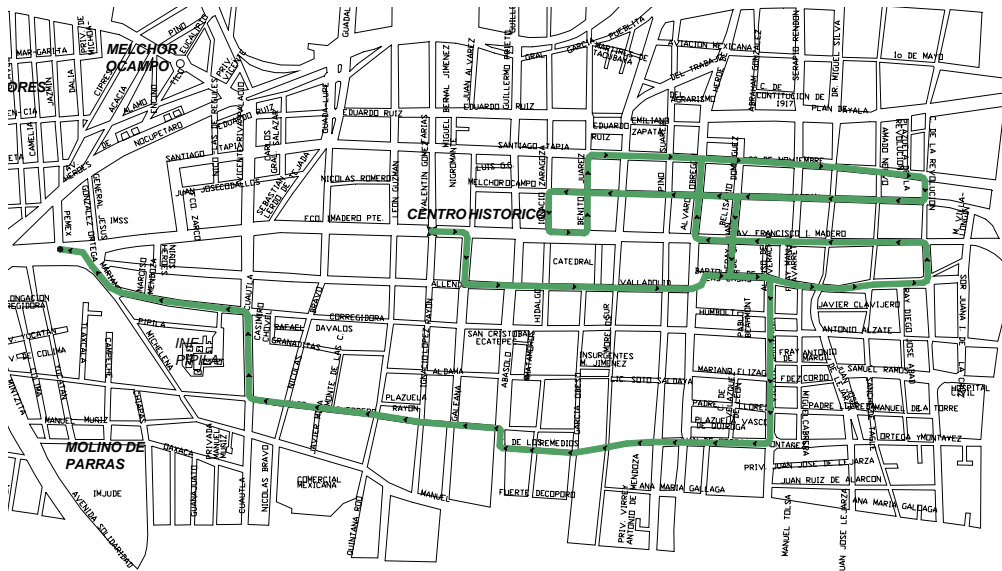


Fuente: Dirección de Aseo Público
Figura 23. Vehículos de recolección en el centro

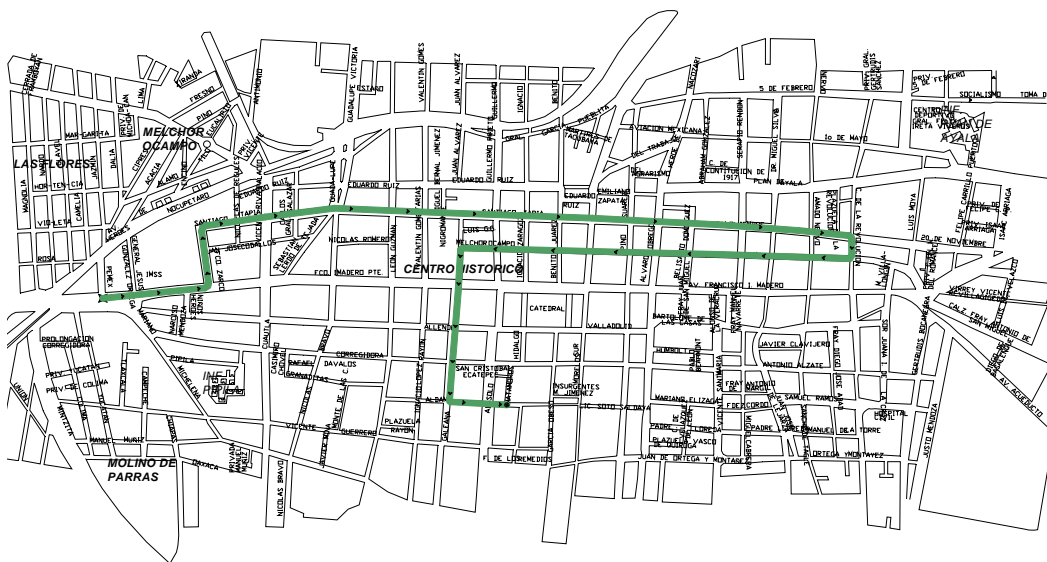
En cuanto a las rutas de recolección se tienen tres rutas en el centro dos de ellas son atendidas por el vehículo 26346 y una más por el vehículo 26345.

3.3.2.2 Rutas de recolección domiciliar

En la ruta del vehículo 26345, el método empleado es el de acera en el caso de la recolección doméstica y el intradomiciliar en el caso de escuelas y dependencias de gobierno; durante la jornada de trabajo este vehículo realiza dos viajes los cuales se muestran en las Figuras 24a y 24b.

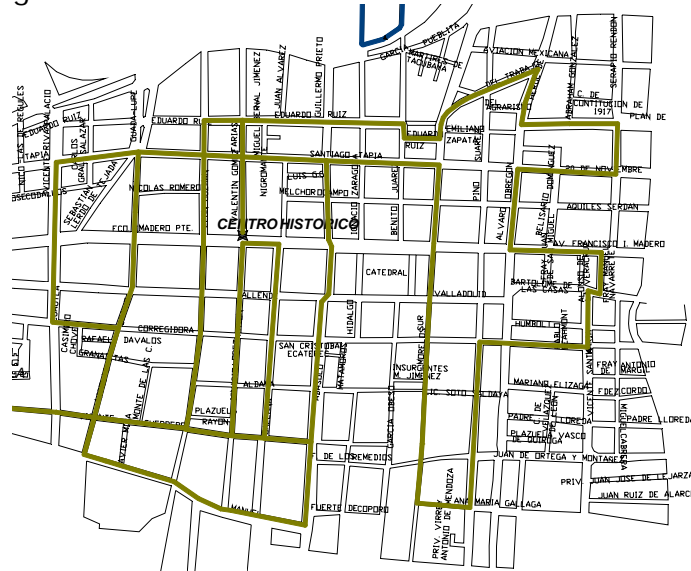


Fuente: Dirección de Aseo Público
Figura 24a. Primer viaje ruta de recolección domiciliar 26345



Fuente: Dirección de Aseo Público
Figura 24b. Segundo viaje ruta de recolección domiciliar 26345

Por otra parte el vehículo 26346 únicamente cubre una ruta de recolección empleando también los métodos de parada fija e intradomiciliario, como se muestra en la Figura 25.



Fuente: Dirección de Aseo Público
Figura 25. Rutas de recolección vehículo 26345

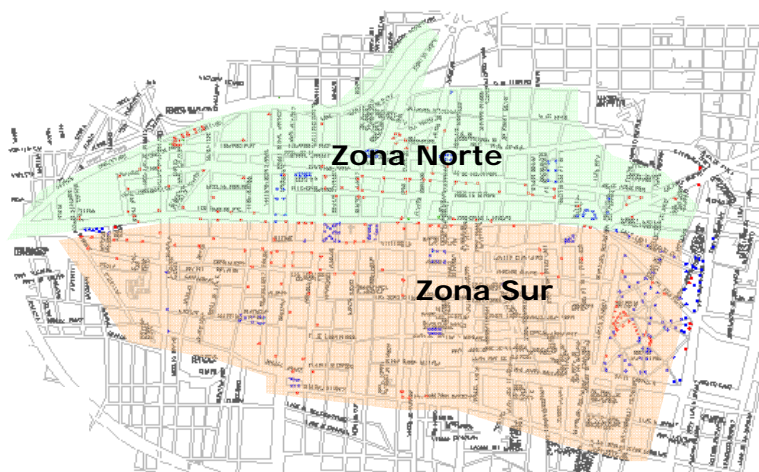
3.3.3 Brigadas

Además de las rutas de recolección domiciliar, la Dirección de aseo urbano dispone de dos camionetas pick up de 9.36 m³ para mantener en todo momento limpias las calles del primer cuadro de la ciudad. Los integrantes a bordo de estas camionetas son los encargados de recolectar las bolsas de basura que el personal de brigada recoge de las calles y de las más de 300 papeleras que se encuentra distribuidas en todo el Centro Histórico (Ver Figura 26).



Figura 26. Vehículos de brigada

Para la recolección de las bolsas de basura dejadas por el personal de brigada no existen rutas de recolección establecidas, únicamente existe una asignación de zonas a cada uno de los vehículos. Para ello la dirección de aseo urbano divide en dos zonas el Centro Histórico, la zona norte, la cual corresponde a la zona que se encuentra al norte de la Av. Madero, y el área restante considerada como la zona sur, como se muestra en la Figura 27.



Fuente: Dirección de Aseo Público
Figura 27. Zonas de asignación de brigadas

3.4 Estudio de tiempos y movimientos

El estudio de tiempos y movimientos se realizó en cada uno de los vehículos de recolección del Ayuntamiento que prestan servicio en el Centro Histórico de Morelia.

Durante la jornada de trabajo de cada uno de éstos se registraron el número de paradas realizadas, residuos recolectados en el trayecto y el tiempo empleado en cada una de las actividades.

En total se analizaron seis cuadrillas de recolección, las cuales realizan dos recorridos distintos al día, con excepción de la cuadrilla de brigada que cubre la zona sur en el turno matutino.

Los días 16 y 17 de Febrero del 2007, se realizó el estudio de tiempos y movimientos de los vehículos de Brigada que recolectan los residuos que se encuentran en las papeleras Centro de Morelia, así como los de los barrenderos y los residuos que son abandonados en las calles en los turnos matutino y vespertino.

Posteriormente los días 19 y 20 de abril de del 2007, se realizó el estudio de tiempos y movimientos al las cuadrillas de los vehículos de recolección domiciliar rutas 26345 y 26346, que atienden al Centro Histórico de Morelia.

3.4.1 Recolección por brigadas zona norte

En la Figura 28 se muestra el recorrido realizado por el servicio de brigada en el turno matutino en la zona norte, el tiempo empleado en la ruta de recolección fue de 5 horas y 51 minutos; de los cuales 2 horas y 30 minutos se emplean en la descarga de los residuos en el tiradero y en el vaciado de tambos y canastas; 2 horas y 44 minutos en los traslados y finalmente 36 minutos en los tiempos muertos, como se muestra en la Tabla 8.

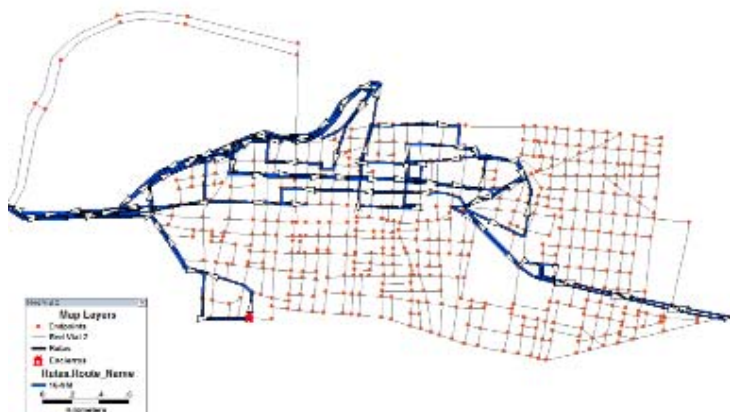


Figura 28. Brigadas zona norte turno matutino

Tabla 8. Tiempos registrados brigadas zona norte (matutino)

Tiempo de recorrido	02:44:43	Tiempo de recorrido sin recolección	02:18:10	39.34%
		Tiempo de recorrido fuera de ruta	00:26:33	7.56%
Tiempo de vaciado	02:30:10	Tiempo de vaciado de tambos y canastas	01:43:09	29.37%
		Tiempo de vaciado en el tiradero	00:47:01	13.39%
Tiempo muerto	00:36:20	Recuperación de materiales	00:00:46	0.22%
		Carga de combustible y reparaciones del vehículo	00:21:04	6.00%
		Actividades personales	00:14:30	4.13%
Total			05:51:13	100.00%

Por otra parte, se determinó que la distancia total recorrida por este vehículo fue de 48.20 km, a una velocidad promedio de 17.55 km/hr.

En la Figura 29 se muestra el recorrido realizado por el servicio de brigada en el turno vespertino en la zona norte, el tiempo empleado en la ruta de recolección fue de 5 horas y 28 minutos; de los cuales 2 horas y 12 minutos se emplean en la descarga de los residuos en el tiradero y en el vaciado de tambos y canastas; 2 horas y 32 minutos en los traslados y finalmente 42 minutos en los tiempos muertos, como se muestra en la Tabla 9.

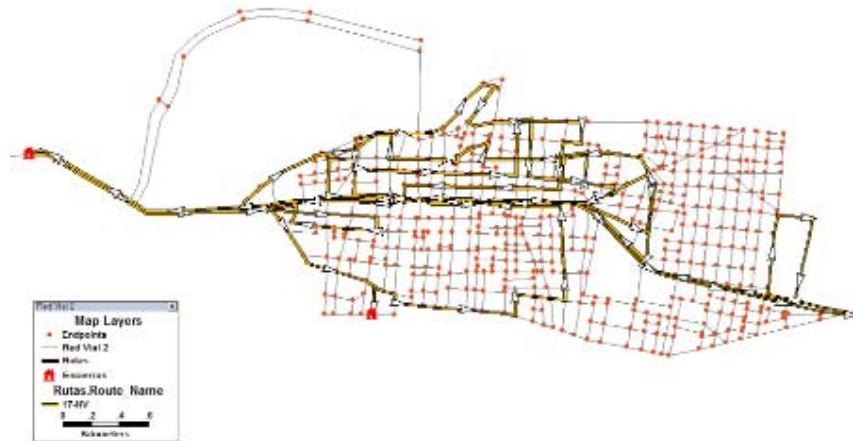


Figura 29. Brigadas zona norte turno vespertino

Tabla 9. Tiempos registrados brigadas zona norte (vespertino)

Tiempo de recorrido	02:32:33	Tiempo de recorrido sin recolección	01:54:41	34.94%
		Tiempo de recorrido fuera de ruta	00:37:52	11.54%
Tiempo de vaciado	02:12:45	Tiempo de vaciado de tambos y canastas	01:19:36	24.25%
		Tiempo de trasbordo de residuos	00:53:09	16.19%
Tiempo muerto	00:42:55	Recuperación de materiales	00:00:20	0.10%
		Carga de combustible y reparaciones del vehículo	00:02:55	0.89%
		Actividades personales	00:39:40	12.09%
Total			05:28:13	100.00%

Se determinó que la distancia total recorrida por este vehículo fue de 35 km, a una velocidad promedio de 13.77 km/hr.

En promedio se estima que el 78.85 % de los recorridos en la Zona Norte se da dentro de la ruta realizando actividades propias de la recolección, mientras que los demás tiempos se destinan, ya sea a recorridos fuera de ruta (TRFR) ó a

tiempos muertos (TM). Los tiempos dentro de las actividades propias de la recolección se distribuyen de la siguiente manera:

Tiempo de transferencia a ordo vehículo recolector de residuos (TVT):
0:50:05 Horas
Tiempo de Vaciado de Tambos y Canastas (TVTC): 1:31:22 Horas
Tiempo de Recorrido sin Recolección (TRR): 2:06:25 Horas

Como se puede ver en la Tabla 10, el método de recolección que predomina es el de acera, ya que el servicio de brigada únicamente recolecta los residuos de las papeleras o del servicio de barrido. Aunque de manera excepcional se utiliza este servicio para realizar la recolección en alguna dependencia de gobierno o en escuelas, como fue el caso del turno vespertino que realizó la recolección de residuos en una Escuela Primaria.

Tabla 10. Tipo de recolección empleada zona norte

Método de acera	Matutino (hh:mm:ss)	Vespertino (hh:mm:ss)	Promedio (hh:mm:ss)	%
Acera	01:43:09	00:58:03	01:20:36	88.21%
Parada fija	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0.00%
Intradomiciliar	00:00:00	00:21:33	00:10:47	11.79%
Total	1:43:09	1:19:36	1:31:22	100.00%

Se estima que durante una jornada de trabajo se recolectan 2,321.25 kg. de residuos en la Zona Norte del Centro de Morelia por parte del servicio de brigada.

Con base en la Tabla 11, el método de recolección que resulta ser el más eficiente es el de parada fija, ya que con este método se pueden recolectar hasta 28.58 kg/minuto.

Tabla 11. Residuos recolectados por brigadas zona norte

Vehículo	Matutino (kg)	Vespertino (kg)	Total (kg)	Matutino (hh:mm:ss)	Vespertino (hh:mm:ss)	Promedio (hh:mm:ss)	Matutino (Kg/min)	Vespertino (Kg/min)	Promedio (kg/min)
Acera	1,012.50	1,218.75	2,231.25	01:43:09	00:58:03	01:20:36	21.46	35.58	28.52
Parada Fija	0.00	0.00	0.00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0.00		0.00
Intradomiciliar	0.00	90.00	90.00	00:00:00	00:21:33	00:10:47	0.00	4.18	2.09

Total 1,012.50 1,308.75 2,321.25

3.4.2 Recolección por brigadas zona sur

En la Figura 30 se muestra el recorrido realizado por el servicio de brigada en el turno matutino en la zona sur, el tiempo empleado en la ruta de recolección fue de 5 horas y 16 minutos; de los cuales 2 horas y 18 minutos se emplean en la descarga de los residuos en el tiradero y en el vaciado de tambos y canastas; 2 horas y 51 minutos en los traslados y finalmente 7 minutos en los tiempos muertos, como se muestra en la Tabla 12.



Figura 30. Brigadas zona sur turno vespertino

Tabla 12. Tiempos registrados brigadas zona sur (vespertino)

Tiempo de recorrido	02:51:12	Tiempo de recorrido sin recolección	01:56:56	36.90%
		Tiempo de recorrido fuera de ruta	00:54:16	17.12%
Tiempo de vaciado	02:18:18	Tiempo de vaciado de tambos y canastas	01:35:57	30.28%
		Tiempo de vaciado en el tiradero	00:42:21	13.36%
Tiempo muerto	00:07:25	Recuperación de materiales	00:01:25	0.45%
		Carga de combustible y reparaciones del vehículo	00:00:00	0.00%
		Actividades personales	00:06:00	1.89%
Total			05:16:55	100.00%

Se determinó que la distancia total recorrida por este vehículo fue de 33.9 km, a una velocidad promedio de 11.88 km/hr.

En la Figura 31 se muestra el recorrido realizado por el servicio de brigada en el turno vespertino en la zona sur, el tiempo empleado en la ruta de recolección fue de 4 horas y 55 minutos; de los cuales 1 horas y 32 minutos se emplean en la descarga de los residuos en el tiradero y en el vaciado de tambos y canastas; 2 horas y 48 minutos en los traslados y finalmente 34 minutos en los tiempos muertos, como se muestra en la Tabla 13.

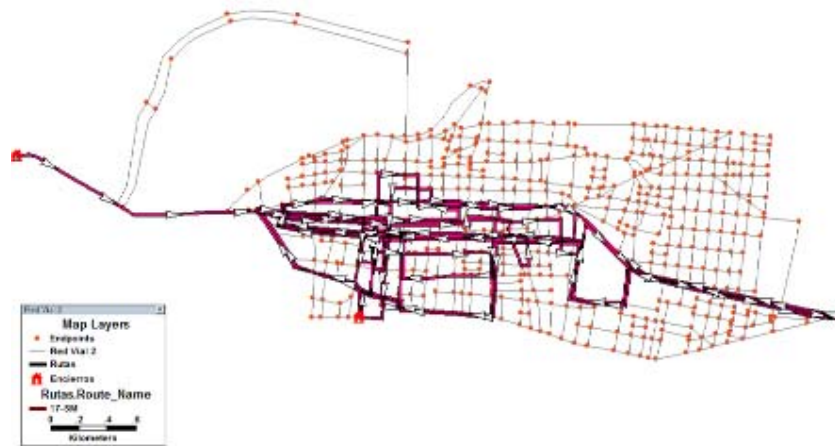


Figura 31. Brigadas zona sur turno matutino

Tabla 13. Tiempos registrados brigadas zona sur (matutino)

Tiempo de recorrido	02:48:17	Tiempo de recorrido sin recolección	02:12:42	44.98%
		Tiempo de recorrido fuera de ruta	00:35:35	12.06%
Tiempo de vaciado	01:32:10	Tiempo de vaciado de tambos y canastas	00:50:35	17.15%
		Tiempo de vaciado en el tiradero	00:41:35	14.10%
Tiempo muerto	00:34:33	Recuperación de materiales	00:00:00	0.00%
		Carga de combustible y reparaciones del vehículo	00:00:00	0.00%
		Actividades personales	00:34:33	2.40%
Total			04:55:00	100.00%

Se determinó que la distancia total recorrida por este vehículo fue de 44.4 km, a una velocidad promedio de 15.83 km/hr.

En promedio se estima que el 78.46 % de los recorridos en la Zona Sur se da dentro de la ruta realizando actividades propias de la recolección, mientras que los demás tiempos se destinan, ya sea a recorridos fuera de ruta (TRFR) ó a tiempos muertos (TM).

Los tiempos dentro de las actividades propias de la recolección se distribuyen de la siguiente manera:

Tiempo de transferencia a otro vehículo recolector de residuos (TVT):
 0:41:58 Horas
 Tiempo de Vaciado de Tambos y Canastas (TVTC): 1:13:16 Horas
 Tiempo de Recorrido sin Recolección (TRR): 2:04:46 Horas

En la Tabla 14 se puede observar que el único método de recolección que se emplea es el de acera, ya que el servicio de brigada únicamente recolecta los residuos de las papeleras o del servicio de barrio.

Tabla 14. Tipo de recolección zona sur

Método de acera	Matutino (hh:mm:ss)	Vespertino (hh:mm:ss)	Promedio (hh:mm:ss)	%
Acera	00:50:35	01:35:25	01:13:00	100.00%
Parada fija	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0.00%
Intradomiciliar	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0.00%
Total	0:50:35	1:35:25	1:13:00	100.00%

Se estima que durante una jornada de trabajo se recolectan 1,915.25 kg. de residuos en la Zona Sur del Centro de Morelia por parte del servicio de Brigada.

Como se puede ver en la Tabla 15 el método de recolección que resulta ser el más eficiente es el de parada fija, ya que con este método se pueden recolectar hasta 29.18 kg/min.

Tabla 15. Residuos recolectados brigadas zona sur

Método	Recolección								
	Matutino (kg)	Vespertino (kg)	Total (kg)	Matutino (hh:mm:ss)	Vespertino (hh:mm:ss)	Promedio (hh:mm:ss)	Matutino (Kg/min)	Vespertino (Kg/min)	Promedio (kg/min)
Acera	671.25	1,243.75	1,915.00	00:50:35	01:35:25	01:13:00	28.51	29.85	29.18
Parda Fija	0.00	0.00	0.00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0.00	0.00	0.00
Intradomiciliar	0.00	0.00	0.00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0.00	0.00	0.00
Total	671.25	1,243.75	1,915.00						

3.4.3 Recolección domiciliar 26345

En la Figura 32 se muestra el recorrido realizado por el vehículo de recolección domiciliar 26345. El tiempo empleado en la ruta de recolección fue de 6 horas y 37 minutos, de los cuales 2 horas y 42 minutos se emplean en la descarga de los residuos en el tiradero y en el vaciado de tambos y canastas; tres horas y 42 minutos en los traslados y finalmente 12 minutos en los tiempos muertos.



Figura 32. Ruta domiciliar 26345

Se determinó que la distancia total recorrida por este vehículo fue de 55.90 km, a una velocidad promedio de 15.07 km/hr.

Tabla 16. Tiempos registrados 26345

Tiempo de recorrido	3:42:33	Tiempo de recorrido sin recolección	1:00:57	15.33%
		Tiempo de recorrido fuera de ruta	2:41:36	40.65%
Tiempo de vaciado	2:42:22	Tiempo de vaciado de tambos y canastas	2:21:42	35.64%
		Tiempo de vaciado en el tiradero	0:20:30	5.16%
Tiempo muerto	0:12:49	Recuperación de materiales	0:00:10	0.04%
		Carga de combustible y reparaciones del vehículo	0:00:00	0.00%
		Actividades personales	0:12:39	3.18%
Total			6:37:34	100.00%

En la Tabla 16 se puede observar que el 56.13 % del recorrido se da dentro de la ruta realizando actividades propias de la recolección, mientras que los demás tiempos se destinan, ya sea a recorridos fuera de ruta (TRFR) ó a tiempos muertos (TM).

Los tiempos dentro de las actividades propias de la recolección se distribuyen de la siguiente manera:

Tiempo de Vaciado en el Tiradero (TVT): 0:20:30 Horas
 Tiempo de Vaciado de Tambos y Canastas (TVTC): 2:21:42 Horas
 Tiempo de Recorrido sin Recolección (TRR): 1:00:57 Horas

En cuanto al método de recolección más utilizado es el de parada fija con el 43.48%, mientras que el método de esquina abarca el 29.64% y el menos utilizado es el intradomiciliar con el 26.88%.

Tabla 17. Tipo de recolección empleada 26345

Método de acera	(hh:mm:ss)	%
Acera	0:42:00	29.64%
Parada fija	1:01:37	43.48%
Intradomiciliar	0:38:05	26.88%
Total	2:21:42	100.00%

Durante la jornada de trabajo analizada se estima que se recolectaron 1,601.25 kg. Aunque el método de recolección de acera no fue al que se le dedicó más tiempo, fue mediante con el que más residuos se recolectaron, con 678.75 kg, casi los mismos 615 kg. que los recolectados por el método de parada fija al cual se le dedicó un 50% más que el tiempo empleado en el método de acera.

Con base en la Tabla 18 se asume que de los métodos de recolección empleados en el Centro de Morelia, el que resulta ser más eficiente es el de acera, ya que con este método se pueden recolectar hasta 28.07 kg/minutos.

Tabla 18. Residuos recolectados 26345

Método	Recolección		
	(kg)	(hh:mm:ss)	(kg/min)
Acera	678.75	0:42:00	28.07
Parada Fija	615.00	1:01:37	10.06
Intradomiciliar	307.50	0:38:05	11.09
Total	1,601.25	2:21:42	16.41

3.4.4 Recolección domiciliar 26346

En la Figura 33 se muestra el recorrido realizado por el vehículo de recolección domiciliar 26346, el tiempo empleado en la ruta de recolección fue de 5 horas y 53 minutos; de los cuales 1 hora y 56 minutos se emplean en la descarga de los residuos en el tiradero y en el vaciado de tambos y canastas; 2 horas y 47 minutos en los traslados y finalmente 1 hora y 9 minutos en los tiempos muertos.



Figura 33. Ruta domiciliar 26346

Se determinó que la distancia total recorrida por este vehículo fue de 53.3 km, a una velocidad promedio de 19.14 km/hr.

Tabla 19. Tiempos registrados 26346

Tiempo de recorrido	02:47:06	Tiempo de recorrido sin recolección	01:42:28	29.01%
		Tiempo de recorrido fuera de ruta	01:04:38	18.30%
Tiempo de vaciado	01:56:50	Tiempo de vaciado de tambos y canastas	01:46:36	30.18%
		Tiempo de vaciado en el tiradero	00:10:14	2.90%
Tiempo muerto	01:09:18	Recuperación de materiales	00:28:06	7.96%
		Carga de combustible y reparaciones del vehículo	00:37:39	10.66%
		Actividades personales	00:03:33	1.01%
Total			05:53:14	100.00%

En la Tabla 19 se puede observar que el 62.08 % del recorrido se da dentro de la ruta realizando actividades propias de la recolección, mientras que los demás tiempos se destinan, ya sea a recorridos fuera de ruta (TRFR) ó a tiempos muertos (TM).

Los tiempos dentro de las actividades propias de la recolección se distribuyen de la siguiente manera:

Tiempo de Vaciado en el Tiradero (TVT): 0:10:14 Horas
 Tiempo de Vaciado de Tambos y Canastas (TVTC): 1:46:36 Horas
 Tiempo de Recorrido sin Recolección (TRR): 1:42:28 Horas

En cuanto al método de recolección más utilizado es el intradomiciliar con el 50.75%, ya que la mayoría de los residuos recolectados provienen de

dependencias de gobierno, en la cuales los trabajadores de recolección deben de entrar al inmueble para retirar los residuos, mientras que el método de acera abarca el 36.09% y el menos utilizado es el de parada fija con el 13.16% (Ver Tabla20).

Tabla 20. Tipo de recolección empleada 26346

Método de acera	(hh:mm:ss)	%
Acera	00:38:28	36.09%
Parada fija	00:14:02	13.16%
Intradomiciliar	00:54:06	50.75%
Total	1:46:36	100.00%

Durante la jornada de trabajo analizada se estima que se recolectaron 1,050 kg., aunque el método de recolección de parada fija no fue al que se le dedico más tiempo fue mediante el cual más residuos se recolectaron con 412.50 kg, más que los 330 kg. que los recolectados por el método intradomiciliar al que se le dedicó más tiempo.

Como se puede ver en la Tabla 21 de los métodos de recolección empleados en la ruta analizada, el que resulta ser más eficiente es el de parada fija, ya que con este método se pueden recolectar hasta 31.84 kg/min.

Tabla 21. Residuos recolectados 26346

Método	Recolección		
	(kg)	(hh:mm:ss)	(kg/min)
Acera	307.50	00:35:02	20.17
Parda Fija	412.50	00:18:50	31.84
Intradomicilar	330.00	00:45:55	6.58
Total	1,050.00	01:39:47	

3.5 Análisis de resultados del estudio de tiempos y movimientos

En la Tabla 22 se muestra el conglomerado de los tiempos realizados por los vehículos de recolección a cargo del ayuntamiento que prestan sus servicios en el Centro de Morelia.

Como se puede ver en la Tabla 22, el tiempo promedio de recorrido es de cinco horas y cuarenta minutos del cual el 51% se dedica a los recorridos mientras que el vaciado de tambos y canastas o bien la descarga del vehículo de recolección en el tiradero o estación de transferencia representa el 39%; finalmente los tiempos muertos en promedio representan solo el 10%.

Tabla 22. Resumen de tiempos registrados

Rutas		Id.	Tiempo Total Min	Tiempo de Recorrido %	Tiempo de Vaciado %	Tiempo Muerto %
Recolección por Brigada	Brigada norte matutino	16-NM	05:51:13	46.90%	42.76%	10.34%
	Brigada norte vespertino	17-NV	05:28:13	46.48%	40.45%	13.08%
	Brigada sur vespertino	16-SV	05:16:55	54.07%	43.59%	2.34%
	Brigada sur matutino	17-SM	04:55:00	57.05%	31.24%	11.71%
Recolección Domiciliar	Domiciliar 26345	26345	06:37:34	55.98%	40.80%	3.22%
	Domiciliar 26346	26346	05:53:14	47.31%	33.08%	19.62%
Total			05:40:22	51.25%	38.79%	9.96%

3.5.1 Tiempo de recorrido

Los tiempos de recorrido representan en promedio el 51% del tiempo total de la jornada de recolección. Como se puede ver en la Tabla 23, en este rubro no existen diferencias significativas entre las distintas rutas analizadas, si consideramos el porcentaje del tiempo empleado en esta actividad. Sin embargo, si lo que se toma en cuenta es el tiempo total empleado, vemos una clara diferencia en el vehículo de recolección que cubre la ruta domiciliar 26345, que empleó una hora más en esta actividad, ya que fue el único que realizó dos viajes al tiradero municipal.

Tabla 23. Resumen de tiempos de recorrido por viaje

Rutas		Id.	Tiempo de Recorrido	
			(hh:mm:ss)	%
Recolección por Brigada	Brigada norte matutino	16-NM	02:44:43	46.90%
	Brigada norte vespertino	17-NV	02:32:33	46.48%
	Brigada sur vespertino	16-SV	02:51:22	54.07%
	Brigada sur matutino	17-SM	02:48:17	57.05%
Recolección Domiciliar	Domiciliar 26345	26345	03:42:33	55.98%
	Domiciliar 26346	26346	02:47:06	47.31%
Total			02:54:26	51.25%

Como se mencionó en el capítulo anterior, los tiempos de recorrido se clasifican en tiempos de recorrido sin recolección y fuera de ruta. i realizamos un análisis de estos tiempos se observa que el recorrido sin recolección, es decir, el que se emplea para ir de un punto a otro de servicio, en los vehículos de brigada que no tiene ruta fija es significativamente mayor en proporción a los de recolección domiciliar que si tienen una ruta fija, como se puede ver en la Tabla 24 los vehículos de brigada emplean cerca del 45% en los tiempos de recorrido mientras que los de recolección domiciliar emplean menos del 27% en esta actividad.

Tabla 24. Resumen de tiempos de recorrido sin recolección y fuera de ruta.

Ruta		Tiempo de recorrido			
		Id	Total	Sin recolección	Fuera de ruta
			(hh:mm:ss)	(%)	(%)
Recolección Brigada	Brigada norte matutino	16-NM	02:44:43	75.99%	24.01%
	Brigada norte vespertino	17-NV	02:32:33	80.74%	19.26%
	Brigada sur vespertino	16-SV	02:51:22	71.23%	28.77%
	Brigada sur matutino	17-SV	02:48:17	78.86%	21.14%
Recolección Domiciliar	Promedio		02:44:14	39.17%	76.61%
	Domiciliar 26345	26345	03:42:33	43.05%	56.95%
	Domiciliar 26346	26346	02:47:06	61.32%	38.68%
	Promedio		03:14:50	26.55%	51.42%

3.5.2 Tiempos de vaciado

En cuanto a los tiempos de vaciado, en la Tabla 25 se muestra que tanto los vehículos de brigada como los de recolección doméstica destinan a esta actividad un promedio de 2 horas, sin que existan diferencias significativas entre las distintas rutas.

Mientras que si analizamos el tiempo que se destina al vaciado de tambos y canastas, y el del vaciado del vehículo, existe una diferencia significativa en el servicio de recolección domiciliar y el brigada, ya que los primeros destinan más de un 45.12% del tiempo de carga y descarga del vehículo en el vaciado ya que al no tener contar con quipo de compactación realizan la descarga de forma manual, mientras que los de recolección domiciliar destinan solo el 10.9%.

Tabla 25. Tiempos de vaciado

Ruta		Tiempo de Vaciado			
		Id	Total	Tambos y Canastas	Tiradero y/o Transferencia
			(hh:mm:ss)	(%)	(%)
Recolección Brigada	Brigada norte matutino	16-NM	02:30:10	68.91%	31.09%
	Brigada norte vespertino	17-NV	02:12:45	59.96%	40.04%
	Brigada sur vespertino	16-SV	02:18:08	69.23%	30.77%
	Brigada sur matutino	17-SV	01:32:10	54.88%	45.12%
Recolección Domiciliar	Promedio		02:08:18	63.94%	36.06%
	Domiciliar 26345	26345	02:42:12	87.36%	12.64%
	Domiciliar 26346	26346	01:56:50	91.24%	8.76%
	Promedio		02:04:53	89.10%	10.90%

3.5.3 Tiempos muertos

Como se mencionó anteriormente, el tiempo muerto representa en promedio un 10% de jornada de trabajo; los vehículos de brigada registran un promedio de 30 minutos mientras que los de recolección domiciliar 40 minutos.

En los vehículos de brigada tiempos muertos más altos, corresponden a las actividades personales las cuales representan cerca del 80%, siendo éste el tiempo que dedican los empleados de recolección al desayuno o comida, el cual siempre estuvo por arriba de los quince minutos.

Mientras que en los vehículos de recolección domiciliar el mayor tiempo muerto corresponde en primera instancia a las reparaciones de los vehículos, ya que uno de ellos sufrió un avería que tardó en repararse cerca de 30 minutos, seguido de la recuperación de materiales, ya que en las rutas de recolección domiciliar se realizó al menos una parada para recuperar cartón y posteriormente venderlo en los centros de acopio que están camino al relleno sanitario (Ver Tabla 26).

Tabla 26. Tiempos muertos

Ruta	Tiempo muerto
------	---------------

		Id	Total (hh:mm:ss)	Recuperación de materiales (%)	Reparaciones o recarga de combustible (%)	Actividades Personales (%)
Recolección Brigada	Brigada norte matutino	16-NM	00:36:20	2.11%	57.98%	39.91%
	Brigada norte vespertino	17-NV	00:42:55	0.78%	6.80%	92.43%
	Brigada sur vespertino	16-SV	00:07:25	19.10%	0.00%	80.90%
	Brigada sur matutino	17-SV	00:34:33	0.00%	0.00%	100.00%
Promedio			00:30:18	2.05%	18.38%	79.58%
Recolección Domiciliar	Domiciliar 26345	26345	00:12:49	1.30%	0.00%	98.70%
	Domiciliar 26346	26346	01:09:18	40.55%	54.33%	5.12%
	Promedio			00:41:04	35.01%	46.66%

3.5.4 Tasas de recolección

De los estudios de tiempos y movimientos se observó que dentro de las rutas de recolección por brigada predomina la recolección de acera, mientras que en la de recolección doméstica se emplean de manera equilibrada los métodos de recolección existentes.

En cuanto a la eficiencia de los métodos de recolección podemos ver que el que resulta ser más efectivo es el de acera, como se mencionó anteriormente, en este método de recolección los usuarios dejan sus residuos sobre la acera para que al paso del camión los empelados de forma ininterrumpida vayan recolectado los residuos, en el caso de los vehículos de brigada se recolectan los residuos que se encuentran en las papeleras de las aceras como los que dejan los empleados de barrido y algunos habitantes que de forma clandestina depositan residuos domésticos en las papeleras y/o esquinas. Mientras que en el caso de los vehículos de recolección domiciliar el método de acera se emplea cuando estos atienden las zonas habitacionales, en los que los habitantes al oír la campana dejan sus residuos sobre la acera para que estos se recolectados por el personal de limpia.

Por otra parte en cuanto a los métodos de recolección de parada fija e intra domiciliar éstos se emplean cuando se atiende a oficinas, dependencias de gobierno, escuelas y casa de estudiantes, donde se genera una cantidad considerable de residuos por lo general en estos puntos se utilizan como almacenamiento temporal tambos de 100 y 200 Lts.

Los puntos en que se emplea el método intra domiciliar es debido tanto a la cantidad de los residuos como a la poca participación de los usuarios, ya que en este método los empleados de recolección entran al domicilio por los contenedores

y depositan los residuos en los vehículos regresando después a dejar los contenedores siendo este el método más lento y el de la tasa de recolección más baja.

Como se puede ver en la Tabla 27 cuando predomina la aplicación del método de recolección intra domiciliar la tasa de recolección aumenta, por lo cual se recomienda emplear el método de recolección por acera o contenedores en los que se tenga una mayor participación de los usuarios.

Tabla 27. Tasa de recolección medida

Rutas	Id.	Residuos Recolectado en cada punto				Tiempo Método		
						Acera	Parada Fija	Intra domiciliar
		Lt	kg/Lt	Kg	kg/min	kg/min	kg/min	kg/min
Brigada norte matutino	16-NM	6,750	0.15	1,012.50	15.86	15.86	0.00	0.00
Brigada norte vespertino	17-NV	9,125	0.15	1,258.75	21.79	21.79	0.00	0.00
Brigada sur vespertino	16-SV	4,475	0.15	671.25	26.21	26.52	0.00	0.00
Brigada sur matutino	17-SV	8,725	0.15	1,308.75	30.95	31.12	0.00	4.18
Promedio		7,268.75	0.15	1,062.81	23.70	23.82	0.00	1.04
Domiciliar 26345	26345	10,675.	0.15	1,601.25	22.48	28.07	13.08	9.70
Domiciliar 26346	26346	7,000	0.15	1,050.00	18.61	20.67	23.54	8.24
Promedio		8,837.50	0.15	1,325.63	20.55	24.37	18.31	8.97

3.6 Indicadores de Desempeño

3.6.1 Indicadores de Cobertura

3.6.1.1 Áreas atendidas

En la Figura 34 se muestran las distintas fuentes de generación que son cubiertas por el servicio de recolección a cargo del ayuntamiento, el cual abarca la mayor parte del primer cuadro de la ciudad y la zona comercial; y en segundo término la zona habitacional que es la de menor cobertura, ya que se tiene un gran número de calles sin atender.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34. Áreas cubiertas por el servicio de recolección

3.6.1.2 Residuos recolectados

El servicio de recolección a cargo del Ayuntamiento únicamente recolecta 4,251 kg a través del servicio de brigada y 2,651 kg mediante la recolección domiciliar que en conjunto representan 6,902 kilogramos al día que son tan solo el 20% de los residuos que se generan en el Centro Histórico de Morelia.

La principal razón de esta baja cobertura se debe al limitado horario de trabajo en el caso de los vehículos de recolección domiciliar, ya que únicamente prestan el servicio de 6 de la mañana a 10 de la mañana, reduciendo en un 50% las jornadas de trabajo y contraponiéndose con las necesidades de los usuarios, debido a que éste es el horario de menor aceptación por parte de los usuarios. Por lo que como se puede ver en la Tabla 8, el servicio de mayor participación en el Centro de Morelia es el de las brigadas especiales las cuales carecen de ruta de recolección, ya que recolectan un 61% más que el servicio de recolección domiciliar.

Tabla 28. Residuos recolectados

Servicio de brigada	Residuos Recolectados kg	Recolección domiciliar	Residuos Recolectados kg
16-NM	1,012	26345	1,601
16-SV	1,259	26346	1,050
17-NV	1,309		
17-SM	671		
Total	4,251		2,651

Finalmente se puede decir que los vehículos realizan los viajes muy por debajo de su máxima capacidad de carga (en condiciones óptimas del equipo) que para los vehículos de brigada es 3,500 kg y para los de recolección domiciliar es de 2,700 kg.

3.6.2 Indicadores de Eficiencia

La obtención de indicadores de eficiencia tiene como objetivo evaluar bajo un mismo criterio la forma en la que el servicio de recolección se presta en el Centro Histórico de la Ciudad de Morelia.

3.6.2.1 Indicadores de Eficiencia del Personal

El indicador de eficiencia de los trabajadores sirve para evaluar el desempeño de los trabajadores contra estándares nacionales o internacionales, las referencias que se tomaron en cuenta en este parámetro es lo expuesto por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para América Latina, la cual propone un valor de 2 a 5 toneladas recolectadas por trabajador de recolección por jornada.

En la tabla 29 se observa la eficiencia promedio de los trabajadores de recolección por brigada corresponde a 0.45 toneladas por jornada de trabajador, mientras que los de recolección domiciliar alcanza un rendimiento promedio de 0.53 toneladas por jornada por trabajador. Estas cantidades son sumamente bajas en comparación con el parámetro establecido por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para América Latina.

Tabla 29. Eficiencia de los Trabajadores de Recolección

Ruta		Id	Recolección Ton/jornada	Trabajadores	Eficiencia de los Trabajadores Ton/jornada*Trabajador
Recolección Brigada	Brigada norte matutino	16-NM	1.01	2	0.51
	Brigada norte vespertino	17-NV	1.26	3	0.42
	Brigada sur vespertino	16-SV	1.31	3	0.44
	Brigada sur matutino	17-SV	0.67	2	0.34
Recolección Domiciliar	Promedio		1.06	2.50	0.42
	Domiciliar 26345	26345	1.60	3	0.53
	Domiciliar 26346	26346	1.05	2	0.53
	Promedio		1.33	2.50	0.53

3.6.2.2 Indicadores de Eficiencia en la Ocupación de los Equipos

Este indicador nos sirve para evaluar el desempeño de los vehículos en relación a la máxima capacidad de recolección de éstos. La eficiencia se estima como el cociente de la recolección promedio por viaje de cada uno de los vehículos entre su capacidad máxima.

Como se puede ver en la tabla 30 para cada uno de los distintos tipos de vehículos de recolección se determinó la máxima capacidad de recolección, para lo cual se consideró el volumen de cada uno de los contenedores y en el caso de los vehículos sin equipo de compactación se consideró un peso volumétrico de los residuos en el interior de éstos de 200 kg/m^3 mientras que para los vehículos con equipo de compactación se consideró de 350 kg/m^3 .

De este análisis se determinó que la eficiencia en la ocupación para cada uno de los distintos tipos de vehículos de recolección con los que cuenta el municipio: las camionetas de redilas de 57%, y los compactadores con un 45%, resultando con estos que los vehículos estén siendo subutilizados en al menos un 40% de sus capacidad, y siendo el caso más crítico el de los compactadores, en muchos se cree debido al mal funcionamiento de los equipos de compactación, el análisis realizado revela que la eficiencia de estos vehículos son muy bajas.

Tabla 30 Eficiencia en la Ocupación

Ruta		Id	Viajes	Recolectión kg/viaje	PV Max kg/m3	Capacidad m3	Capacidad Máxima kg	Eficiencia en la Ocupación (%)
Recolección Brigada	Brigada norte matutino	16-NM	Primero	1,012.00	200	9.36	1,872.00	54.06
	Brigada norte vespertino	17-NV	Primero	1,259.00	200	9.36	1,872.00	67.25
	Brigada sur vespertino	16-SV	Primero	1,309.00	200	9.36	1,872.00	69.93
	Brigada sur matutino	17-SV	Primero	671.00	200	9.36	1,872.00	35.84
Recolección Domiciliar	Promedio			1,062.75	200	9.36	1,872.00	56.77
	Domiciliar 26345	26345	Primero	1,308.50	300	6.55	1,965.00	66.59
			Segundo	292.50	300	6.50	1,950.00	15.00
	Domiciliar 26346	26346	Primero	1,050.00	300	6.55	1,965.00	53.44
	Promedio			884	300	7	1,960.00	45.09

3.6.2.3 Costo Unitario de la Recolección

Para poder evaluar el desempeño de los vehículos de recolección se calcula el costo unitario de la recolección \$/tonelada, para determinar este se dividió el promedio de toneladas recolectadas por jornada entre el costo promedio diario del servicio,.

Para determinar los costos del servicio de recolección de los residuos sólidos se tomaron en cuenta el costo del personal asignado a los vehículos y como los consumo en combustible, aceite y el mantenimiento, y depreciación del equipo.

En el caso del costo del personal para cada tipo de trabajador se determinó el correspondiente factor de salario real. Para ello se consideró un sueldo diario promedio por tipo de trabajador y en cuanto a las prestaciones se consideraron las establecidas por la Ley Federal de los Trabajadores al Servicio del Estado (Tabla 31). En el Anexo 1 se incluye el formato de cómo se calculó cada uno de los factores de salario real.

Tabla 31. Salario del Personal de Recolección

Puesto	Salario Diario Promedio	FSR	Salario real diario	Salario real hora
Chofer	\$116.76	\$1.82	\$213.00	\$26.57
Auxiliar	\$66.75	\$1.88	\$125.26	\$15.60

Fuente: Dirección de Aseo Público.

Para determinar los costos horarios de los vehículos de recolección que prestan sus servicios en el Centro Histórico de Morelia, se investigó el costo y los consumos de vehículos nuevos del mismo tipo.

Para el caso de los vehículos de brigada se consideraron los consumos en combustible, aceites y neumáticos de una camioneta de 3.5 Ton modelo F-350, los cuales se muestran en la Tabla 32.a, se estima que el costo de estos vehículos es de 200 mil pesos y que tiene una vida útil del 5 años en los cuales se pierde el 60% de su valor, se asume que durante este periodo de tiempo se gasta un 40% del valor del vehículo en mantenimiento y que el costo anula del seguro es de un 5%. Así el costo horario de este vehículo asciende a \$109.19 pesos por hora.

Tabla 32a. Consumos horarios por Vehículo de Recolección de Brigada

Costo Horario Ford F-350					
Combustible		HP	L/hr	\$/l	\$/Hora
		110.00	11.00	\$7.33	\$80.63
Aceite		Hr	Lts	\$/lts	\$/Hora
		500.00	5.70	\$32.41	\$0.37
Llantas 6	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$7,200.00	1.00	52.00	40.00	\$3.46
Depreciación 60%	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$120,000.00	5.00	52.00	40.00	\$11.54
Seguro 5%	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$10,000.00	1.00	52.00	40.00	\$4.81
Mantenimiento 40%	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$80,000.00	5.00	52.00	40.00	\$7.69
Llantas 6	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$7,200.00	5.00	52.00	40.00	\$0.69
Total					\$109.19

Lo mismo que se realizó para determinar el costo horario de los vehículos de brigada se hizo para los recolección domiciliar, sólo que se consideró que éste era un compactador de 3.5 Ton marca Chevrolet S-350, cuyo costo aproximado es de 320 mil pesos. Como se muestra en la Tabla 32b, el costo horario de este vehículo asciende a \$128.86 pesos por hora.

Tabla 32b. Consumos horarios por Vehículo de Recolección de Brigada

Costo Horario Chevrolet					
Combustible		HP	L/hr	\$/l	\$/Hora
		110.00	11.00	\$7.33	\$80.63
Aceite		Hr	Lts	\$/lts	\$/Hora
		500.00	6.00	\$32.41	\$0.39
Llantas 6	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$7,200.00	1.00	52.00	40.00	\$3.46
Depreciación 60%	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$210,000.00	5.00	52.00	40.00	\$20.19
Seguro 5%	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$17,500.00	1.00	52.00	40.00	\$8.41
Mantenimiento 40%	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$140,000.00	5.00	52.00	40.00	\$13.46
Llantas 6	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$9,600.00	2.00	52.00	40.00	\$2.31
Total					\$128.86

En la Tabla 33 se muestran los costos promedio por tonelada recolectada que se tienen tanto para los vehículos de brigada como para los de recolección domiciliar, que son de \$1,026.04 y \$941.33 respectivamente, los cuales se consideran muy altos si tomamos en cuenta lo propuesto por la OMS que sugiere un costo promedio por tonelada de \$10 dólares para América Latina. Recordemos que en este costo no se tomaron en cuenta los costos indirectos, los que aumentarían el costo por tonelada.

Tabla 33. Costo por Tonelada Recolectada

Servicio de Recolección	Choferes		Ayudantes		Operación Vehículo		Total	Recolección	Costo Unitario
	\$/Jor.	#	\$/Jor.	#	\$/Hr.	Hr./Jor.	\$/Jor.	Ton/Jor.	\$/Ton
Brigada	\$116.76	1	\$66.75	1.5	\$ 109.19	8	\$1,090.42	1.06	\$1,026.04
Domiciliar	\$116.76	1	\$66.75	1.5	\$ 128.86	8	\$1,247.73	1.33	\$941.33

Para evaluar el impacto que tendría el diseño de rutas en costo, se calcularon para los dos distintos tipos de servicio de recolección, los costos horarios, el cual se estimó que es de \$136.30 y \$155.97 pesos por hora.

Tabla 34a Costo Horario

Servicio de Recolección	Costo Total		
	\$/Jor.	Hr./Jor.	\$/Hr.
Brigada	\$1,090.42	8	\$136.30
Domiciliar	\$1,247.73	8	\$155.97

4 Diseño de rutas

4.1 Bases para el diseño

El objetivo en el diseño de las rutas de recolección, es minimizar el tiempo que se emplea, para que con ello se reduzcan los costos de la recolección y se pueda aumentar la cobertura del servicio al tener mayor disponibilidad de los vehículos.

Para ello se deberán de reducir tanto los tiempos de recorrido como los de vaciado y en la medida de lo posible eliminar los tiempos muertos.

En cuanto a la reducción de los tiempos de recorrido, en primera instancia se buscará encontrar la ruta más corta en tiempo, en dos alternativas distintas, en horario diurno en el cual se utilizarán las velocidades promedio registradas en campo y en el horario nocturno donde se considera la velocidad de operación la cual se determinó de estudios anteriores recorriendo todas y cada una de las vialidades de la zona de estudio leyendo el velocímetro del automóvil (Saavedra,2002).

En cuanto al tiempo de vaciado se tomarán estrategias distintas dependiendo del servicio de recolección que se esté analizando. Para la recolección por brigada en la cual el único método de recolección que se puede emplear es el de acera, se consideran dos alternativas distintas, una realizando la transferencia en la Dirección de Aseo Público como actualmente se realiza y otro depositando los residuos en el tiradero municipal. Mientras que para la recolección por brigada se debe de considerar una alternativa en el cual los vehículos emplean el método de recolección registrado en el estudio de tiempos y movimientos y otro en el cual se emplean contenedores.

En cuanto a los equipos de recolección, del estudio de tiempos y movimientos se determinó que los vehículos se utilizan muy por debajo de su capacidad máxima de carga, los de brigada debido a que carecen de equipo de compactación y los de recolección domiciliar debido al mal estado en que se encuentran.

En las rutas en las que la descarga no se realice de forma manual, se propone utilizar vehículos compactadores de carga trasera de 6.1 m^3 y una capacidad de compactación máxima de 475 kg/m^3 , con lo cual cada uno de estos vehículos pueden transportar hasta $2,900 \text{ kg}$ por viaje, se eligió este tipo de vehículo, ya que debido a lo estrecho de las calles del centro y al alto volumen de tráfico que existe durante el día, sería muy difícil operar un vehículo de mayores dimensiones, además de que a este tipo de vehículos se les puede adaptar un equipo hidráulico para descargar los contenedores mecánicamente (Ver Figura 35).



Fuente: New Way Trucks, 2008.

Figura 35. Vehículos de recolección con levanta contenedores.

Para determinar el costo horario de un equipo de estas características se emplearon los datos de esta caja compactador montada sobre un chasis Volkswagen Worker 8-150 E con una capacidad de carga máxima de 6 Ton.

En la Tabla 34b se muestra el costo horario de un vehículo de estas características operando en el Centro de Morelia.

Tabla 34b Costo Horario

Compactador					
Combustible		HP	L/hr	\$/l	\$/Hora
		150.00	16.25	\$7.33	\$119.08
Aceite		Hr	Lts	\$/lts	\$/Hora
		500.00	6.00	\$32.41	\$0.39
Llantas 6	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$18,000.00	2.00	52.00	40.00	\$4.33
Depreciación 60%	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$480,000.00	5.00	52.00	40.00	\$46.15
Seguro 5%	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$40,000.00	1.00	52.00	40.00	\$19.23
Mantenimiento 40%	Precio	Años	Semanas	Horas	\$/Hora
	\$320,000.00	5.00	52.00	40.00	\$30.77
Chofer 1	Precio	FSR	\$/Jor	Hora/Jor	\$/Hora
	\$116.76	1.82	212.50	8.00	\$26.56
Ayudantes 1.5	Precio	FSR	\$/Jor	Hora/Jor	\$/Hora
	\$66.75	1.88	125.49	8.00	\$15.69
					\$246.51

4.2 Construcción de escenarios

Así para cada una de las rutas analizadas se podrían considerar cuatro escenarios distintos, considerando tanto el horario de recolección como el método empleado, minimizando el tiempo de recorrido a través del algoritmo del agente viajero (Ver figura 36 y 37).

A continuación se muestran los escenarios para el análisis de los vehículos de brigada, se consideran como alternativas el horario de recolección ya sea diurno o nocturno, y para cada horario se considera realizar la transferencia en la Dirección de Aseo Público o depositar los residuos en el Tiradero Municipal.

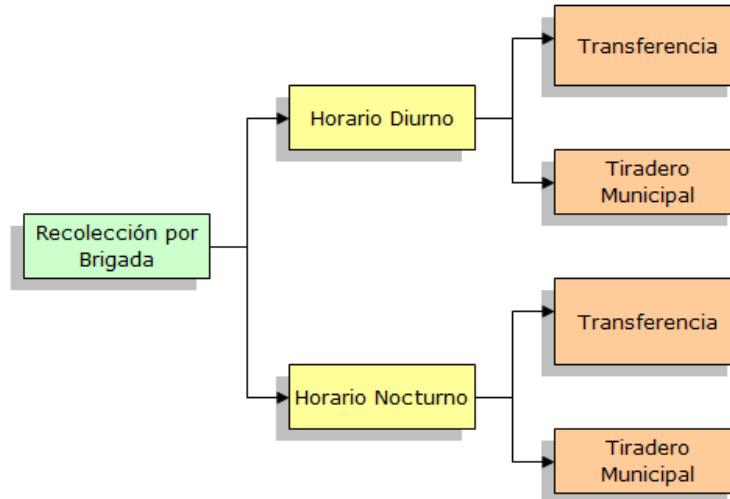


Figura 36. Escenario vehículos de brigada

Mientras que para los vehículos de recolección domiciliar se consideran como alternativas el horario de recolección ya sea diurno o nocturno, y para cada horario la recolección con el método que se emplea actualmente o utilizando contenedores, como se muestra en la Figura 37.

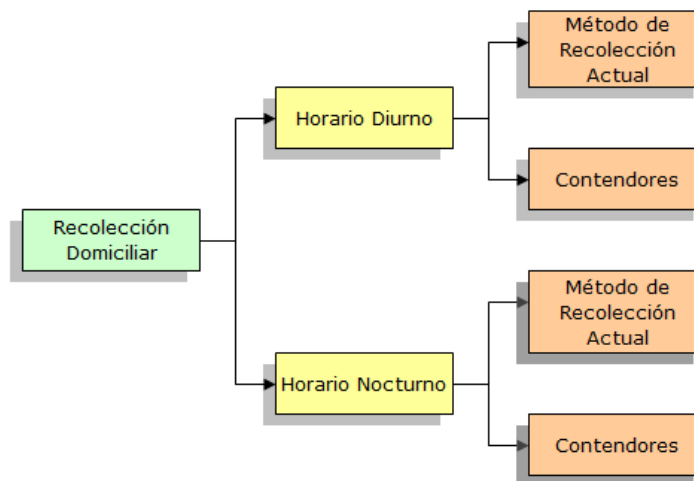


Figura 37. Escenario vehículos de recolección domiciliar

4.2.1 Horario diurno

El escenario en el horario diurno va desde las 6 AM a las 8 PM y corresponde tanto a los vehículos que trabajan en el horario matutino y vespertino, para este escenario se consideró que la velocidad promedio en las vialidades principales es la registrada durante el estudio de tiempos y movimientos ya que se considera que existe congestión vial debido al volumen de tráfico, en las demás vialidades donde no existe congestión se considera la velocidad de operación la cual se determinó de estudios anteriores recorriendo todas y cada una de las vialidades de Centro de Morelia leyendo el velocímetro del automóvil (Saavedra,2002).

En la Figura 38 se muestran en color amarillo las vialidades principales del Centro de Morelia.

Mientras que en la tabla 35 se muestran el nombre de éstas y la velocidad promedio registrada durante el estudio de tiempos y movimientos en cada una de ellas, los mayores conflictos viales se presentan en las calles que desembocan al primer cuadro de la ciudad y en especial en las calles con dirección sur-norte o norte-sur que es donde se registran las velocidades más bajas.



Fuente: Guía Roji, 2007.

Figura 38. Vialidades del Centro de Morelia.

Tabla 35 Velocidad promedio en vialidades principales del centro

	Nombre de la calle	Dirección		Velocidad promedio
				km/hr.
Vialidades Primarias	Héroes de Nocupétaro	O-P	P-O	21.00
	Plan de Ayala	O-P		10.00
	Francisco I. Madero Poniente	O-P	P-O	4.00
	Francisco I. Madero Oriente	O-P	P-O	11.00
	Av. Acueducto	O-P	P-O	15.00
	Av. Lázaro Cárdenas	O-P	P-O	8.00
	Manuel Muñiz	O-P	P-O	13.00
	José Mariano Michelena	O-P	P-O	16.00
	Cuautla	S-N		16.00
	Vicente Riva Palacio	S-N		7.00
	Galena		N-S	5.00
	Morelos Norte		N-S	4.00
	Morelos Sur		N-S	3.00
	Virrey Antonio de Mendoza	S-N		4.00
	Álvaro Obregón	S-N		4.00
	Héroes de Nacozari	S-N		11.00
	Ventura Puente	S-N	N-S	12.00
	Av. Tata Vasco	S-N	N-S	13.00

En la Figura 39 se muestran las vialidades primarias con las velocidades determinadas en campo y la velocidad de operación con las vialidades secundarias, como se puede ver en esta figura la zona más conflictiva es la de las calles que desembocan al primer cuadro de la ciudad, y las avenidas de la periferia del Centro de Morelia.



Figura 39. Velocidades en horario diurno.

4.2.2 Horario nocturno

El escenario considerado como horario nocturno, será aquel en el que las labores de recolección comiencen a las 11 PM y terminen a las 7 AM, se espera que en este horario no exista congestión vial debido al bajo volumen de tráfico, por lo que se considera la velocidad de operación la cual se determinó de estudios anteriores recorriendo todas y cada una de las vialidades de la zona de estudio leyendo el velocímetro del automóvil (Saavedra,2002).



Figura 40. Velocidades en horario nocturno.

Como se puede ver en la Figura 40 las velocidades en el horario nocturno son muy superiores en todas las vialidades en especial en las primarias, en este escenario es donde se registran las mayores velocidades.

4.2.3 Transferencia o tiradero municipal

Para los vehículos de recolección por brigada se plantea como una de las alternativas para reducir el tiempo empleado en la recolección el realizar la descarga de forma mecánica en el tiradero municipal y no de forma manual como actualmente se realiza en la Dirección de Aseo Público.

Durante el estudio de tiempos y movimientos se determinó que el tiempo de la descarga de forma manual les lleva a los trabajadores un promedio de 45 minutos y 59 segundos, mientras que la descarga de forma mecánica en el tiradero lleva solo 15 minutos y 22 segundos.



Descarga Manual



Descarga Mecánica

Figura 41 Descarga de los residuos.

4.2.4 Método de recolección actual o contenedores

En cuanto a los vehículos de recolección domiciliar se tiene como alternativa mantener el método de recolección actual o emplear la recolección por medio de contenedores, manteniendo el método de recolección se considerarían los mismos tiempos de servicio mientras que en el caso de los contenedores además de adecuar los tiempos de servicio al de contenedores se suprimirían las paradas con volúmenes menores a 500 L. para contar con contenedores de 770 L en las calles que puedan ser utilizados por uno o más usuarios dependiendo de la cantidad de residuos, los contenedores puede ser ya sea de 770 L o 1,100 L y están diseñados para que mediante un equipo hidráulico los contenedores se puedan vaciar en aproximadamente dos minutos (tasa de recolección $57.75 \text{ kg}/\text{min}.$ ¹), en la Figura 42 se muestran los contenedores propuestos.

¹ Considerando que el peso volumétrico de los residuos es de $150 \text{ kg}/\text{m}^3$, y se encuentran a su máxima capacidad.



Fuente: Otto Environment.

Figura 42. Contenedores para residuos sólidos

4.3 Análisis de escenarios

En este apartado se presentan el diseño de rutas realizado para cada uno de los recorridos analizados durante el estudio de tiempos y movimientos, para cada uno de estos, se hicieron cuatro distintos diseños a fin de encontrar la ruta más corta en tiempo a fin de disminuir y el costo de la recolección y aumentar la cobertura del servicio.

En cada uno de los diseños que aquí se presentan se mantuvieron constantes, la cantidad de residuos recolectados y tiempos muertos registrados, y se realizó la comparación entre la recolección en horario diurno y nocturno, además dependiendo del escenario se modificaron los tiempos de descarga ya sea en el tiradero o en la transferencia manual en la dirección de aseo público para el caso de los vehículos de brigada, mientras que en el caso de los de recolección domiciliar se hizo el diseño empleando contenedores en una alternativo y en otra el método actual.

4.3.1 Recolección por brigada zona norte

Como se mencionó en el capítulo anterior la recolección en las papeleras de la zona norte se presta en el turno matutino y vespertino y en ambos casos no se tiene una ruta fija establecida sino que el recorrido se deja a criterio de los operadores.

4.3.1.1 Zona norte turno matutino

La recolección por brigada en la zona norte en el horario matutino tuvo una duración de 5 horas y 51 minutos y se recorrió una distancia de 48.20 km, dentro de los cuales se desvió para ir a cargar combustible.

De los cuatro escenarios que se analizaron en todos se tuvieron reducciones en tiempo y en tres de ellos además se tuvo una reducción en distancia, es importante mencionar que para este caso se consideró que aún cuando el vehículo debe de

realizar la carga de combustible, ésta es realizada sobre la Avenida Madero en el trayecto hacia el tiradero.

La distancia recorrida en los escenarios 1 y 3 en los que se consideró la descarga manual en la Dirección de Aseo Público se redujo en un 29 y 50% respectivamente, mientras que en el escenario 1 no existió variación significativa y en el escenario 4 se incrementó.

En cuanto a los tiempos se puede ver en la Tabla 36 que en los cuatro escenarios que se plantearon, se logra una reducción en tiempo aunque sea mínima, siendo el parámetro que más influye en la reducción del tiempo la recolección el horario nocturno, ya que en los dos escenarios propuestos se reducen en más de un 30%, mientras que la utilización de un vehículo compactador para realizar la descarga en el tiradero tiene un efecto poco significativo especialmente en el caso de la recolección nocturna, lo cual se ve reflejado en el costo ya que la mayor reducción se presenta en el escenario y tres.

Tabla 36. Rediseño recolección por brigada zona norte matutino

Escenario	Tiempo (h:mm:ss)	Distancia km.	Ahorro en Tiempo %	Ahorro en Distancia %	Costo Horario \$/Hr.	Costo de la Ruta \$	Ahorro en Costos \$
Original	05:51:13	48.20	0.00%	0.00%	\$136.32	\$797.98	
1	05:47:00	34.00	1.20%	29.46%	\$136.32	\$788.39	\$9.58
2	05:13:00	46.60	10.88%	3.32%	\$246.51	\$1,285.95	-\$487.98
3	03:54:00	24.10	33.37%	50.00%	\$136.32	\$531.66	\$266.32
4	03:55:00	50.01	33.09%	-3.76%	\$246.51	\$965.49	-\$167.52

Para este caso se recomienda realizar la recolección en el horario nocturno y realizando la descarga en la Dirección de Aseo Urbano, ya esta opción es la que reduce al máximo el tiempo de recorrido y resulta ser la más económica.

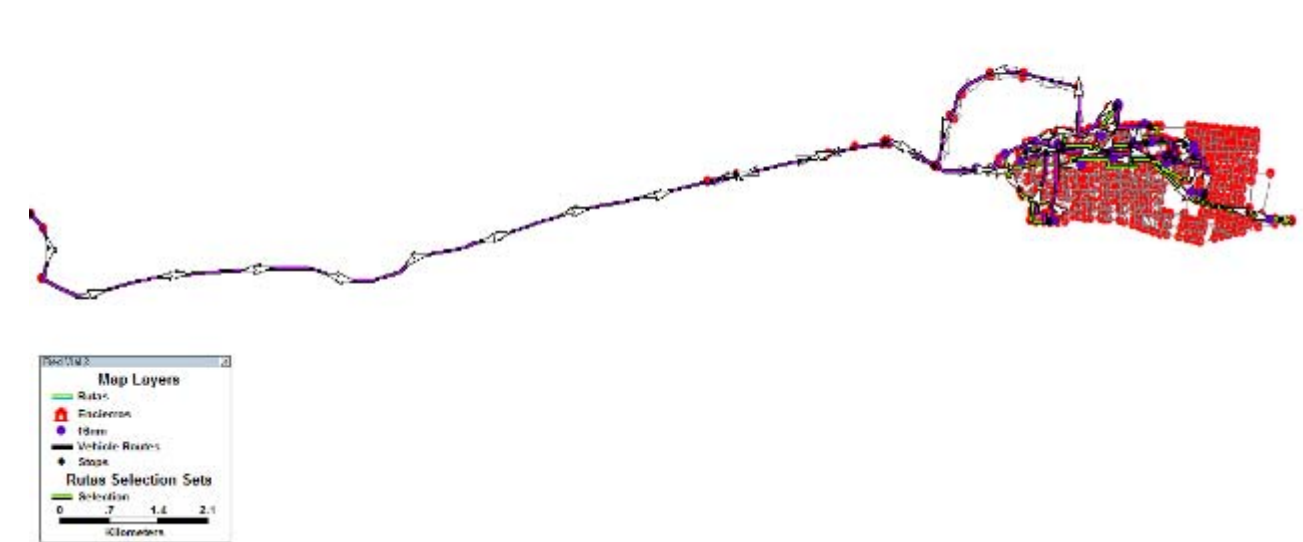
En la Figura 43 se pueden ver las cuatro rutas que se obtuvieron, se observa que en los escenarios uno y dos en los que se hace la recolección diurna se evita circular por las Av. Francisco I. Madero y Acueducto que sufren de congestión vial, mientras que las rutas en horario nocturno circulan por las avenidas principales y el recorrido se asemeja más a las rutas analizadas.

Escenario 1 (matutino con vaciado manual)



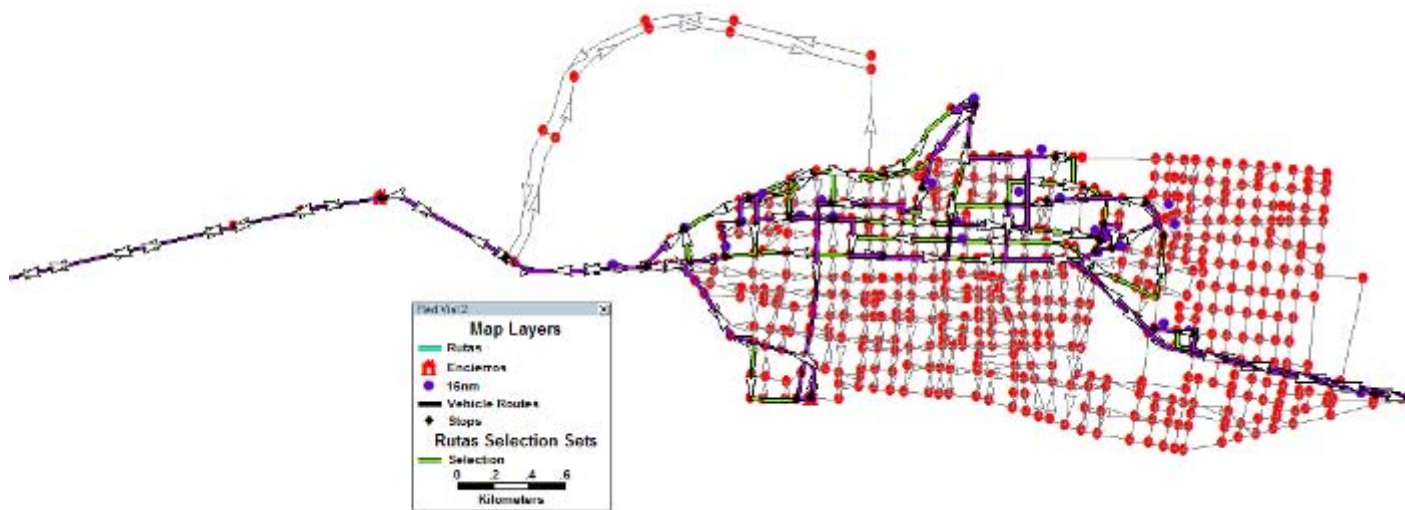
Tiempo: 5:47
Distancia 34.00 km.

Escenario 2 (matutino con descarga en el tiradero)



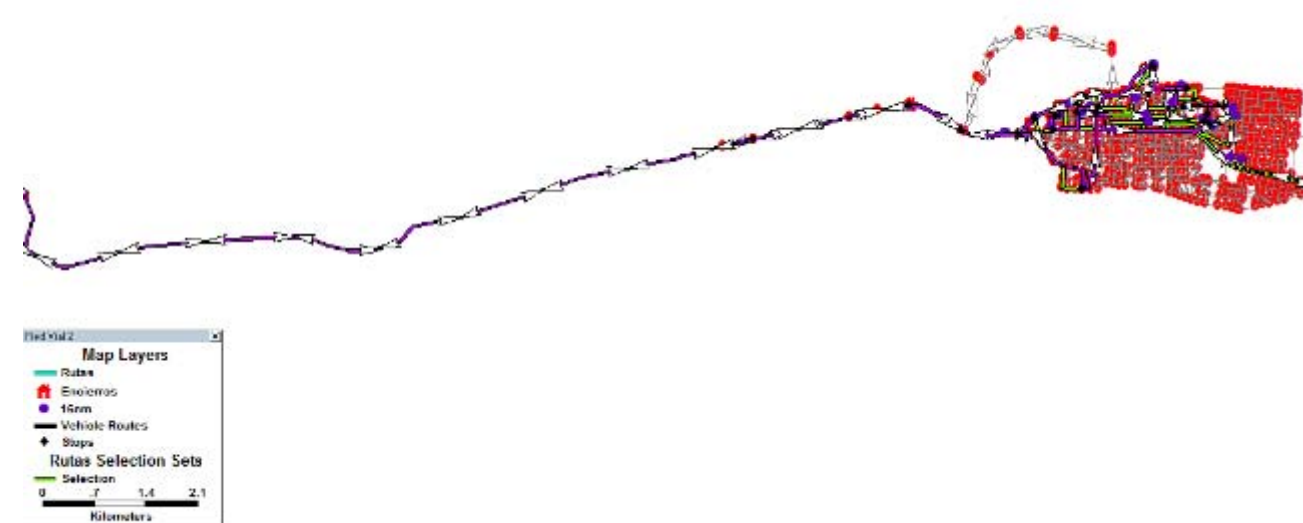
Tiempo: 5:13
Distancia 46.60 km

Escenario 3 (nocturno con vaciado manual)



Tiempo. 3:54
Distancia. 24.10 km.

Escenario 4 (nocturno con descarga en el tiradero)



Tiempo: 3:55
Distancia: 50.01km

Figura 43. Escenarios zona norte matutino

4.3.1.2 Zona norte vespertino

La recolección en la zona norte en el horario vespertino tuvo una duración de 5 horas y 18 minutos y se recorrió una distancia de 35 km. siendo este recorrido menor tanto en distancia como en tiempo que el del horario matutino, ya que en el recorrido anterior se realizó la carga de combustible.

Como se puede ver en la Tabla 37 de los cuatro escenarios considerados, en todos a excepción de uno se logró un ahorro en tiempo.

En relación a la distancia el único escenario en que se registró una menor distancia a la analizada en campo fue el 3, el cual corresponde a la recolección nocturna depositando los residuos de forma manual en la Dirección de Aseo Público.

Mientras que en la reducción de tiempos, las más significativas al igual que en el caso anterior corresponden al horario nocturno, en el que las reducciones en los dos casos son cercanas al 30%, y en donde se registra el mayor ahorro en tiempo es en el escenario cuatro, sin embargo, esta no fue considerada como la opción más viable ya que en costo no se tiene ahorros.

Como se observa en la Tabla 37 en el escenario tres es en donde se presentan los mayores ahorros, por lo que se recomienda realizar la recolección en horario nocturno depositando los residuos en la Dirección de Aseo Público, con lo cual se lograría un ahorro del 31.18% en tiempo..

Tabla 37. Rediseño recolección por brigada zona norte vespertino

Escenario	Tiempo (h:mm:ss)	Distancia km.	Ahorro en Tiempo %	Ahorro en Distancia %	Costo Horario \$/Hr.	Costo de la Ruta \$	Ahorro en Costos \$
Original	05:18:13	35.00	0.00%	0.00%	\$136.32	\$723.00	
1	04:46:00	38.60	10.12%	-10.29%	\$136.32	\$649.80	\$73.20
2	05:25:00	58.10	-2.13%	-66.00%	\$246.51	\$1,335.25	-\$612.26
3	03:39:00	27.60	31.18%	21.14%	\$136.32	\$497.57	\$225.42
4	03:38:00	52.00	31.49%	-48.57%	\$246.51	\$895.65	-\$172.65

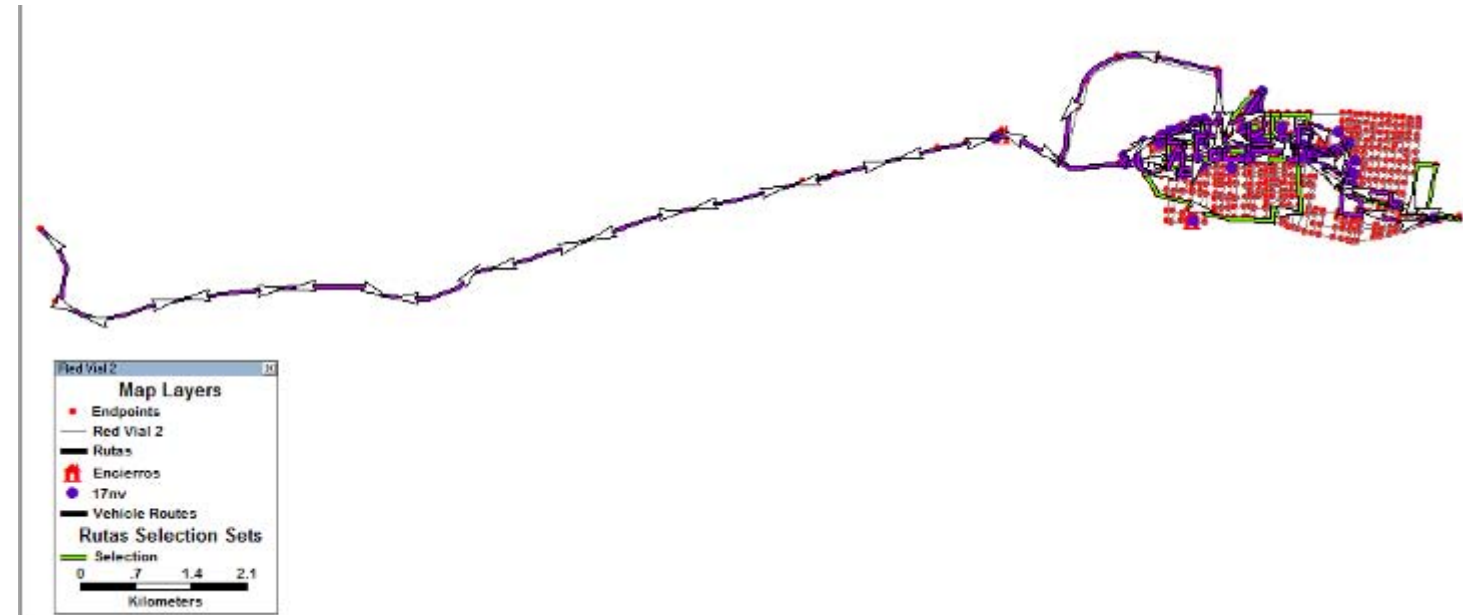
En la Figura 44 se puede ver al igual que en el caso anterior que los recorridos en los horarios diurnos (1 y 2) evitan circular por las principales avenidas del centro de Morelia, siendo los recorridos dentro del centro más cortos en el horario nocturno especialmente el del escenario 3, se observa también que en la ruta analizada el circular por la Av. Lázaro Cárdenas fue totalmente innecesario ya que en todos los escenarios se eliminó.

Escenario 1 (matutino con vaciado manual)



Tiempo: 4:46 Hrs.
Distancia: 38.60 km.

Escenario 2 (matutino con descarga en el tiradero)



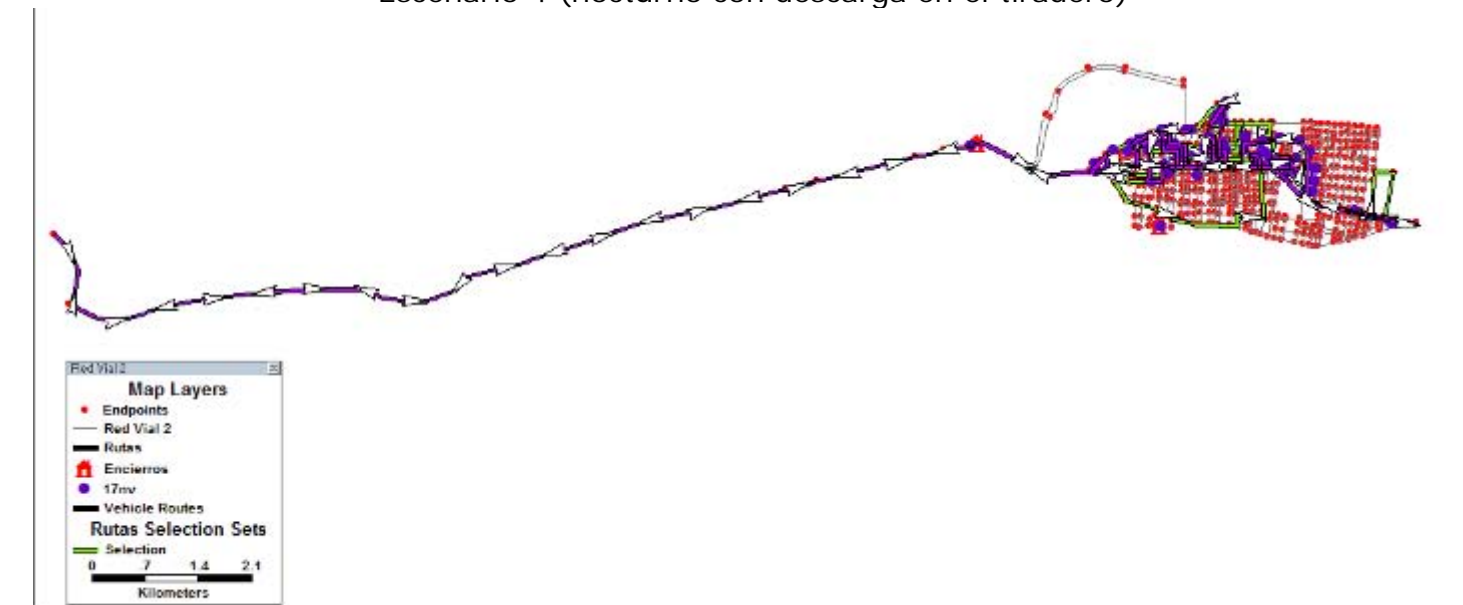
Tiempo: 5:25 Hrs.
Distancia: 58.10 km.

Escenario 3 (nocturno con vaciado manual)



Tiempo: 3:39 Hrs.
Distancia: 27.60 km.

Escenario 4 (nocturno con descarga en el tiradero)



Tiempo: 3:38 Hrs.
Distancia: 52.00 km.

Figura 44. Escenarios zona norte vespertino

4.3.2 Recolección por brigada zona sur

Al igual que en la zona norte la recolección en la papeleras de la zona sur se presta en el turno matutino y vespertino y en ambos casos no se tiene una ruta fija establecida sino que el recorrido se deja a criterio de los operadores.

4.3.2.1 Zona sur matutino

La recolección en la zona sur en el horario matutino tuvo una duración de 5 horas y 16 minutos y se recorrieron un total de 33.90 km.

Como se puede ver en la Tabla 38 en los cuatro escenarios que se analizaron se tuvo una considerable reducción en tiempo, siendo los escenarios que consideran la recolección en horario nocturno los que registraron disminuciones más altas cercanas al 47%.

En cuanto a la distancia solo se registraron disminuciones en los escenarios 1 y 3 en los que se considera que la descarga de los residuos se realiza de forma manual en la Dirección de Aseo Público, siendo la de mayor disminución en distancia la del horario nocturno en la que no existe la necesidad de evitar calles con congestión vial siendo los recorridos más directos.

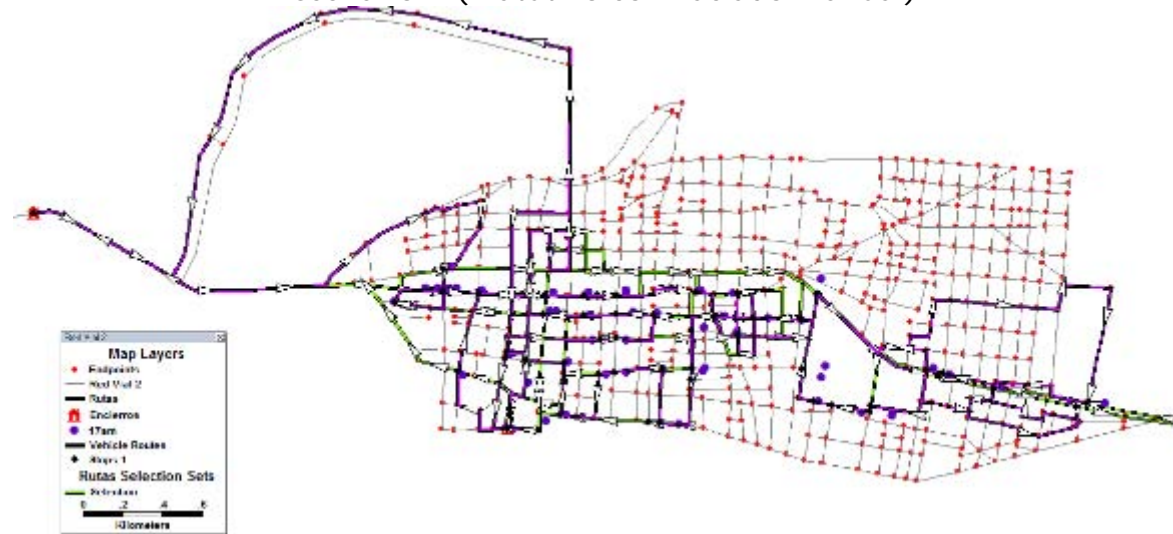
Tabla 38. Rediseño recolección por brigada zona sur matutino

Escenario	Tiempo (h:mm:ss)	Distancia km.	Ahorro en Tiempo %	Ahorro en Distancia %	Costo Horario \$/Hr.	Costo de la Ruta \$	Ahorro en Costos \$
Original	05:16:55	33.90	0.00%	0.00%	\$136.32	\$720.04	
1	03:17:00	29.10	37.84%	14.16%	\$136.32	\$447.59	\$272.45
2	04:25:00	57.50	16.38%	-69.62%	\$246.51	\$1,088.75	-\$368.70
3	02:45:00	23.50	47.94%	30.68%	\$136.32	\$374.89	\$345.16
4	02:48:00	50.60	46.99%	-49.26%	\$246.51	\$690.22	\$29.82

En cuanto al costo la mayor reducción se tuvo en el escenario tres que también fue el de mayor ahorro en tiempo, por lo anterior se recomienda que la recolección se realice en el horario nocturno y descargar directamente en la Dirección de Aseo Urbano.

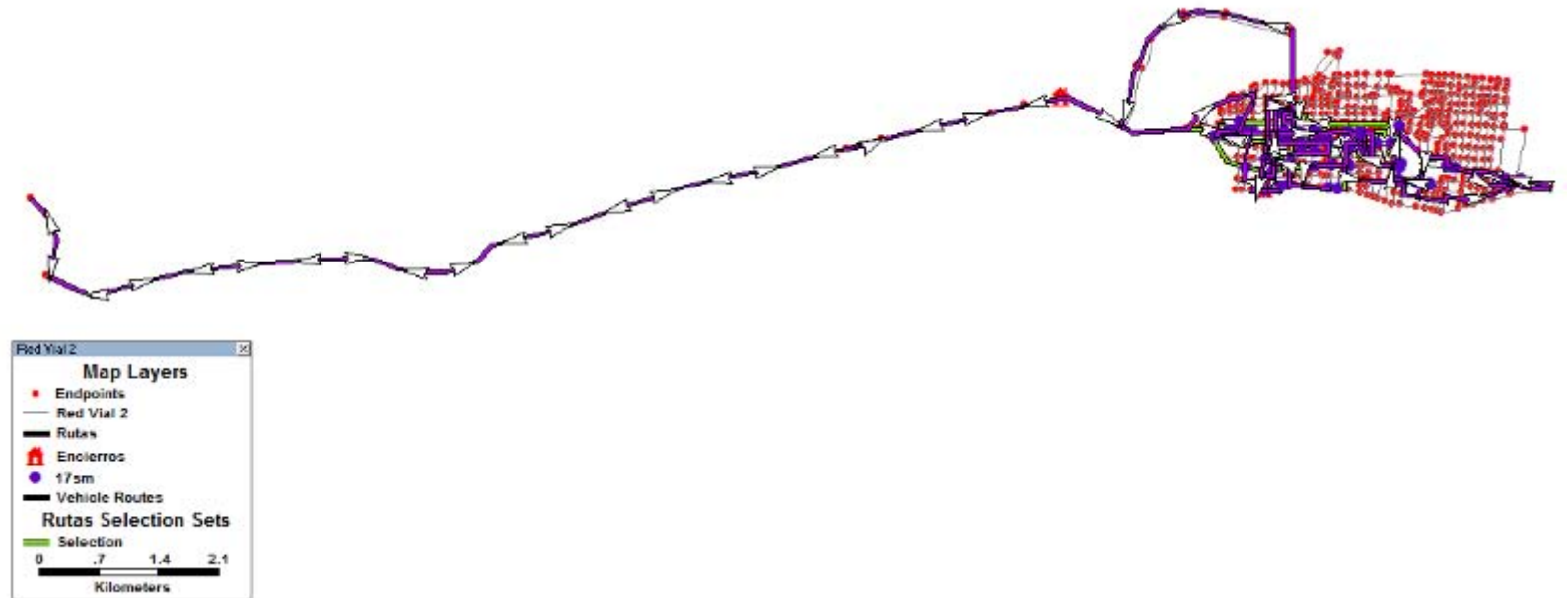
En la Figura 45 se observa que al igual que en la recolección por brigada en la zona norte los recorridos más cortos corresponden a los escenarios en horario nocturno y que además estos son los que se asemejan más a los que actualmente se realizan.

Escenario 1 (matutino con vaciado manual)



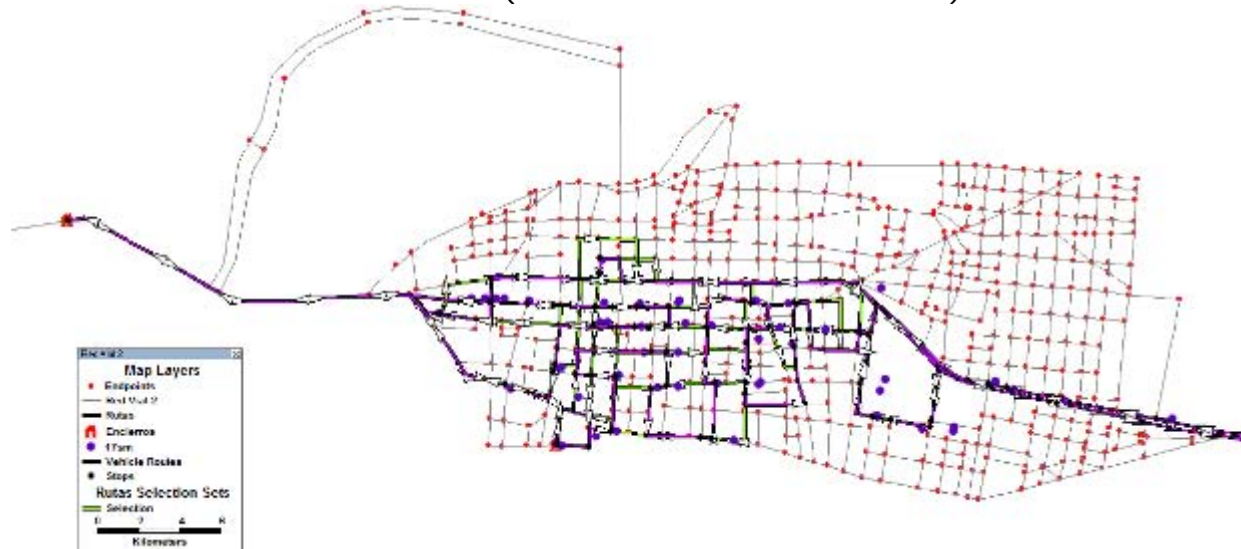
Tiempo: 3:17 Hrs.
Distancia: 29.10 km.

Escenario 2 (matutino con descarga en el tiradero)



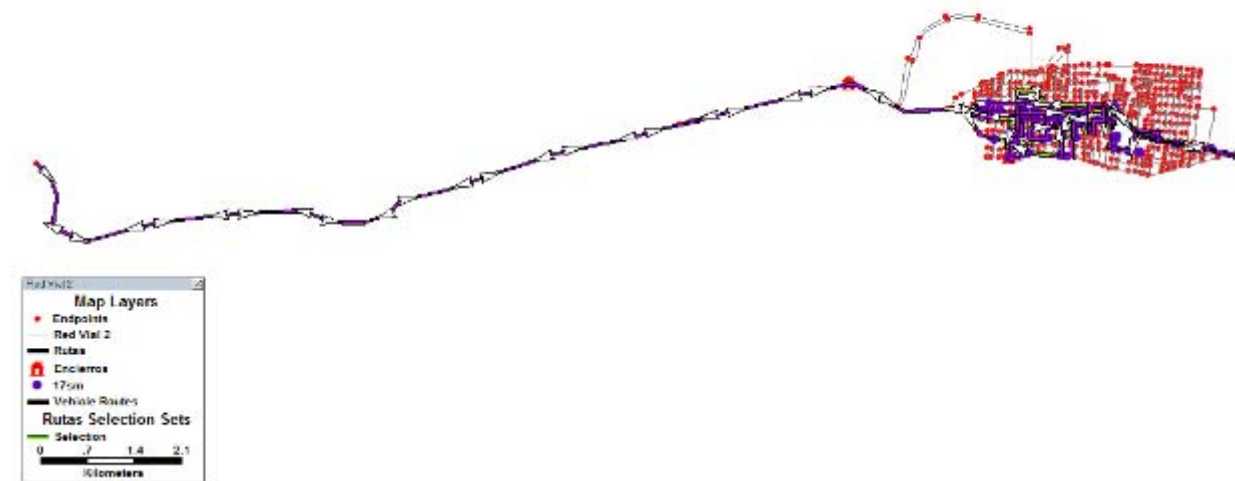
Tiempo: 4:25 Hrs.
Distancia: 57.50 km.

Escenario 3 (nocturno con vaciado manual)



Tiempo: 2:45 Hrs.
Distancia: 23.50 km.

Escenario 4 (nocturno con descarga en el tiradero)



Tiempo: 2:48 Hrs.
Distancia: 50.60 km.

Figura 45. Escenarios zona sur matutino

4.3.2.2 Zona sur vespertino

Durante el estudio de tiempos y movimientos el vehículo que cubrió la zona sur en el horario vespertino empleó un total de 4 horas y 55 minutos en recorrer 44.40 Km.

Como se puede ver en la Tabla 39 de los cuatro escenarios que se consideraron para esta ruta, en todos ellos se tuvo una reducción de tiempo, poco significativa en los escenarios correspondientes al horario diurno, mientras que el horario nocturno como en todos los casos antes descritos se tuvieron reducciones mayores al 30%.

En la Tabla 39 también se puede ver que el efecto de depositar los residuos en el tiradero o realizar la transferencia manual en la Dirección de Aseo Público es poco significativa ya que en el caso del horario diurno la diferencia entre una y otra alternativa es cercana al 6% y en el horario nocturno es menor al 1%.

Mientras que en relación a la distancia únicamente se registran disminuciones en los escenarios en los que el depósito de los residuos se realiza en la Dirección de Aseo Público de forma manual.

Tabla 39. Rediseño recolección por brigada zona sur vespertino

Escenario	Tiempo (h:mm:ss)	Distancia km.	Ahorro en Tiempo %	Ahorro en Distancia %	Costo Horario \$/Hr.	Costo de la Ruta \$	Ahorro en Costos \$
Original	04:55:00	44.40	0.00%	0.00%	\$136.32	\$670.25	
1	04:32:00	31.20	7.80%	7.96%	\$136.32	\$617.99	\$52.26
2	05:11:00	60.20	1.87%	-77.58%	\$246.51	\$1,277.74	-\$607.49
3	03:26:00	27.50	35.00%	18.88%	\$136.32	\$468.04	\$202.21
4	03:29:00	53.60	34.05%	-58.11%	\$246.51	\$858.67	-\$188.42

Finalmente en cuanto al costo el escenario en donde se tiene la mayor reducción es en el 3, por lo que como en todos los casos anteriores se recomienda que la recolección se realice en horario nocturno depositando los residuos en la Dirección de Aseo Público

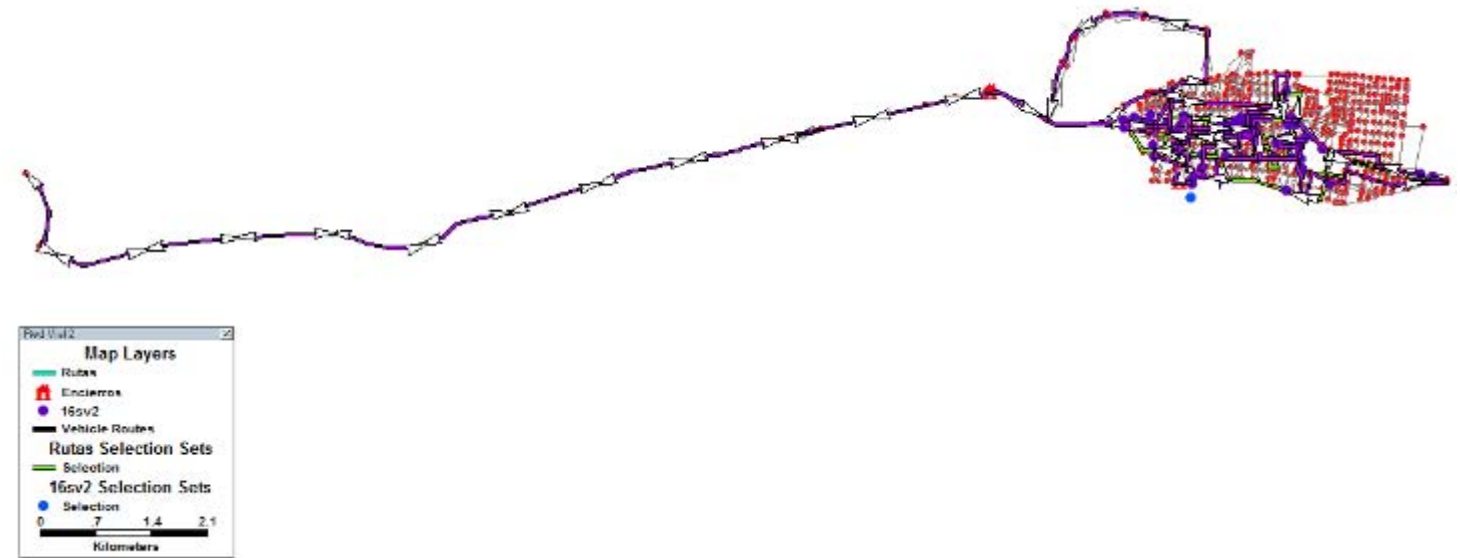
En la Figura 46 se pueden ver las rutas obtenidas para la recolección en la zona sur en el turno vespertino, al igual que en las demás rutas de brigadas la ruta más corta es la correspondiente al escenario 3 donde se circula por las principales avenidas en horario nocturno y realizando la descarga en la Dirección de Aseo Público.

Escenario 1 (matutino con vaciado manual)



Tiempo: 4:32 Hrs.
Distancia: 31.20 km.

Escenario 2 (matutino con descarga en el tiradero)

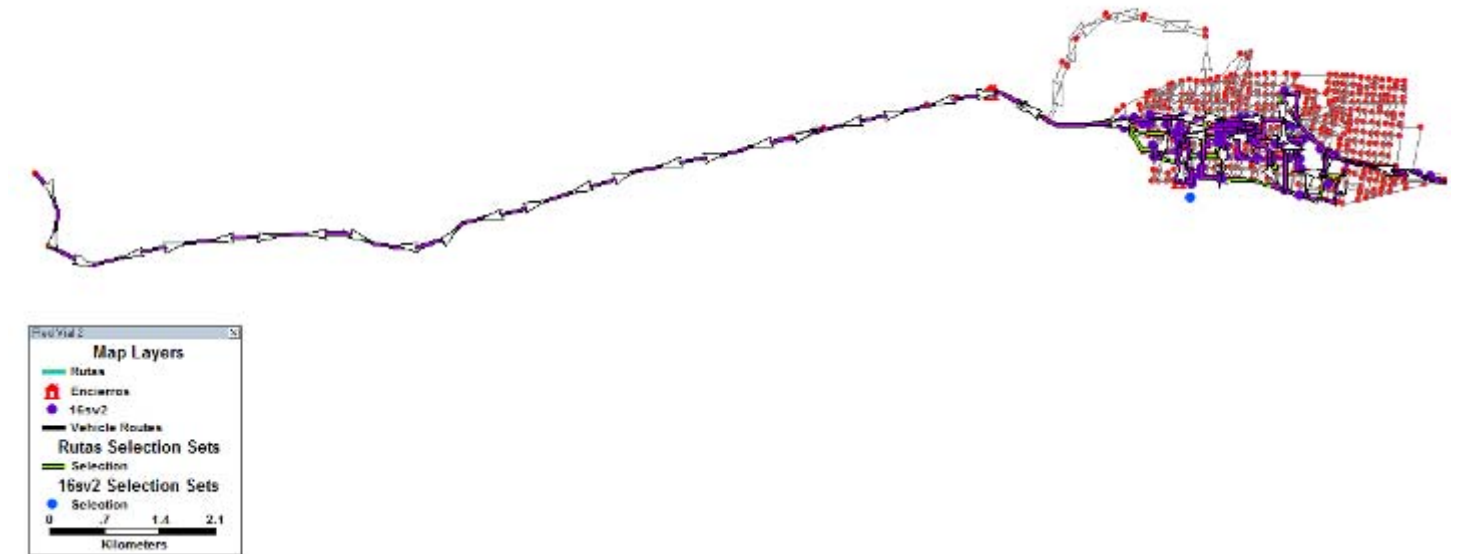


Tiempo: 5:11 Hrs.
Distancia: 60.20 km.
Escenario 4 (nocturno con descarga en el tiradero)

Escenario 3 (nocturno con vaciado manual)



Tiempo: 3:26 Hrs.
Distancia: 27.50 km.



Tiempo: 3:29 Hrs.
Distancia: 53.60 km.

Figura 46. Escenarios zona sur vespertino

Si bien es cierto que lo más recomendable es realizar la recolección en el horario nocturno depositando los residuos en la Dirección de Aseo Público ya que de esta forma es como se obtienen los mayores ahorros, es importante mencionar que de realizarse la recolección en horario nocturno y depositando los residuos en el tiradero municipal en un camión recolector como el que se describió en el apartado anterior, la recolección se podría realizar en un solo turno, con un vehículo para cada zona, esto debido a que la cantidad de residuos que se recolectan en la zona norte y sur al día es de 2,271.25 y 1,980.00 kg. respectivamente y ninguna de las rutas rediseñadas emplea más de 4 horas en su recorrido.

4.3.3 Recolección domiciliar 26345

El vehículo 26345 tiene una ruta de recolección fija, el día que se analizó se estimó que se recolectaron un total 1,601.25 kg. realizando dos viajes al tiradero empleando para ello 6 horas y 37 minutos recorriendo un total de 44.10 km.

Para la construcción de los escenarios que permitieran reducir el tiempo de la ruta de recolección, se consideró contar con un camión compactador en buen estado que pueda recolectar hasta 2,900 kg., por lo que para los cuatro escenarios que aquí se presentan se consideró un vehículo de estas características con lo cual se suprime un viaje.

Como se puede ver en la Tabla 40 suprimiendo uno de los viajes al tiradero municipal se obtiene en todos los escenarios un ahorro tanto en tiempo como en distancia.

En relación al tiempo los tres parámetros considerados para la construcción de los escenarios tiene el mismo impacto sobre la reducción del tiempo, al suprimir una de las descargas y encontrar la ruta más corta en tiempo se tiene un ahorro de casi el 19.26% (escenario 1). Si a esto le agregamos que suprimimos algunas paradas y empleamos la recolección por contenedores se reducen cerca de un 19.12% más para llegar a una reducción total del 38.38%, y si a esto agregamos la recolección nocturna se reducen 22.89% lo cual se traduce en una reducción del 61.26%.

Tabla 40. Rediseño recolección domiciliar 26345

Escenario	Tiempo (h:mm:ss)	Distancia km.	Ahorro en Tiempo %	Ahorro en Distancia %	Costo Horario \$/Hr.	Costo de la Ruta \$	Ahorro en Costos \$
Original	06:37:34	55.90	0.00%	0.00%	\$155.97	\$1,033.45	
1	05:21:00	46.60	19.26%	16.64%	\$246.51	\$1,318.82	-\$285.37
2	04:05:00	47.80	38.38%	14.49%	\$246.51	\$1,006.58	\$26.87
3	03:51:00	41.50	41.90%	25.76%	\$246.51	\$949.06	\$84.39
4	02:34:00	40.08	61.26%	28.30%	\$246.51	\$632.70	\$400.74

Mientras que en cuanto a la reducción en distancia si bien es cierto que en todos los escenarios propuestos se tienen reducciones las variaciones solo son significativas entre el horario diurno y nocturno, ya que mientras en el diurno la disminución en distancia es en promedio un 15.56 % para ambos casos en el nocturno es del 27.03%, que como se mencionó anteriormente es debido a que en el horario nocturno no se tiene que evitar calles con congestión vial haciendo los recorridos mas directos en un 11.47%.

Finalmente en cuanto al costo el escenario en donde se obtiene la mayor reducción es el 4, por lo que se recomienda emplear la recolección por contenedores en horario nocturno si es posible que los contenedores se coloquen sobre las aceras, solo si se contara con contenedores con ruedas y de tamaño estándar, el tiempo empleado en la descarga de estos no sobrepasaría los dos minutos y con ello se puede reducir hasta en un 40% el tiempo total de la ruta si se tienen vehículos de mayor capacidad como el mencionado anteriormente. Sin embargo, se deberá de poner especial atención en la ubicación de los contenedores para que estos no impidan el libre paso de los peatones sobre las aceras, ya que el Centro de Morelia es uno de los mayores atractivos del Municipio.

En la Figura 47 se pueden ver las distintas rutas de recolección que se diseñaron para los cuatro escenarios distintos, se observa que el recorrido dentro de las Calles del Centro de Morelia es muy similar a la ruta analizada durante el estudio de tiempos y movimientos, sin embargo, en la recolección nocturna (Escenarios 3 y 4) es en donde se tiene los mayores ahorros en tiempo los vehículos de recolección en vez de tomar rutas alternas circulan por las principales avenidas haciendo el recorrido más corto.

Por otra parte en la misma Figura 47 se observa que el contar o no con contenedores no modifica el recorrido de los vehículos, ya que el traslado entre las distintas paradas es muy similar en los escenarios 1 y 2 y los escenarios 3 y 4.

Recolección Domiciliar 26345

Escenario 1 (matutino sin contenedores)



Tiempo: 5:21 Hrs.
Distancia: 46.60 km.

Escenario 2 (matutino con contenedores)



Tiempo: 4:05 Hrs.
Distancia: 47.80 km.

Escenario 3 (nocturno sin contenedores)



Tiempo: 3:51 Hrs.
Distancia: 41.50 km.

Escenario 4 (nocturno con contenedores)



Tiempo: 2:34 Hrs.
Distancia: 40.08 km.

Figura 47. Escenarios recolección domiciliar 26345

4.3.4 Recolección domiciliar 26346

Finalmente el vehículo 26345 durante el estudio de tiempos y movimientos empleó en la ruta de recolección asignada un total de 5 horas y 53 minutos en los cuales recorrió un total de 53.30 km.

Al igual que en el caso anterior para los cuatro escenarios propuestos se consideró que se contaba con un vehículo recolector en buen estado y con una capacidad máxima de 2,900 kg por viaje.

Como se puede ver en la Tabla 41 en todos los casos existen reducciones tanto en tiempo como en distancia, siendo las más significativas las reducciones en tiempo.

En relación al tiempo de la ruta se puede ver que el parámetro que más influye es la recolección en horario nocturno ya que en los escenarios que consideran este horario se tiene reducciones del 22.15 y 33.19% que resultan ser las más altas, mientras que el caso de la recolección en horario diurno la mayor reducción se logra en el escenario 2 al emplear el método de recolección por contenedores

En cuanto a la reducción en distancia se puede ver que el empleo del método de recolección por contenedores no influye en este parámetro (como se planteó anteriormente se suprimen las paradas en donde se generan menos de 50 kg y que los usuarios no recorran más de 100 metros para depositar sus residuos). Por otra parte si la recolección se realiza en el horario nocturno la distancia se incrementa en un 11% ya sea empleando el método de recolección actual o el método de recolección por contenedores.

Tabla 41. Rediseño recolección domiciliar 26346

Escenario	Tiempo (h:mm:ss)	Distancia km.	Ahorro en Tiempo %	Ahorro en Distancia %	Costo Horario \$/Hr.	Costo de la Ruta \$	Ahorro en Costos \$
Original	05:53:14	53.30	0.00%	0.00%	\$155.97	\$918.21	
1	05:40:00	44.40	3.75%	16.70%	\$246.51	\$1,396.88	-\$478.67
2	05:01:00	44.50	14.79%	16.51%	\$246.51	\$1,236.65	-\$318.44
3	04:35:00	50.70	22.15%	4.88%	\$246.51	\$1,129.83	-\$211.62
4	03:56:00	50.70	33.19%	4.88%	\$246.51	\$969.60	-\$51.39

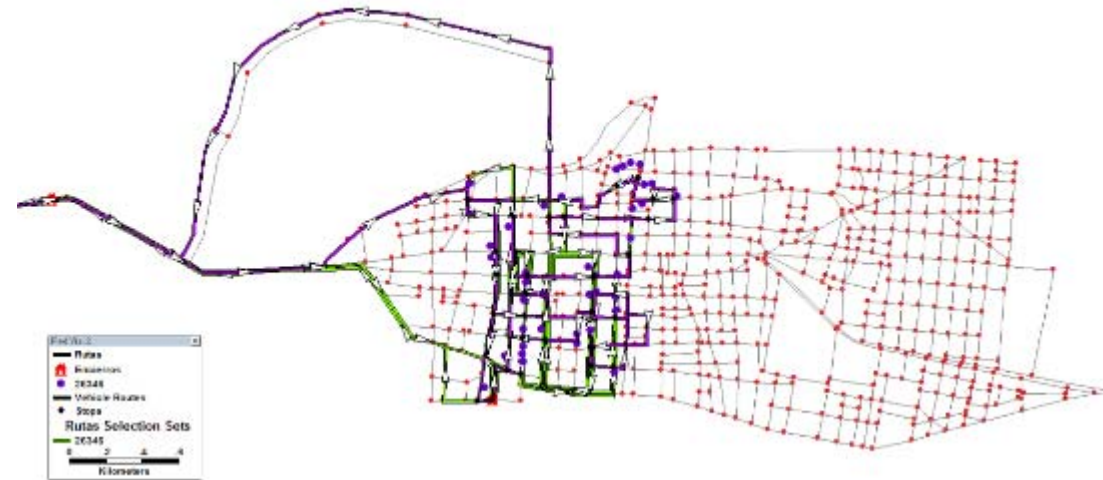
Finalmente se puede ver que la utilización de un vehículo de mayores dimensiones para esta ruta no se justifica ya que en el escenario 4 donde se reduce la mayor cantidad de tiempo no se tiene ahorro alguno, así que para la ruta domiciliar 26345 lo ideal sería que se empleara el método de contenedores en horario nocturno con un

vehículo de las mismas características que el que se tiene actualmente con un costo horario de \$155.97 pesos con lo cual se tendría un ahorro estimado de \$304.74 pesos, sin embargo, si no se cuenta con espacios adecuados sobre la vía pública sería difícil poder realizar la recolección en estos horarios y más difícil aún sería realizar la recolección con el método actual en horario nocturno, por lo que para este vehículo la ruta con la que se cuenta actualmente es muy similar a la ruta más corta en tiempo encontrada ya que el ahorro en tiempo es de tan solo el 3.75 %.

Las cuatro escenarios que se construyeron para el vehículo de recolección 26345, se muestran en la Figura 47, en esta se puede ver que en el horario diurno (Escenarios 1 y 2) los vehículos de recolección no circulan por las principales avenidas del Centro de Morelia para trasladarse hacia el encierro y el Tiradero Municipal a fin de evitar la congestión vial, mientras que en los escenarios nocturnos los vehículos circulan por las principales avenidas del centro haciendo los recorridos más directos y cortos siendo en estos donde se registran los mayores ahorros. Finalmente como ya se describió anteriormente el contar con contenedores no modifica significativamente las rutas de recolección.

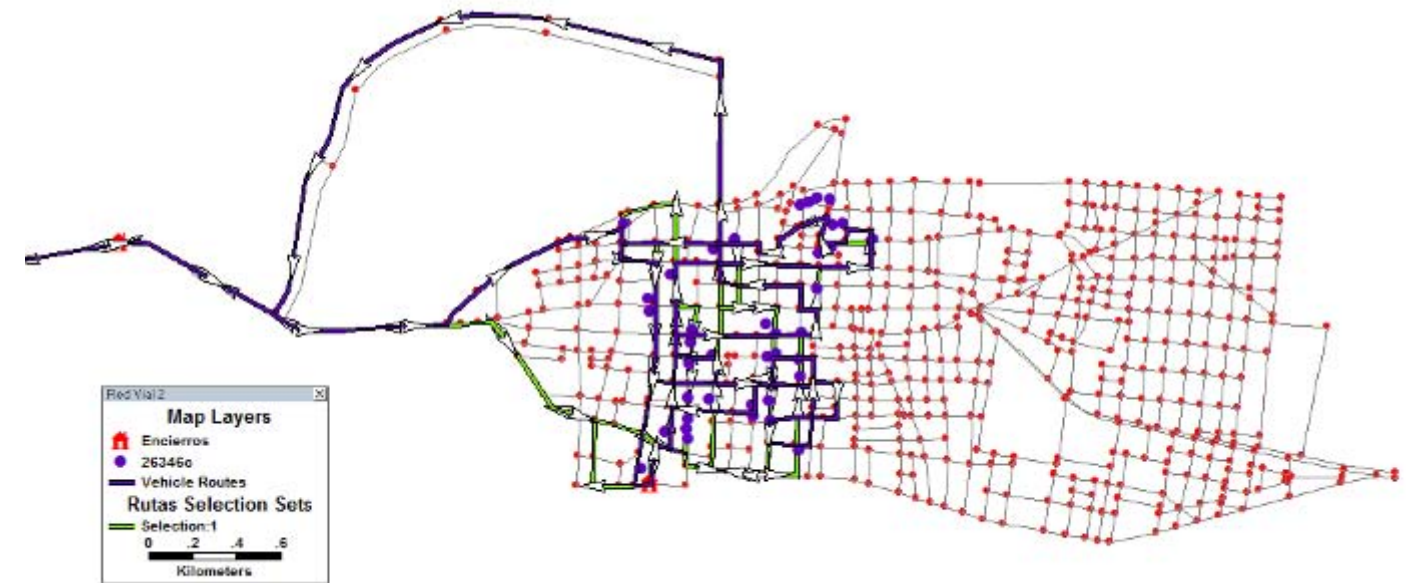
Recolección Domiciliar 26346

Escenario 1 (matutino sin contenedores)



Tiempo: 5:40 Hrs.
Distancia: 44.40 km.

Escenario 2 (matutino con contenedores)

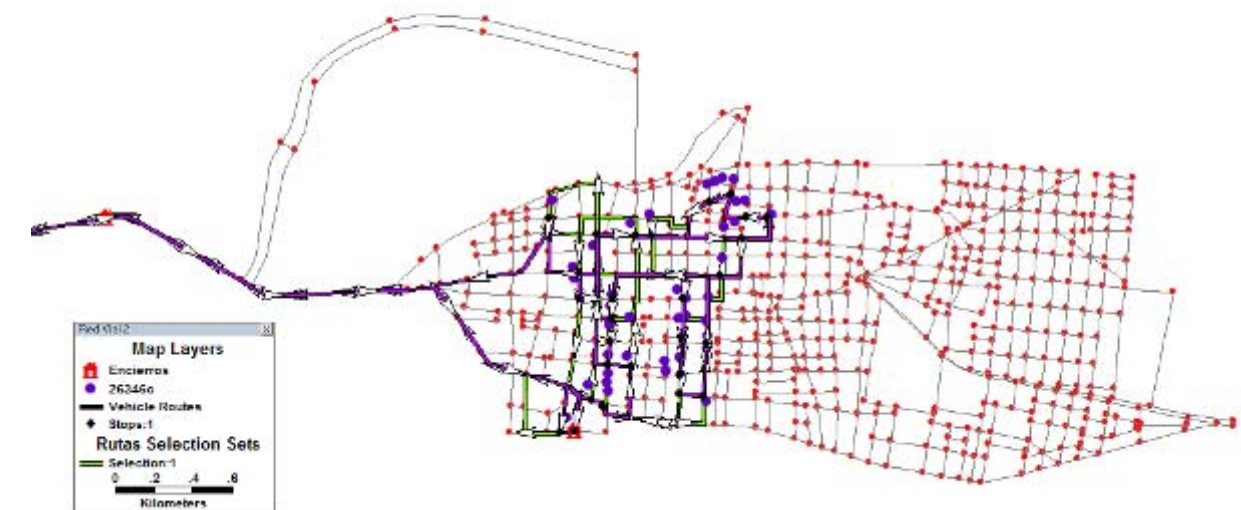


Tiempo: 5:01 Hrs.
Distancia: 44.50 km.
Escenario 4 (nocturno con contenedores)

Escenario 3 (nocturno sin contenedores)



Tiempo: 4:35Hrs.
Distancia: 50.70 km.



Tiempo: 3:56 Hrs.
Distancia: 50.70 km.

Figura 48. Escenarios recolección domiciliar 26346

5 Conclusiones

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

Al emplearse un SIG se logra interactuar con un gran número de parámetros que tradicionalmente no son considerados como los efectos del tráfico en las distintas vialidades, el cambio del tipo de vehículos, la reubicación del sitio de disposición final, el cambio en el método de recolección empleado y/o la supresión de paradas, logrando que se pueda medir los efectos que estos tienen sobre las rutas de recolección.

En todos los escenarios que se construyeron se obtuvieron resultados positivos en las reducciones en tiempo, siendo el parámetro que más influencia tuvo la realización de la recolección en el horario nocturno seguido de la utilización de un vehículo compactador mediante el cual se tenga la capacidad de recolectar los residuos en un solo viaje y realizar la descarga mecánica en el tiradero municipal. Cabe mencionar que el de menor efecto fue el de cambio de método de recolección.

Se considera que los SIG podrían ser una herramienta de gran ayuda para los prestadores de servicios de recolección públicos y privados en ciudades medias y grandes, en donde los problemas de tráfico o bien la repentina descompostura de uno o más vehículos es común y origina deficiencias significativas en el servicio y la natural molestia de los usuarios, si todos los elementos del sistema de recolección se tuvieran integrados en un SIG en las primeras horas de la mañana a fin de reducir estos efectos adversos.

De los resultados obtenidos en este trabajo se resalta el hecho que en todos los casos que se utilizó esta herramienta para el diseño de rutas se obtuvo una reducción en tiempo.

En cuanto a los costos se estima que en los vehículos de recolección por brigada se tendría una reducción en costo en promedio de \$259 pesos por jornada si se realizara la ruta en el horario nocturno depositando los residuos en la Dirección de Aseo Público, mientras que en el vehículo de recolección domiciliar 26345 se tendría un ahorro de \$400 pesos por jornada si se realiza la recolección en horario nocturno y se adquiere un vehículo de mayores dimensiones, y finalmente en el vehículo 26346 se tendría un ahorro de \$300 pesos por jornada si se realizara la recolección nocturna en un vehículo de las mismas características que el que se tiene pero en buenas condiciones, considerando que se tiene 260 jornadas al año estos ahorros alcanzarían un monto anual de cerca de los \$450,000 pesos.

Sin embargo, tener todos los datos referentes a un sistema de recolección en un SIG no es sencillo ya que se requiere además de conocer el proceso empleado en la recolección, que permita determinar los tiempos de recorridos, se debe

conocer también con cierta presión la distribución de los residuos en la zona que será atendida.

6 Recomendaciones

Para la recolección de los residuos en las papeleras del centro de Morelia se considera que lo más recomendable es realizar la recolección en horario nocturno con vehículos compactadores depositando los residuos en el tiradero municipal realizando la descarga de los residuos mecánicamente y evitando con ello que se almacenen los residuos temporalmente en la Dirección de Aseo Público, esta es la combinación mediante la cual se obtiene la mayor reducción en tiempo a tal grado que en un solo turno se podría realizar lo que se hace tanto en el turno matutino como en el vespertino.

Para el caso de los vehículos de recolección domiciliar se determinó que el escenario óptimo era el de realizar la recolección nocturna empleando contenedores, sin embargo, sería difícil ya que no existe espacio suficiente en las aceras para colocar los contenedores sobre la vía pública, así que se considera como lo más conveniente realizar la recolección por contenedores en el horario diurno con vehículos de mayor capacidad en relación a los que se tienen reduciendo significativamente el tiempo de recorrido y aumentando la cobertura del servicio a cargo del Municipio.

7 Anexo 1

Análisis de Factor de Salario Real Chofer.

ANÁLISIS DE FACTOR DE SALARIO REAL				
CATEGORÍA: Chofer				
Sueldo Diario \$116.76				
LFT		DÍAS	FACTOR	
DÍAS PAGADOS AL AÑO				
DÍAS CALENDARIO		365.25		
AGUINALDO		40		
PRIMA VACACIONAL		5		
TOTAL DE DÍAS PAGADOS AL AÑO		410.25	1.123203285	
DÍAS TRABAJADOS AL AÑO				
SÉPTIMO DÍA		52.18		
VACACIONES		20		
FESTIVOS OFICIALES		7.17		
DÍAS NO LABORABLES POR COSTUMBRE		4		
TOTAL DÍAS NO LABORADOS		83.35		
DÍAS CALENDARIO		365.25		
DÍAS NO LABORADOS		83.35		
DÍAS EFECTIVOS TRABAJADOS		281.9	1.4553	
OBLIGATORIEDAD DE LAS PRESTACIONES SOCIALES DEL EMPRESARIO AL IMSS				
SM "C"	49.5	PATRÓN	TRABAJADOR	FACTOR
SEGUROS DE RIESGO DE TRABAJO		7.5888%		8.5238%
SEGURO DE ENFERMEDAD Y MATERNIDAD				
FRACCIÓN I		6.9950%		6.9950%
FRACCIÓN II		0.0000%	0.0000%	
FRACCIÓN III		0.7000%	0.2500%	
FRACCIÓN IV		1.0500%	3.7500%	
SEGURO DE INVALIDEZ Y VIDA		1.7500%	6.2500%	
CUOTA DEL SEGURO DE CESANTÍA Y VEJEZ		3.1500%	1.1250%	
SUMA PRESTACIONES SOCIALES IMSS VARIABLES		6.6500%	11.3750%	
PRESTACIONES SOCIALES IMSS VARIABLES		18.0250%	1.12320329	20.2457%
GUARDERÍAS		1.0000%	1.12320329	1.1232%
IMPUESTOS LOCALES (en su caso)		0.0000%	1.12320329	0.0000%
IMPUESTOS SOBRE NÓMINA (en su caso)		0.0000%	1.12320329	0.0000%
SUMA DE OBLIGATORIEDAD DE PRESTACIONES IMSS				36.8877%
SUMA FACTOR DE SALARIO REAL				1.8242

Análisis de Factor de Salario Real Auxiliar.

ANÁLISIS DE FACTOR DE SALARIO REAL				
CATEGORÍA: Auxiliar				
Sueldo Diario \$66.75				
LFT		DÍAS	FACTOR	
DÍAS PAGADOS AL AÑO				
DÍAS CALENDARIO		365.25		
AGUINALDO		40		
PRIMA VACACIONAL		5		
TOTAL DE DÍAS PAGADOS AL AÑO		410.25	1.123203285	
DÍAS TRABAJADOS AL AÑO				
SÉPTIMO DÍA VACACIONES		52.18		
FESTIVOS OFICIALES		20		
DÍAS NO LABORABLES POR COSTUMBRE		7.17		
TOTAL DÍAS NO LABORADOS		4		
		83.35		
DÍAS CALENDARIO		365.25		
DÍAS NO LABORADOS		83.35		
DÍAS EFECTIVOS TRABAJADOS		281.9	1.4553	
OBLIGATORIEDAD DE LAS PRESTACIONES SOCIALES DEL EMPRESARIO AL IMSS				
SM "C"	49.5	PATRÓN	TRABAJADOR	FACTOR
SEGUROS DE RIESGO DE TRABAJO		7.5888%		8.5238%
SEGURO DE ENFERMEDAD Y MATERNIDAD				
FRACCIÓN I		12.2359%		12.2359%
FRACCIÓN II		0.0000%	0.0000%	
FRACCIÓN III		0.7000%	0.2500%	
FRACCIÓN IV		1.0500%	3.7500%	
SEGURO DE INVALIDEZ Y VIDA		1.7500%	6.2500%	
CUOTA DEL SEGURO DE CESANTÍA Y VEJEZ		3.1500%	1.1250%	
SUMA PRESTACIONES SOCIALES IMSS VARIABLES		6.6500%	11.3750%	
PRESTACIONES SOCIALES IMSS VARIABLES		18.0250%	1.12320329	20.2457%
GUARDERÍAS		1.0000%	1.12320329	1.1232%
IMPUESTOS LOCALES (en su caso)		0.0000%	1.12320329	0.0000%
IMPUESTOS SOBRE NÓMINA (en su caso)		0.0000%	1.12320329	0.0000%
SUMA DE OBLIGATORIEDAD DE PRESTACIONES IMSS				42.1286%
SUMA FACTOR DE SALARIO REAL				1.8766

8 Referencias

8.1 Bibliográficas

1. Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental. La Basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el Manejo de Residuos Urbanos. México, 2003.
2. Canter, L. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Mc. Graw-Hill
3. Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente. Informe de Validación del Invent, Lima, Perú, 1994.
4. BIMSA. Costos de Construcción. Bimsa Reports, México, 2004.
5. Environmental Modeling with GIS / Ed. by Michael f. Goodchild, Bradley O. Parks, Louis t. Steyaert. New York : Oxford University, 199
6. Flores Martínez, S. Almacenamiento, Recolección, Transporte de Residuos Municipales. 2o Curso Regional sobre Manejo Adecuado de Residuos Sólidos y Peligrosos. 6 de noviembre de 2003.
7. Geographic Information Systems in Transportation Research / Edited by Jean-Claude Thill. Amsterdam, Netherlands. Pergamon, 2000
8. Getting to know ArcView: the Geographic Information System (GIS) for everyone, Redlands, California. Environmental Systems Research Institute, 1999
9. Granados, Francisco, 2002, Tesis de Maestría en Ingeniería (Transporte) intitulado: "Análisis de redes para la identificación de corredores de transporte de carga en la Zona Metropolitana del Valle de México", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
10. Hernández Suárez, Carlos. Aplicación de la simulación para el mejoramiento del sistema de recolección de desechos sólidos de la Ciudad de México, Tesis Licenciatura (Ingeniero Mecánico Electricista) Universidad Panamericana, Escuela de Ingeniería.
11. Instituto Nacional de Ecología. Estadísticas e Indicadores de Inversión Sobre Residuos Sólidos Municipales en los Principales Centros Urbanos, de México, Primera Edición, DF, México, 1997.
12. Instituto Nacional de Ecología. Diagnóstico Básico para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. México, 2006.
13. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. II Censo de Población y Vivienda. INEGI; México, 2006.
14. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario Estadístico de Michoacán de Ocampo. INEGI; México, 2007.
15. Marks, David H. Mathematical Analysis of Solid Waste Collection. Washington. Johns Hopkins University. 1970.
16. Miller Harvey J. & Shaw Shih-Lung, 2001, Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications. EUA, Oxford University Press
17. Murcio Flores, Guillermo Arturo. Modelo de programación para optimizar la recolección de basura en una delegación política, Tesis Licenciatura (Ingeniero Mecánico Electricista)-UNAM, Facultad de Ingeniería
18. Reglamento para la Recolección y Transporte de los Residuos Sólidos en el Municipio de Morelia. México, 2001.
19. Robinson, William D., The Solid Waste Handbook. J Wiley
20. SEDESOL, Cálculo y Aplicación de Indicadores de Desempeño. Sedesol, México, 2001.
21. SEDESOL, Estudio de Campo para Residuos Sólidos Tiempos y Movimientos. Sedesol, México, 2001.

22. SEDESOL, Manual para el Diseño de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Municipales. Sedesol, México, 1999.
23. Tchobanoglous, G. Integrated Solid Waste Management. Mc. Graw-Hill, USA, 1999.
24. TransCAD. Transportation GIS Software, User's Guide, Version 3.0 for Windows. Ed. Caliper Corporation, USA, 1996.
25. TransCAD. Transportation GIS Software Travel Demand Modeling with TransCAD 3.5. Ed. Caliper Corporation, USA, 1999.
26. TransCAD. Transportation GIS Software Route Systems with TransCAD 3.5. Ed. Caliper Corporation, USA, 1999.
27. Vesilind, P. Arne. Unit Operations in Resource Recovery Engineering. Englewood cliffs. Prentice Hall, USA, 1981.
28. Valera, L. Ingeniería de Costos Teoría y Practica en Construcción. BIMSA CMDG, México, 2000.

8.2 Sitios de Internet

1. Consejo Nacional de Población. <http://www.conapo.gob.mx>. México, 2008
2. Estado de Michoacán de Ocampo. <http://www.comapo.gob.mx>. México, 2008.
3. Municipio de Morelia. <http://www.morelia.gob.mx> México, 2008.
4. Instituto Nacional de Ecología. <http://www.ine.gob.mx>. México, 2008
5. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. www.inegi.gob.mx. México, 2008
6. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. www.inafed.gob.mx. México, 2008.
7. New Way Trucks. <http://www.newwaytrucks.com/>. USA, 2008.
8. Otto Environment. <http://www.otto-environment.com/web/page.aspx?id=1003>. USA, 2008.