

PARA GRADOS ACADÉMICOS DE LICENCIADOS (TERCER NIVEL)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

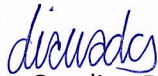
DECLARACIÓN y AUTORIZACIÓN

Yo, DÍAZ CHECA DIANA CAROLINA, C.I. 1719926543 autora del trabajo de graduación intitulado: “SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA OPTIMIZACIÓN DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS. EL CASO DE LA ADMINISTRACIÓN ZONAL ELOY ALFARO”, previa a la obtención del grado académico de INGENIERO EN CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y DESARROLLO SUSTENTABLE CON MENCIÓN EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL en la Facultad de Ciencias Humanas:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 27 de noviembre de 2013



Diana Carolina Díaz Checa

C.I. 1719926543

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.- DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA ADMINISTRACIÓN ZONAL ELOY ALFARO	28
1.1 RECOLECCIÓN DE RESIDUOS A PIE DE VEREDA	28
1.1.1 MACRORUTAS DE RECOLECCIÓN	30
1.1.2 MICRORUTAS DE RECOLECCIÓN.....	35
1.1.3 PROBLEMAS EN EL MODELO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A PIE DE VEREDA.....	36
1.2 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR MEDIO DE CONTENEDORES	43
1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) CON LA MODALIDAD DE CONTENEDORES	43
1.2.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN POR MEDIO DE CONTENEDORES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO Y EN LA ADMINISTRACIÓN ELOY ALFARO	45
CAPÍTULO II: PROPUESTA DE REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A PIE DE VEREDA EN LA ADMINISTRACIÓN ELOY ALFARO.....	53
2.1 REFORMULACIÓN DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN A PIE DE VEREDA EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	53
2.1.1 DEFINICIÓN DE LAS MACRORUTAS DE RECOLECCIÓN.....	54
2.1.1.1 TRABAJO DE CAMPO.....	54
2.1.1.2 MONITOREO DEL VEHÍCULO POR AUTOMATIC VEHICLE LOCATION (AVL).....	67
2.1.1.3 REDISEÑO DE LAS MACRORUTAS DE RECOLECCIÓN	72

2.1.2	ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS POR DÍA	78
2.1.3	DEFINICIÓN DE LA FRECUENCIA Y HORARIO DE RECOLECCIÓN	80
2.1.4	CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONAMIENTO DE LA FLOTA DE RECOLECCIÓN	80
2.1.5	CÁLCULO DEL NÚMERO DE VIAJES	81
2.1.6	DETERMINACIÓN DE LAS MICRORUTAS DE RECOLECCIÓN.....	84
2.2	ELABORACIÓN DE MICRORUTAS DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RSU A PIE DE VEREDA DE LA ADMINISTRACIÓN ZONA ELOY ALFARO	87
2.2.1	APLICACIÓN NEW VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP)	88
2.2.2	METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MICRORUTAS CON EL APLICACIÓN VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP)	95
2.2.3	ELABORACIÓN DE UNA GEODATABASE PARA ALMACENAR LAS MICRORUTAS DE RECOLECCIÓN.....	105
2.2.3.1	FILE GEODATABASE	107
2.2.3.2	DISEÑO DE LA GEODATABASE DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RSU A PIE DE VEREDA DE LA ADMINISTRACIÓN ELOY ALFARO ...	107
CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA EL REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A PIE DE VEREDA EN LA ADMINISTRACIÓN ELOY ALFARO.....		110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		121
CONCLUSIONES		121
RECOMENDACIONES.....		124
BIBLIOGRAFÍA		125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Superficie por parroquias Administración Zonal Eloy Alfaro	19
Tabla 2 Parroquias Administración Zonal Eloy Alfaro.....	19
Tabla 3 Habitantes por parroquia	20
Tabla 4 Densidad poblacional por parroquia.....	21
Tabla 5 Viviendas y hogares por parroquia de la Administración Zonal Eloy Alfaro	22
Tabla 6 Producción Per Cápita por Administración Zonal.....	24
Tabla 7 Número de toneladas recogidas por mes por Administración Zonal	26
Tabla 8 Capacidad de carga de la flota vehicular de la Administración Zonal Eloy Alfaro	33
Tabla 9 Vida útil de la flota vehicular de EMASEO EP a marzo de 2012.....	37
Tabla 10 Auxilios mecánicos por rutas programadas del DMQ 2012	39
Tabla 11 Número de auxilios mecánicos registrados en el 2012 en la Administración Zonal Eloy Alfaro	40
Tabla 12 Número de vehículos que operaron fuera de la jornada programada.....	42
Tabla 13 Zonas de División del DMQ según características del PGDT	47
Tabla 14 Detalle de la generación de RSU de las macrorutas del Sistema Contenerizado en la Administración Zonal Eloy Alfaro	50
Tabla 15 Cantidad de Recursos del Servicio a Pie de Vereda disponibles a reasignarse completamente.....	51
Tabla 16 Cantidad de Recursos del Servicio a Pie de Vereda disponibles a reasignarse parcialmente.....	52
Tabla 17 Macrorutas de recolección escogidas para trabajo en campo.....	56
Tabla 18 Detalle de tiempos de operación y promedio de duración de las fases del servicio de recolección de RSU	60
Tabla 19 Cálculo del rendimiento de promedio de operación en la Administración Zonal Eloy Alfaro.....	62
Tabla 20 Tiempo de operación requerido para cada macroruta	70
Tabla 21 Macrorutas por tipo de modificación	74
Tabla 22 Peso promedio recogido de enero a mayo de 2013	75
Tabla 23 Número de suministros por macrorutas creadas y modificadas completamente.....	77

Tabla 24	Clasificación de las nuevas macrorutas en base a la generación de RSU	79
Tabla 25	Porcentaje de toneladas a recoger por microruta.....	82
Tabla 26	Número de toneladas a recoger por microruta	83
Tabla 27	Tiempo requerido para la fase de recolección por macroruta	85
Tabla 28	Tiempos promedio para cada fase del modelo de recolección de RSU a pie de vereda en la Administración Zonal Eloy Alfaro	86
Tabla 29	Contenido de la Geodatabase DMQ_Emaseo	89
Tabla 30	Información a utilizarse en el diseño de las microrutas de recolección	96
Tabla 31	Descripción del contenido de la Geodatabase	108
Tabla 32	Comparación de Resultados obtenidos mediante la herramienta Network Analyst	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Esquema de turnos y frecuencias de las rutas del servicio pie de vereda	31
Figura 2	Esquema de rutas pares - EMASEO EP.....	32
Figura 3	Ubicación Geográfica de las macrorutas escogidas para el trabajo de campo.....	55
Figura 4	Modelo de recolección a pie de vereda EMASEO EP	57
Figura 5	Aplicación My Tracks.....	63
Figura 6	Promedio de toneladas recogidas por día durante el mes de mayo de 2013	64
Figura 7	Aplicación Web AVL de EMASEO EP	67
Figura 8	Reportes generados por el sistema AVL.....	68
Figura 9	Segmentación de la Administración Eloy Alfaro para representación de resultados del monitoreo a través de AVL	71
Figura 10	Aplicación New Vehicle Routing Problem.....	91
Figura 11	Carga de órdenes en la aplicación New Vehicle Routing Problem	92
Figura 12	Carga de depósitos en la aplicación New VehicleRoutingProblem.....	93
Figura 13	Rutas agregadas en la aplicación New VehicleRoutingProblem	94
Figura 14	Contenidos a emplearse para el diseño de microrutas	97
Figura 15	Órdenes a atender Macroruta Ferroviaria	99
Figura 16	Ingreso de órdenes a la capa Orders del aplicativo New Vehicle Routing Problem	99
Figura 17	Agregar ruta en el aplicativo Vehicle Routing Problem	100
Figura 18	Datos agregados en propiedades de rutas.....	101
Figura 19	Parámetros para el análisis de rutas	102
Figura 20	Modificación de la jerarquía de vías	103
Figura 21	Presentación del resultado de las nuevas rutas de recolección	104
Figura 22	Contenido de la Geodatabase	109
Figura 23	Correcciones de Macrorutas.....	112
Figura 24	Límites incorrectos de las macrorutas.....	113
Figura 25	Modificación Macrorutas para el nuevo modelo de recolección	114
Figura 26	Cobertura de las microrutas en la superficie asignada	115
Figura 27	Características de las microrutas	116
Figura 28	Características de las microrutas.....	117

Figura 29 Restricción de ingreso en pasajes.....	118
--	-----

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Recolección a Pie de Vereda.....	29
Fotografía 2 Vehículos Recolectores Carga Posterior.....	36
Fotografía 3 Vehículos Recolectores en Talleres Mecánicos.....	41
Fotografía 4 Sistema de Recolección por Contenedores	44
Fotografía 5 Seguimiento del vehículo recolector jornada nocturna.....	65
Fotografía 6 Seguimiento del vehículo recolector jornada diurna	66

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con sus diversas herramientas y funciones han sido un aporte para el desarrollo de la Geografía; la facilidad con la que permiten reunir, organizar, compartir y analizar la información espacial ha favorecido a la toma de decisiones, la planificación, el análisis y la gestión de datos geográficos.

Al ser un instrumento que permite la gestión del territorio, los SIG han perfeccionado sus funciones para ofrecer una mayor gama de soluciones a los requerimientos de los usuarios; entre estas destacan el transporte y la logística, temas claves en esta disertación.

ESRI (Environmental System Research Institute), proveedor reconocido de Sistemas de Información Geográfica, en su página web, menciona que en este ámbito los SIG facilitarían el control del movimiento de los vehículos, ahorrarán los gastos operativos ocasionados por el desplazamiento vehicular y ayudará a la planificación de las rutas, obteniendo el máximo rendimiento de la flota.

La recolección de residuos sólidos en las ciudades consiste en transportarlos desde el lugar donde han sido generados hasta el vehículo recolector, para luego trasladarlos al sitio de disposición final (RACERO Y PÉREZ, 2006); esta actividad requiere de la utilización de una flota vehicular especializada, la cual necesita desplazarse por la ciudad en un tiempo establecido por lo que el diseño de las rutas es importante para una operación óptima.

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan las empresas que brindan este servicio, es la creación de rutas que permitan acceder a todo el territorio; en la mayoría de los casos, los recorridos se crean de forma intuitiva y no necesariamente se basan en un estudio técnico, lo que genera un incremento en el tiempo y gastos de la operación (MARQUEZ, 2010).

En el Distrito Metropolitano de Quito, la Empresa Pública Metropolitana de Aseo EMASEO EP, es la empresa encargada de la recolección y transporte de residuos sólidos domiciliarios e industriales no peligrosos, atendiendo un total de 32 parroquias urbanas y 33 rurales (Ver Mapa N.1).

La Empresa Metropolitana de Aseo de Quito EMASEO EP, maneja una gran cantidad de información alfanumérica de cada uno de los servicios que presta, la misma que es gestionada de manera estadística, cuyos resultados se reflejan en los Indicadores de Gestión mostrados en su portal web.

Sin embargo, el elemento espacial de dicha información no ha sido debidamente utilizado, por ello, la presente propuesta plantea incorporar el componente geográfico a los datos generados, apoyándose en un Sistema de Información Geográfica (SIG), con el cual se podrá organizar y administrar de una manera visual y dinámica los datos disponibles, esto podría facilitar la ejecución de varios procesos que se llevan a cabo en EMASEO EP.

Además, esta investigación aplica las herramientas de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para optimizar el servicio de recolección de residuos sólidos en la Zona Administrativa Eloy Alfaro del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

Para el desarrollo de esta disertación se tomaron en cuenta los Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública, elaborados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS), en los cuales EMASEO EP basa su operación; igualmente se incorporarán los datos estadísticos del año 2012 generados sobre el servicio de recolección de residuos sólidos (RSU) a pie de vereda dentro de la Administración Zonal Eloy Alfaro.

En cuanto a las herramientas geográficas, se utilizará la extensión del software ArcGIS 9.3.1 Network Analyst.

El marco teórico con el que se contó como referencia para esta investigación está basado en modelos para la elaboración de rutas óptimas sobre diversos escenarios.

La importancia de este estudio radica en enfrentar la problemática de la elaboración de rutas para cumplir con el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) dentro del área de estudio. El resultado de la misma propondrá el uso de los Sistemas de Información Geográfica como un complemento al proceso de elaboración y modificación de rutas óptimas, que permita mejorar la gestión de EMASEO EP.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la empresa encargada de la recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) EMASEO EP, atiende a 2'348.751¹ habitantes (proyección al año 2012), cuya producción de residuos per cápita es de 0,85 kg/hab*día (CASTILLO, 2012), su operación abarca 227 rutas de recolección a pie de vereda²(GERENCIA DE OPERACIONES- EMASEO EP, 2012) dentro de las 8 Administraciones Zonales que posee el Distrito Metropolitano de Quito. Sin embargo, debido al constante crecimiento de la población, la empresa se ve en la obligación de actualizar y re calibrar continuamente las rutas de sus servicios, para así satisfacer los requerimientos de la ciudadanía.

Al momento, esta actualización se la realiza utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una herramienta que permite realizar el trazado del trayecto del vehículo recolector, sin embargo, no existe un análisis espacial, ni se utilizan aplicaciones que elaboren recorridos óptimos, lo que significa una demora considerable en el proceso de rediseño y reajuste de las rutas.

El área de estudio corresponde a la Administración Zonal Eloy Alfaro, la cual se encuentra ubicada al Sur del Distrito Metropolitano de Quito; se conforma por el área urbana y la parroquia rural de Lloa, esta última no es considerada dentro de esta investigación ya que la mayoría de dificultades se presentan en la zona urbanizada.

Dentro del modelo de recolección de residuos (RSU), la Administración Zonal Eloy Alfaro está dividida en 35 macrorutas o sectores de recolección a pie de vereda (GERENCIA DE OPERACIONES-EMASEO EP, 2012).

La Actual Administración del Distrito Metropolitano ha implementado un nuevo sistema de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU), con la modalidad de recolección contenerizada (GOMEZ ROSERO Y EMASEO EP, 2011), el cual se ha implementado en su primera fase en el norte de la ciudad.

¹ Dato presentado en el Manual Operativo de EMASEO EP, 2013.

² Revisar Marco Conceptual

Para el año 2014, se tiene como meta ampliar la zona de contenerización en las Administraciones Zonales Eloy Alfaro, Quitumbe y Manuela Sáenz. Al momento ya se han diseñado los sectores que se contenerizarán en la Zona Administrativa Eloy Alfaro como se puede observar en el Mapa N.2.

La aplicación de este nuevo servicio dentro del área de estudio, implica un rediseño en las rutas que aún mantendrán la técnica de recolección de RSU a pie de vereda, por lo que el presente estudio pretende redefinir y optimizar estas rutas utilizando Sistemas de Información Geográfica.

OBJETIVO GENERAL

Implementar un Sistema de Información Geográfica (SIG) como una herramienta para la elaboración de rutas óptimas del servicio de recolección de residuos sólidos prestado por la Empresa Pública Metropolitana de Aseo de Quito, EMASEO EP, dentro de la Administración Zonal Eloy Alfaro del Distrito Metropolitano de Quito.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir y analizar la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos dentro de la Administración Zonal Eloy Alfaro.
- Rediseñar y optimizar las rutas de los servicios de pie de vereda utilizando Sistemas de Información Geográfica.
- Generar una geodatabase con la información existente del servicio de recolección de residuos sólidos dentro de la Administración Zonal Eloy Alfaro.
- Generar mapas temáticos que muestren la nueva propuesta de recolección de residuos sólidos a pie de vereda en la Administración Zonal Eloy Alfaro.

METODOLOGÍA

Para la presente disertación se requirió en primer lugar, la recopilación de toda la información disponible sobre el sistema de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) en el Distrito Metropolitano de Quito, operado por la Empresa Metropolitana de Aseo EMASEO EP.

Se compiló y analizó la información bibliográfica, demográfica, estadística y cartográfica sobre el área de estudio, la misma que se complementó con visitas técnicas al área de estudio.

Con el análisis de la información recolectada se generó el diagnóstico situacional del método de recolección de RSU a pie de vereda en la Administración Zonal Eloy Alfaro.

En base al diagnóstico de la situación actual, se rediseñaron las macrorutas y microrutas de recolección para la Administración Zonal Eloy Alfaro, el mismo que se elaboró tomando en cuenta los parámetros expuestos en el documento *Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública* (CEPIS; 2002), así como aquellos que se han considerado relevantes dentro del material bibliográfico previamente consultado.

El nuevo modelo de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) en la zona de estudio, se apoyó en la herramienta del software ArcGIS 9.3.1 Network Analyst, la cual realiza un análisis de redes para encontrar las rutas de recolección óptimas.

Una vez realizado el rediseño de las rutas se procedió a la verificación de la factibilidad de las mismas dentro de la zona de estudio, para finalmente generar una geodatabase que contenga toda la información recopilada y elaborada sobre la recolección de residuos sólidos urbanos a pie de vereda en la Administración Zonal Eloy Alfaro.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

El marco teórico de esta disertación, en primera instancia, se enfoca en la generación de los residuos sólidos así como los factores que influyen en su incremento, para continuar con los métodos, el proceso y la problemática de recolección de los mismos.

Por otro lado, se menciona la búsqueda de soluciones a algunos de los problemas del modelo de recolección que pretenden la optimización de la operación en base a mejores rutas de desplazamiento de los vehículos.

En una segunda parte, se mencionan las investigaciones que se han realizado en relación al problema de ruteo de vehículos y a la generación de rutas óptimas, basados en modelos matemáticos así como en la aplicación de software especializados.

Finalmente, se presenta una síntesis de algunas teorías que se acoplan al problema del diseño de rutas para vehículos recolectores de residuos, en las cuales se apoyó esta investigación.

MARCO REFERENCIAL

El crecimiento poblacional mundial tiene como consecuencia el aumento del uso de las reservas del planeta, la producción de bienes y finalmente la generación de un mayor número de residuos (CEMPRE URUGUAY, 1998).

En los últimos años se ha observado una expansión del área urbana, la población rural ha visto a la ciudad como una mejor alternativa de desarrollo y ha buscado la manera de acoplarse a la misma adoptando muchas de sus prácticas de vida y de consumo. Esta tendencia ha llevado a la necesidad de buscar mejores prácticas para la gestión, recolección y disposición final de los residuos sólidos urbanos, sin embargo, este incremento en la producción de basura ha dificultado los procesos de recolección y tratamiento de la misma (CONSEJO AMBIENTAL ROSARIO, 1998; GUZMÁN, 2010).

Este panorama ha generado grandes preocupaciones en los encargados de administrar y gobernar las ciudades, quienes buscan satisfacer los requerimientos de todos sus habitantes en

base a un presupuesto predeterminado; es así como la optimización del proceso de recolección de residuos sólidos domiciliarios ha sido el objetivo principal de las empresas a cargo de la prestación de este servicio.

Sin embargo, estas se enfrentan continuamente a obstáculos como: el crecimiento constante de la población, la creación de nuevas industrias, cambios en la infraestructura de las ciudades, rutas fijadas por los conductores de los vehículos, entre otros, lo que complica la logística del sistema de recolección (RODRÍGUEZ Y GONZÁLES, 2001), y finalmente genera mayores gastos de operación por el aumento en el tiempo y distancias recorridas que se requiere para completar el servicio (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, 1984).

La búsqueda de soluciones al problema del cálculo y optimización de rutas, ha generado el desarrollo de diversas metodologías y modelos matemáticos, entre los que se puede mencionar *el problema del agente viajero*, el cual se define como la búsqueda de la ruta que minimice la distancia total de recorrido, el tiempo o el costo que una persona requiere para poder completar la visita a cada uno de sus clientes de un determinado sector (SANDOYA, 2007). En el caso de la recolección de residuos sólidos en el que un vehículo debe recorrer completamente las calles de una determinada zona, se han aplicado modelos como el denominado *problema del cartero chino*, en el cual se debe recorrer todas las vías del sector previamente definido minimizando la distancia total de recorrido (SEDESOL, 1996; ROBUSTÉ et al., 2003; CAMPOS, 2006).

A final de la década del 50, surgen investigaciones analítico matemáticas como el Problema de Ruteo de vehículos (VRP) que consiste en generar las mejores rutas para entrega de productos a clientes dispersos en un área geográfica; estas investigaciones se complementaron con la creación de algoritmos más complejos, avances computacionales y tecnológicos y finalmente la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (VÁSQUEZ, 2007).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), al poder agrupar una gran cantidad de datos, constituyen una herramienta muy potente, la cual a través del análisis espacial de la información, ha permitido la resolución de problemas complejos y ha facilitado procesos de planificación, gestión y toma de decisiones (MENA, 2010).

Los Sistemas de Información Geográfica en aplicaciones de transporte han incrementado su popularidad en los últimos años, de tal manera que en la actualidad se refiere a estos servicios como GIS-T (WATERS, 1999).

Esta herramienta de análisis relacionada con modelos matemáticos, ha permitido darle un nuevo enfoque a la creación de rutas asignadas a vehículos recolectores de residuos sólidos urbanos, permitiendo la elaboración de recorridos óptimos en los que se considera distancia, tiempo y capacidad de la maquinaria (RODRÍGUEZ Y GONZÁLES, 2001).

Un complemento de los Sistemas de Información Geográfica con modelos matemáticos para optimizar rutas se observa en el trabajo *Comparación de métodos de optimización de rutas en la recogida de residuos sólidos urbanos aplicado a Castellón* de Mar Carlos Alberola et al., (2011), que ha utilizado el software ARCVIEW y el programa MFC que se basa en la teoría de grafos para el cálculo de rutas óptimas de recolección.

En el trabajo de ARRIBAS Y BLÁZQUES (2008), se evidencia el uso de las herramientas que poseen los SIG, en este caso Network Analyst de ARCGIS, la cual fue utilizada para el diseño de la ruta óptima para la recolección de residuos sólidos dispuestos en contenedores en la ciudad de Santiago de Chile, presentando así dos posibles soluciones de recorrido tomando como factor determinante en el primer caso el tiempo y en el segundo la distancia.

Las aplicación de todas estas metodologías para la implementación de un modelo óptimo de recolección de residuos sólidos urbanos, en el cual se utilicen modelos matemáticos relacionados con Sistemas de Información Geográfica, requieren de una fase de recopilación de datos esenciales como: la ubicación geográfica de la zona de estudio, la accesibilidad, sentidos de vías, tráfico, cantidad de residuos por zona, capacidad de la flota, horario y frecuencia de recolección y distancia de operación (CEMPRE URUGUAY, 1998; MÁRQUEZ, 2010; BANDALA Y OSORIO, 2011).

Finalmente, con la información compilada se procede a la elaboración de cartografía base del área de estudio, sobre la cual se rediseña la sectorización o macro rutas de la zona escogida para la disertación, esta información será complementada con la densidad poblacional, la producción per cápita para concluir con la incorporación de los aspectos mencionados en el párrafo anterior. Lo que permitirá empezar la búsqueda de las rutas óptimas (SAKURAI, 1980; BARRIOS Y SAAB, 2010).

MARCO TEÓRICO

El estudio de los problemas de ruteo ha aumentado en los últimos años debido al avance y expansión de las aplicaciones que existen para el tema, sobre todo relacionados con un manejo adecuado de los costos de operación de vehículos.

La operación de los vehículos es uno de los componentes más importantes debido al valor que representa para las empresas encargadas de la recolección de residuos sólidos, es por esta razón que se habla de la optimización de las rutas, para lo cual se han diseñado diversos modelos matemáticos que permitan resolver el problema de enrutamiento o diseño de rutas. Estas investigaciones tienen diversas variantes dependiendo de la flota destinada a cumplir la ruta, la capacidad del vehículo, la demanda del servicio entre otros factores (VILLEGAS et al., 2007).

En el diseño de rutas se presentan dos problemas básicos relacionados con los puntos que el vehículo debe cubrir, estos son: cobertura de arcos y cobertura de vértices. VILLEGAS (2007), considera que la recolección de residuos sólidos representa el problema de rutas sobre arcos, ya que la densidad de los puntos es muy alta y se encuentra dispersa a lo largo de los arcos de una red.

Este tipo de problema se lo conoce como *Chinese Postman Problem* (CPP), que se entiende como el cumplimiento de la ruta empezando desde su nodo de origen, atravesando toda el área designada para finalmente volver al nodo de origen, recorriendo la menor distancia posible.

Para la generación de rutas de recolección de residuos sólidos se debe considerar la capacidad que tiene cada vehículo, este problema se lo conoce como *Capacitated Arc Routing* problema (CARP). BRESLIN y KEANE (1997), lo definen como un problema de ruteo de arcos en el cual una flota de vehículos ubicados en un mismo punto de origen y con una capacidad conocida y limitada debe servir a todos los arcos de una gráfica donde existe demanda, con un costo mínimo y donde la capacidad del vehículo no sea excedida.

BANDALA y OSORIO (2011), clasifican a la recolección de residuos como un problema de planeación de rutas vehiculares con capacidad (CVRP), el cual consiste en determinar los recorridos de una flota vehicular con capacidad limitada, la cual inicia su recorrido en un mismo lugar y deben pasar por un conjunto de lugares geográficamente dispersos para recoger o distribuir bienes o servicios y volver al lugar de origen cumpliendo los siguientes objetivos, como minimizar la distancia total del viaje, tiempo y costo del recorrido y maximizar la utilización de volumen en los vehículos.

The Vehicle Routing Problem, es un complemento a los modelos antes descritos y se lo entiende como el problema de diseñar la ruta óptima desde uno o varios puntos de origen hacia un número de lugares distribuidos geográficamente (LAPORTE, 1991).

Los modelos antes descritos son los que más se ajustan al sistema de recolección de residuos sólidos (RSU) de EMASEO EP, ya que este tiene como objetivo operar por toda el área designada, tomando en cuenta la ubicación de las centrales de operación desde donde sale la flota, así como de las estaciones de transferencia donde se descargan los residuos, además consideran la capacidad de carga de cada vehículo y el horario limitado de operación, buscando el mejor rendimiento al menor costo de operación.

MARCO CONCEPTUAL

ArcGIS Network Analyst

Esta extensión basada en análisis de redes permite solucionar problemas como: ruteo, direcciones de viaje, facilidades más cercanas y análisis de problema de ruteo de vehículo.

ArcGIS Network Analyst puede encontrar la mejor manera de ir desde una ubicación a otra o de visitar diversas ubicaciones. Las ubicaciones se pueden especificar interactivamente colocando puntos en la pantalla, introduciendo una dirección o utilizando los puntos de una clase de entidad o capa de entidades existente. ArcGIS Network Analyst puede determinar la mejor secuencia de visita de varias locaciones.

Facilita la creación de modelos en condiciones realistas como restricciones de cruces, límites de velocidad, restricciones de peso y condiciones de tráfico (PÁGINA WEB ESRI VENEZUELA).

Network Analyst resuelve problemas de redes como encontrar la ruta más rápida o la más corta, la de menor costo, encontrar el vehículo o instalación de emergencia más cercana a un evento o accidente entre otros; proponiendo varias opciones, criterios, evaluadores y atributos que permiten modelar situaciones de la vida real (BARRIENTOS, 2007).

Permite cinco tipos de análisis de redes de transporte mediante el uso de un Network Data Set; siendo estos:

- Route
- Closest Facility
- Service Area
- Origin – Destination (OD) Cost Matrix
- Vehicle Routing Problem

Automatic Vehicle Location (AVL)

Es un sistema mediante el cual, en un mapa digitalizado en una computadora, se puede monitorear y ubicar geográficamente un vehículo en tiempo real gracias a un sistema GPS (MORENO, 2006; TARCO 2010).

Cobertura de Recolección

Permite conocer el porcentaje de población total que cuenta con el servicio de recolección (CEPIS, 2002).

Densidad Poblacional

La densidad poblacional es la relación entre el número de personas por unidad de área de terreno (HAUPT y KANE, 2003).

Para esta disertación las unidades de análisis serán el número de habitantes del área urbana de la Administración Zonal Eloy Alfaro y la superficie en hectáreas de la misma.

Frecuencia de Recolección

La frecuencia consiste en la periodicidad semanal con la que se realiza la recolección de residuos sólidos domiciliarios, es decir, define el tiempo en el que se llevará a cabo la operación en un mismo sitio o en una misma zona (CEMPRE, 1998).

La frecuencia de recolección deberá prever que el volumen acumulado de basura no sea excesivo y que el tiempo transcurrido desde la generación de basura hasta la recolección para su disposición final no exceda el ciclo de reproducción de la mosca que varía, según el clima, de 7 a 10 días (BARRIO Y SAAB,2010).

El modelo de recolección de RSU de EMASEO EP, ha sido diseñado con una frecuencia de atención interdiaria.

Macroruta

Se denomina macrorutas a la división de la ciudad en sectores operativos. Fundamentalmente se trata de determinar el tamaño de cada una de las rutas en forma tal que la cantidad de trabajo diario que realiza una cuadrilla sea similar a la de cualquier otra, con el máximo de utilización de los recursos (MÁRQUEZ J. 2010).

Microruta

Es el recorrido específico que deben cumplir diariamente los vehículos de recolección en las áreas de la población donde han sido asignados, con el fin de recolectar en la mejor manera posible los residuos sólidos generados por los habitantes de dicha área. Este proceso consiste en desarrollar una ruta de recorrido para cada sector, de manera que permita a cada equipo llevar el trabajo de recolección en una menor cantidad de tiempo y recorrido (MÁRQUEZ J. 2010).

Network Datasets

Es la estructura de datos de un sistema de red diseñada para ser usada con la extensión Network Analyst de ArcGIS. Los Network Datasets son construidos a partir de coberturas de puntos, líneas y giros; posee varios atributos que permiten diseñar impedimentos, restricciones y jerarquías de la red e incorporan un modelo de conectividad avanzada que representa escenarios complejos tales como redes de transporte multimodales.

Producción Per Cápita (PPC)

Es la cantidad en Kg de Residuos Sólidos Urbanos RSU generada por una persona en un día (CASTILLO, 2012).

Este índice sirve de base para la planificación del servicio de recolección porque permite establecer sectores y rutas de recolección, así como estimar la cantidad de residuos que genera la ciudad donde se presta el servicio. Está en función del estrato socioeconómico de la población, infraestructura urbana del lugar, cobertura y calidad del servicio de recolección (CEPIS, 2002).

Producción Per cápita domiciliaria (PPCdom)

Es la cantidad promedio en kg de residuos sólidos urbanos generados por cada vivienda.

Residuos Sólidos Urbanos

Son los restos de las actividades humanas, considerados por sus generadores como inútiles, indeseables o desechables. Residuos sólidos son los que se presentan en estado sólido, semisólido o semilíquido es decir, con un contenido líquido insuficiente para que este material pueda fluir libremente (COMPROMISO EMPRESARIAL PARA EL RECICLAJE - CEMPRE URUGUAY, 1998).

Recolección Per cápita

EMASEO EP, define a ese indicador como aquel que permite obtener la cantidad de residuos a recolectar por habitantes. Frente a la producción per cápita PPC ayuda a determinar el porcentaje de cobertura del servicio.

Servicio de recolección a pie de vereda

Servicio prestado mediante camiones de recolección de carga posterior, que recogen los residuos dispuestos en las veredas de la ciudad, puerta a puerta. Tanto los horarios como las frecuencias son definidos de acuerdo a las características particulares de cada zona (EMASEO, 2012).

ÁREA DE ESTUDIO

El Distrito Metropolitano de Quito, se divide en ocho Administraciones Zonales que son: Calderón, Eugenio Espejo, La Delicia, Manuela Sáenz, Tumbaco, Los Chillos, Quitumbe y Eloy Alfaro.

La Administración Zonal Eloy Alfaro, se ubica al sur del Distrito Metropolitano de Quito, sus límites y ubicación geográfica son los siguientes:

Límites:

Norte: Administración Zonal Manuela Sáenz

Este: Administración Zonal Los Chillos

Oeste: Cantones Santo Domingo de los Tsáchilas y San Miguel de los Bancos

Sur: Administración Zonal Quitumbe

Ubicación Geográfica:

Norte: $0^{\circ} 5'39,627''$

$78^{\circ} 38'55,2367''$

Sur: $0^{\circ} 21'35,2657''$

$78^{\circ} 38'55,5612''$

Este: $0^{\circ} 15'22,9968''$

$78^{\circ} 29'54,7941''$

Oeste: $0^{\circ} 10'0,52223''$

$78^{\circ} 50'32,2086''$

El área de estudio que comprende solo las parroquias urbanas de la Administración Zonal Eloy Alfaro se encuentran dentro de las siguientes coordenadas:

Norte: 0 °12 '58,9415 "

78 °32 '16,3607 "

Sur: 0 °17 '44,6437 "

78 °31 '25,8774 "

Este: 0 °15 '22,9968 "

78 °29 '54,7941 "

Oeste: 0 °14 '40,968 "

78 °33 '29,7535 "

La Administración Zonal Eloy Alfaro se encuentra entre los 1240 m.s.n.m hasta los 4800 m.s.n.m, la zona en la que se centró este estudio correspondiente al área urbana, se ubica entre los 2400 a 3600 m.s.n.m.

Tiene una superficie de 58.839 hectáreas, de las cuales 3.453,9 corresponde al área urbana, cuyo detalle por parroquia se puede observar en la tabla N.1 (SECRETARIA DE TERRITORIO, HÁBITAT Y VIVIENDA, 2008).

Tabla 1 Superficie por parroquias Administración Zonal Eloy Alfaro

Parroquias	Superficie Total (ha)	Superficie Urbana (ha)
La Mena	869	376
Solanda	444	438
La Argelia	718	682
San Bartolo	393	379
La Ferroviaria	637	578
Chilibulo	855	432
La Magdalena	290	290
Chimbacalle	243	241
Lloa**	54.397	39
Total	58.845	3.454

**PARROQUIA RURAL

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, INEC
SECRETARIA DE TERRITORIO, HÁBITAT Y VIVIENDA (STHV)
Elaboración propia, 2013

La Administración Zonal Eloy Alfaro está conformada por 9 parroquias, 8 consideradas como urbanas y una rural, las cuales se detallan en la tabla N.2.

Tabla 2 Parroquias Administración Zonal Eloy Alfaro

Parroquias Administración Eloy Alfaro	
Urbanas	Rurales
La Mena	Lloa**
Solanda	-
La Argelia	-
San Bartolo	-
La Ferroviaria	-
Chilibulo	-
La Magdalena	-
Chimbacalle	-

**PARROQUIA RURAL

Fuente: Unidad de Estudios e Investigación; DMPT-MDMQ
Elaboración propia, 2013

La tasa de crecimiento poblacional para el año 2010 fue del 0,49 % con una población de 429.115 habitantes (SECRETARIA DE TERRITORIO, HÁBITAT Y VIVIENDA, 2010); en base a estos datos se obtuvo la proyección de la población para el año 2012, la cual se estimó que fue de 433.359 habitantes.

La población por parroquia para el año 2012 se detalla en la tabla N.3.

Tabla 3 Habitantes por parroquia

Parroquia	Número de habitantes
La Mena	45.597
Solanda	78.291
La Argelia	60.297
San Bartolo	64.549
La Ferroviaria	64.091
Chilibulo	49.114
La Magdalena	29.955
Chimbacalle	39.997
Lloa**	1.508

**PARROQUIA RURAL

Fuente: EMASEO EP

Elaboración propia, 2013

La Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda (STHV), en el enlace presentado en su página web sobre Población e Indicadores de la Administración Zonal Eloy Alfaro distingue dos tipos de densidad poblacional; la densidad global y la urbana.

Se considera como unidad de análisis el número de habitantes sobre las hectáreas que conforman la administración, es así como se calculó que la densidad poblacional en la parte urbana de la Administración Zonal Eloy Alfaro para el año 2012 fue de 156 (hab/ha), superando a la densidad promedio de 60,9 (hab/ha) correspondiente a la parte urbana del Distrito Metropolitano de Quito.

En la tabla N.4 se detalla la densidad global y urbana por cada una de las parroquias que conforman la Zona Administrativa Eloy Alfaro.

Tabla 4 Densidad poblacional por parroquia

Parroquia	Densidad Global (hab/ha)	Densidad Urbana (hab/ha)
La Mena	51,0	118,1
Solanda	176,2	178,7
La Argelia	79,8	84,0
San Bartolo	163,1	169,0
La Ferroviaria	103,1	113,5
Chilibulo	57,0	112,9
La Magdalena	106,4	106,4
Chimbacalle	164,0	165,1
Lloa**	0,0	38,1
Total Eloy Alfaro	7,3	124,6

**PARROQUIA RURAL

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, INEC
SECRETARIA DE TERRITORIO, HÁBITAT Y VIVIENDA
Elaboración propia, 2013

En la tabla N.5 se muestra información sobre el número de viviendas y hogares en cada una de las parroquias de la zona de estudio.

Entendiéndose por vivienda al espacio delimitado por paredes y techo, de cualquier material de construcción con entrada independiente, destinada para ser habitado por una o más personas; la que aun cuando no haya sido construida originalmente para tales fines, esté destinada a ser utilizada como vivienda (ECUADOR EN CIFRAS, 2010).

Se considera como hogar a la unidad social conformada por una persona o grupo de personas que se asocian para compartir el alojamiento y la alimentación. Es decir hogar es el conjunto de personas que residen habitualmente en la misma vivienda o en parte de ella (ECUADOR EN CIFRAS, 2010).

Tabla 5 Viviendas y hogares por parroquia de la Administración Zonal Eloy Alfaro

Parroquias	Viviendas	Hogares
La Mena	13.663	12.182
Solanda	24.526	22.313
La Argelia	18.300	15.858
San Bartolo	20.340	18.572
La Ferroviaria	19.898	18.367
Chilibulo	15.458	13.779
La Magdalena	10.489	9.446
Chimbacalle	14.305	12.334
Lloa**	709	439
Total	137.688	123.290

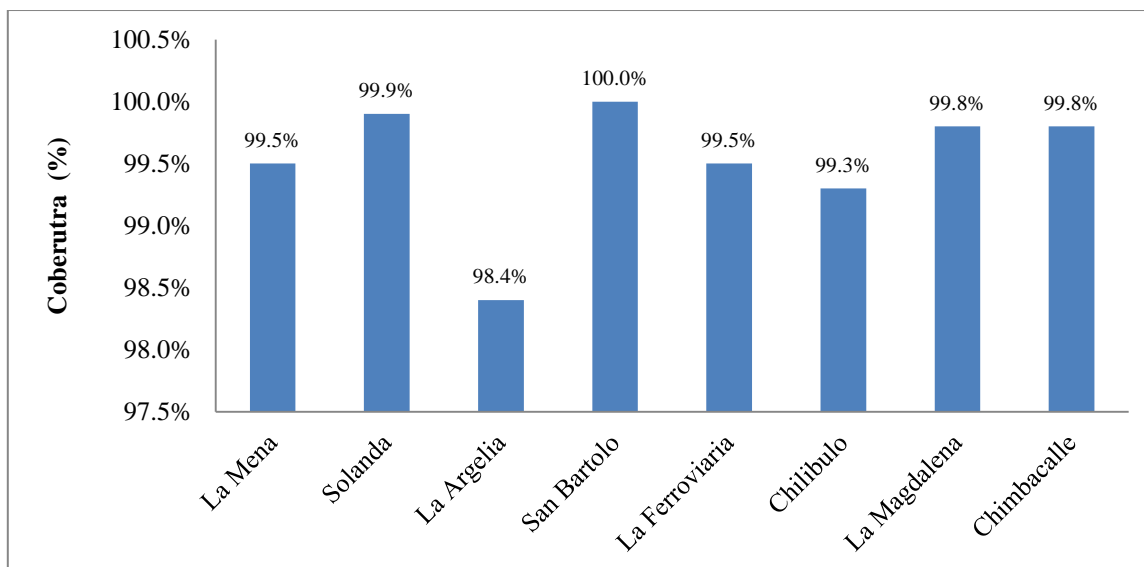
**PARROQUIA RURAL

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, INEC
SECRETARIA DE TERRITORIO, HÁBITAT Y VIVIENDA
Elaboración propia, 2013

La Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda (STHV), en sus indicadores de cobertura de servicios básicos en el Distrito Metropolitano de Quito disponibles en su página web, muestra que el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU) operado por un vehículo recolector de carga posterior dentro de la Administración Zonal Eloy Alfaro, se brinda en todas las parroquias que la componen; cubriendo casi en un cien por ciento la zona urbana, tal como se muestra en el Gráfico N.1.

La Administración Zonal Eloy Alfaro está compuesta por 149 barrios distribuidos en las 8 parroquias urbanas.

Gráfico 1 Porcentaje de Cobertura del Servicio de Recolección de RSU en la Administración Zonal Eloy Alfaro



Fuente: Censo de Población y Vivienda 2010, INEC - Secretaria de Territorio Hábitat y Vivienda (STHV)
Elaboración propia, 2013

En cuanto a la producción per cápita de RSU, el documento *Estudio de caracterización de residuos sólidos del DMQ* elaborado por CASTILLO (2012), la Zona Administrativa Eloy Alfaro tiene un PPC de 0,88kg/hab*día, superando a la generación de las otras administraciones zonales; tal como lo indica la tabla N.6, en cuanto al PPC domiciliario, el cual se refiere a la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios, la zona de estudio produce 0,52 kilogramos por habitante por día.

Tabla 6 Producción Per Cápita por Administración Zonal

ADM ZONAL	Promedio de PPC (kg/hab*día) DOMICILIAR	Promedio de PPC (kg/hab*día) TOTAL
Calderón	0,50	0,75
Eloy Alfaro	0,52	0,88
Eugenio Espejo	0,50	0,83
La Delicia	0,51	0,80
Los Chillos	0,50	0,75
Manuela Sáenz	0,52	0,86
Quitumbe	0,52	0,82
Tumbaco	0,50	0,74
Total general	0,51	0,81

Fuente: EMASEO EP
Elaboración propia, 2013

En base al dato del PPC Domiciliar estimó la cantidad de residuos sólidos urbanos domiciliarios que genera la Administración Eloy Alfaro, para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

Fórmula N.1

$$\text{Generación de RSU} = \frac{\# \text{de suministros de EE} * \text{Promedio de personas por vivienda} * \text{PPC}_{\text{dom}}}{1000}$$

El número de suministros dentro del área urbana de la zona de estudio se determinó en base a la cobertura de suministros de energía eléctrica proporcionados por la Empresa Eléctrica Quito S.A en formato .shp.

Utilizando esta cobertura con la del límite de la Administración Zonal Eloy Alfaro y aplicando la herramienta *Intersect* del software ArcGIS 9.3.1 se obtuvo el dato del número de suministros dentro de la zona de estudio.

Según el censo realizado por el INEC en el año 2010, en el Distrito Metropolitano de Quito, residen un promedio de 3,43 personas por vivienda sin embargo, EMASEO EP considera que la densidad poblacional es mayor en la Administración Zonal Eloy Alfaro por lo que estima que habitan 4 personas por vivienda, valor que fue multiplicado por el número de suministros para así determinar el número de habitantes de la zona.

Aplicando los valores antes mencionados en la fórmula se obtuvo:

$$\text{Generación de RSU} = \frac{145.33 * 4 * 0.52}{1000} = 302.1t/d$$

Deduciendo que la generación de residuos sólidos urbanos en la Administración Zonal Eloy Alfaro es de 302,1 toneladas diarias.

Con los datos estadísticos sobre el número de toneladas recogidas en cada una de las administraciones zonales durante el año 2012, se determinó que la Zona Administrativa Eloy Alfaro fue la segunda administración donde más RSU se recolectaron.

En la tabla N.7 se detallan el número de toneladas recolectadas por mes en cada una de las Administraciones Zonales; en Eloy Alfaro se recogieron 96.242 toneladas durante el año 2012, lo que representa el 19% de la recolección en el Distrito Metropolitano de Quito.

Tabla 7 Número de toneladas recogidas por mes por Administración Zonal

Administración Zonal	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	TOTAL 2012	%
Calderón	2.735	2.495	2.157	2.859	3.514	2.806	2.760	2.993	11.339	12.730	14.552	12.299	73.239	14%
Eloy Alfaro	8.589	7.614	7.374	7.986	8.988	7.442	7.616	8.713	7.256	8.085	8.601	7.978	96.242	19%
Eugenio Espejo	11.047	9.355	9.528	10.323	12.255	11.119	11.028	12.838	6.119	6.928	6.634	6.798	113.972	22%
La Delicia	5.839	4.321	4.845	4.730	6.614	6.048	6.030	6.078	4.946	5.423	5.393	5.491	65.758	13%
Los Chillos	2.313	2.154	1.947	2.272	2.414	2.233	2.293	2.347	4.859	5.511	6.579	5.367	40.289	8%
Manuela Sáenz	4.961	4.656	4.519	4.718	5.737	4.864	4.792	5.519	2.737	3.052	3.278	3.186	52.019	10%
Quitumbe	5.623	5.014	4.576	5.400	5.519	5.052	5.159	5.732	2.218	2.528	2.483	2.558	51.862	10%
Tumbaco	2.045	1.892	1.828	2.107	2.582	2.054	2.034	2.422	1.986	2.375	2.878	2.293	26.496	5%
Total	43.152	37.501	36.774	40.395	47.623	41.618	41.712	46.642	41.460	46.632	50.398	45.970	519.877	100%

Fuente: EMASEO EP
Elaboración propia, 2013

Para estimar cuántas toneladas de RSU se recogen por día, EMASEO EP aplica la siguiente fórmula:

Fórmula N.2

$$\text{Toneladas día} = \frac{\text{Promedio de toneladas recogidas por mes}}{\text{Días operativos del mes}}$$

En base a los datos de la Tabla N.7 se estableció que el promedio de toneladas recogidas por mes en la zona de estudio fue de 8.020 t; EMASEO EP opera un total de 26 días al mes; aplicando estos datos en la fórmula anterior se obtuvo que en la Administración Zonal Eloy Alfaro se recogen 308,5 toneladas por día.

$$\text{Toneladas día} = \frac{8.020 \text{ t}}{26 \text{ d}} = 308.5 \text{ t/d}$$

La Administración Zonal Eloy Alfaro, es la zona con mayor producción per cápita de residuos sólidos urbanos, en comparación con el resto de zonas administrativas del Distrito Metropolitano de Quito (Ver Tabla N.6), dato que puede ser comparado con el número de toneladas de RSU recogidos por EMASEO EP en el año 2012.

En el año 2012, en la zona de estudio se recolectaron 96.242 toneladas, representando el 19% del total del peso recolectado en el DMQ (Ver Tabla N. 7), datos que pueden relacionarse con la densidad poblacional de la Administración Zonal Eloy Alfaro, justificando así estos resultados.

CAPÍTULO I.- DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA ADMINISTRACIÓN ZONAL ELOY ALFARO

Este capítulo tiene como fin estudiar los métodos de recolección de residuos sólidos mediante la descripción detallada de estos, partiendo de un enfoque general para posteriormente especificar las características de ambos tanto en el Distrito Metropolitano de Quito como en la zona de estudio la Administración Zonal Eloy Alfaro.

1.1 RECOLECCIÓN DE RESIDUOS A PIE DE VEREDA

La recolección de residuos sólidos consiste en transportarlos desde el lugar donde se generaron y almacenaron hasta el vehículo recolector, para finalmente ubicarlos en el sitio designado para su disposición final o en una estación de transferencia (SEDESOL, 2004).

La recolección de residuos sólidos para el Distrito Metropolitano de Quito está regida por la Ordenanza Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos número 332, la cual, en su capítulo II, Sección II, Sub Sección IV denominada “Recolección Ordinaria por Sistemas de Acera o Esquinas”, define a este como el método de recolección ordinaria mediante el cual los residuos sólidos se recogerán utilizando vehículos especializados y la intervención directa de una cuadrilla de recolectores capacitados para el efecto; siendo la característica principal de este tipo de servicio la manipulación directa de los residuos sólidos por parte de los trabajadores.

La recolección de RSU requiere de la elaboración de rutas que puedan ser cumplidas en un tiempo definido, tomando en cuenta la localización geográfica, las condiciones y características viales, la cantidad de residuos generados por zona, distancias recorridas, la capacidad de los vehículos y la frecuencia de recolección (BANDALA Y OSORIO, 2011).

En el método denominado a pie de vereda o puerta a puerta, la recolección se efectúa cuando los residuos son dispuestos por los usuarios en la acera ubicada frente a sus domicilios (ORDENANZA METROPOLITANA 332 - MDMQ, 2010), los obreros recogen los recipientes o fundas que han sido colocados sobre la calzada y disponen los mismos en la sección de carga del vehículo, como se puede observar en la fotografía N. 1.

Para este servicio, la empresa EMASEO EP utiliza vehículos de carga posterior o volquetas, estas últimas destinadas a las áreas de difícil acceso.

Fotografía 1 Recolección a Pie de Vereda



Lugar y Fecha: Quito, 2012

Autor: EMASEO EP, 2012

1.1.1 MACRORUTAS DE RECOLECCIÓN

La SEDESOL (1996), en su manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos, define a las macrorutas como la división que se realiza a la ciudad en sectores operativos, a la determinación del número de vehículos necesarios para cada ruta y a la asignación de una zona al camión recolector.

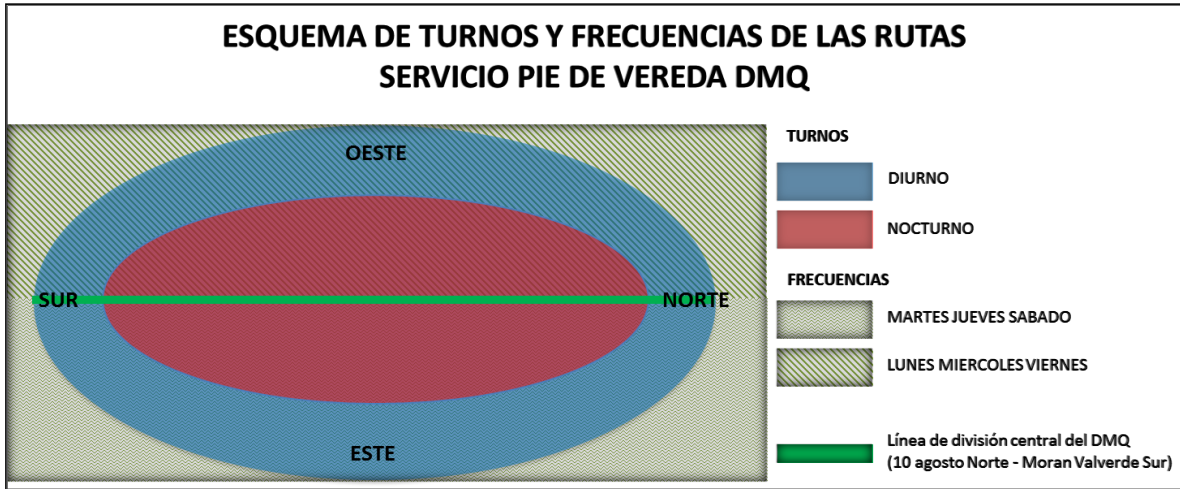
Márquez (2010), menciona que el primer paso para la elaboración de rutas es la partición del territorio en zonas homogéneas, la misma que se realiza tomando en cuenta características como la producción de residuos, topografía y límites determinados por accidentes geográficos o instalaciones urbanas. Esta segmentación de la ciudad en sectores operativos se denomina macrorutas, las cuales permiten conocer el número de vehículos que se requieren para la operación; posterior a esto se debe definir horarios y frecuencias de recolección.

La Ordenanza Metropolitana 332, define a la macroruta como la división geográfica de la zona para la distribución de recursos y equipos de recolección; en el Subcapítulo IV, artículo 14, se precisa al macroruteo como la determinación de rutas para la recolección de residuos. El artículo 16 del mismo Subcapítulo menciona que las entidades que prestan el servicio de recolección deben establecer con precisión el recorrido que deben seguir cada uno de los vehículos recolectores.

EMASEO EP, en el año 2012, dividió al Distrito Metropolitano de Quito en 227 macrorutas (Ver Mapa N.3), distribuidas en 143 diurnas y 84 nocturnas.

El siguiente esquema elaborado por la Gerencia de Operaciones de EMASEO EP, muestra como ha se ha dividido al DMQ para programar las frecuencias y horarios de recolección.

Figura 1 Esquema de turnos y frecuencias de las rutas del servicio pie de vereda



Fuente: Gerencia de Operaciones EMASEO-EP

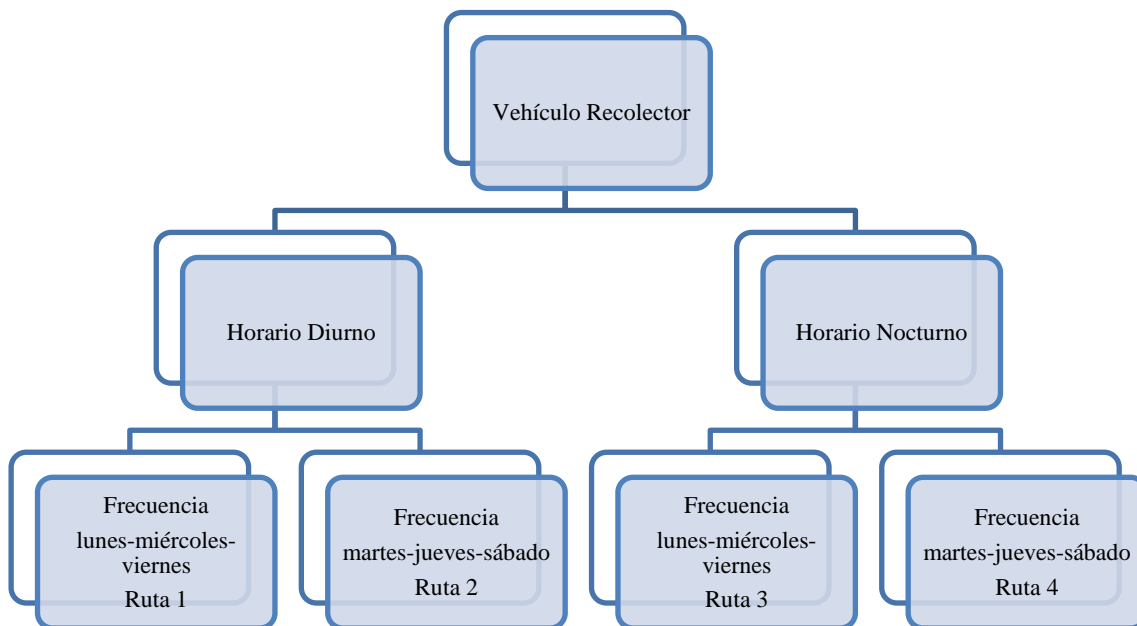
Elaboración: Gerencia de Operaciones EMASEO-EP

Se han tomado las avenidas 10 de Agosto al norte y la Morán Valverde como eje central que divide a la ciudad; las rutas que se encuentran al Oeste de este eje son atendidas en los días lunes, miércoles y viernes; finalmente las rutas que se localizan al Este se atienden en la frecuencia de martes, jueves y sábado.

Una vez establecidas las frecuencias, los horarios se programan tomando en cuenta la división que generan las avenidas Mariscal Sucre y Oriental; todas las rutas que se encuentran entre estas avenidas se atienden en horario nocturno, y las rutas que quedan fuera de estos límites se atienden en horario diurno.

EMASEO EP, con el fin de optimizar la operación y aprovechar toda su maquinaria, genera rutas pares, es decir que un mismo vehículo tiene una frecuencia interdiaria y dos turnos divididos en horario diurno y nocturno, como se muestra en la figura N.2.

Figura 2 Esquema de rutas pares - EMASEO EP



Fuente: Manual Operativo EMASEO EP – 2013

Elaboración propia, 2013

La Administración Zonal Eloy Alfaro actualmente se encuentra dividida en 33 sectores operativos en la parte urbana, los cuales se encuentran representados en el Mapa N.4, según su horario y su frecuencia de recolección.

Para establecer los sectores de recolección del DMQ y de la zona de estudio, EMASEO EP toma en cuenta los siguientes aspectos en los que se basará la presente disertación.

- *Peso*: Es la unidad de medida ya sea en kilogramo (kg) o tonelada métrica (t) que permite dimensionar una ruta en función de la capacidad del vehículo y los habitantes a ser atendidos.
- *Población*: El usuario del servicio de recolección cuya producción per cápita permite establecer un aproximado de la generación de residuos sólidos urbanos en un determinado sector.

- *Capacidad vehicular*

Cada vehículo carga posterior posee una caja compactadora, la cual, según su fuerza mecánica puede reducir el volumen de los residuos para así recoger un mayor número de fundas de residuos dispuestos en las aceras, esta variable relacionada con la capacidad de carga de los vehículos ya sea en yardas cúbicas o toneladas permite dimensionar cuánto peso podrá llevar el vehículo y cuál será el área geográfica que podrá cubrir.

EMASEO EP, tiene una flota vehicular de recolectores carga posterior de 10 y 13 toneladas.

Para la Administración Zonal Eloy Alfaro se han destinado 11 vehículos carga posterior y una volqueta para las áreas cuyas características geográficas imposibilitan el acceso del otro tipo de maquinaria; en la tabla N.8 se detalla la capacidad por cada vehículo.

Tabla 8 Capacidad de carga de la flota vehicular de la Administración Zonal Eloy Alfaro

Código Vehículo	Capacidad (t)
30-120	13
30-125	10
30-129	13
30-132	13
30-133	13
30-134	13
30-135	13
30-136	13
30-137	13
30-138	13
30-149	13
34-15	5

Fuente: EMASEO EP, 2012
Recopilación: Diana Díaz

- *Recurso Humano:* Se refiere al personal que se requiere para cumplir con el servicio de recolección. Los indicadores para el gerenciamiento del servicio de limpieza pública elaborado por el CEPIS (2002), manifiestan que un total de 3 ayudantes por jornada y vehículo, es el rango aceptable para este servicio, dato que es acogido por EMASEO EP. Dentro de este factor se toma en cuenta el número de toneladas que puede levantar un ayudante de recolección en una jornada de trabajo, indicador que permite conocer el rendimiento de los obreros; es así como el CEPIS (2002) determina que en el método de recolección a pie de vereda un ayudante está en capacidad de levantar un promedio de 4,5 a 5 toneladas diarias.

- *Distancia:* Esta variable identifica cuántos kilómetros debe desplazarse un vehículo para cumplir con la zona asignada, tomando en cuenta el desplazamiento desde el centro de operaciones al sector de recolección y a la estación de transferencia.

1.1.2 MICRORUTAS DE RECOLECCIÓN

Según la Ordenanza Metropolitana 332, las Microrutas son la descripción detallada a nivel de calles y manzanas del trayecto que debe seguir el vehículo recolector. Márquez (2010), las define como el recorrido específico que deben cumplir diariamente los vehículos de recolección en las áreas de la población donde han sido asignados.

En cuanto al diseño de Microrutas, la Ordenanza Metropolitana, en el Subcapítulo IV, artículo 17, numerales del 1 al 9; describe los parámetros a seguir para la correcta elaboración de estas.

La elaboración de las Microrutas debe tomar en cuenta dos puntos importantes: el centro de operaciones, que es el lugar del cual sale el vehículo a operar y al cual retorna terminada su jornada y, la estación de transferencia, dónde el recolector deposita los residuos una vez alcanzada su capacidad para poder continuar con la ruta; así cada ruta realizada contempla al menos dos viajes.

El objetivo de las Microrutas es recolectar a cabalidad los residuos sólidos generados por los habitantes del área previamente establecida, tratando de minimizar el tiempo de la operación evitando distancias muertas, es decir: retrocesos del vehículo, exceso de giros, giros en u o a la izquierda y calles de difícil acceso (CERRÓN; 2010).

1.1.3 PROBLEMAS EN EL MODELO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A PIE DE VEREDA

Al finalizar el año 2012, la flota vehicular de EMASEO EP fue de 136 vehículos, de los cuales el 51 % correspondieron a recolectores carga posterior que se utilizan en el servicio de recolección a pie de vereda los cuales se pueden apreciar en la fotografía N.2; además contó con 12 volquetas que se emplean para operar zonas que su condición geográfica no permite el ingreso del vehículo de carga posterior.

Con el fin de cumplir con la disponibilidad de la flota requerida para dar el servicio de recolección, la Gerencia de Maquinaria y Equipo de EMASEO EP, realizar mantenimientos preventivos en base a las horas operativas, lo cual permite determinar dónde se originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición.

Fotografía 2 Vehículos Recolectores Carga Posterior



Lugar y Fecha: Quito, 2012

Autor: EMASEO EP, 2012

La operatividad de los vehículos de recolección, es un índice de eficiencia que permite determinar el porcentaje de vehículos que se encuentran en operación, el rango aceptable es del 85 al 100% de vehículos en operación (CEPIS, 2002). Con esta información, EMASEO EP, puede verificar la cantidad de maquinaria que se encuentra en operación; cuando este indicador baja gradualmente refleja una necesidad de renovación o repotenciación de la flota,

ya que la operatividad muestra el envejecimiento de la maquinaria por el uso (PÁGINA WEB - EMASEO- Indicadores de Gestión 2012).

La operatividad de la flota para el cierre del año 2012 fue del 89% superando así el rango CEPIS para este indicador; sin embargo, los vehículos carga posterior estuvieron un 1% por debajo de este nivel con un resultado del 84% de operatividad (PÁGINA WEB - EMASEO- Indicadores de Gestión 2012).

Del total de la flota utilizada en el servicio de recolección pie de vereda, los vehículos que han superado su vida útil suman 33 carga posterior y 16 volquetas (Ver Tabla N.9).

Según estos datos, el 54% de la maquinaria tipo carga posterior y volqueta ha superado o se encuentra fuera de su vida útil, disminuyendo la garantía de dar un servicio de recolección cien por ciento oportuna.

Tabla 9 Vida útil de la flota vehicular de EMASEO EP a marzo de 2012

Tipo d Maquinaria	Año de la Maquinaria	Cantidad	Vida útil remanente
Recolector carga posterior	1992	4	0
	2002	29	0
	2009	6	7
	2010	28	8
	2011	5	9
Volquetas	1991	7	0
	1994	8	0
	2002	1	0
	2007	2	5
	2010	2	8

Fuente: EMASEO EP, 2012
Elaboración propia, 2013

La operación en el año 2012 dentro de la Administración Zonal Eloy Alfaro se la realizó con 13 vehículos recolectores de carga posterior y una volqueta, los cuales cumplen con la recolección de las 35 macrorutas que conforman el área de estudio. Sin embargo, tomando en cuenta la problemática antes descrita que enfrenta EMASEO EP, la flota destinada a la operación dentro la zona de estudio sufrió varios inconvenientes que afectaron al modelo de recolección a pie de vereda.

Los problemas más usuales en el modelo de recolección de residuos sólidos son el auxilio mecánico y operación en vespertino.

El auxilio mecánico se refiere a daños mecánicos en la flota durante la operación y permite obtener el porcentaje de rutas programadas que fueron afectadas por este problema.

Para el año 2012, el 6% de las rutas programadas reportaron requerir auxilio mecánico, superando en 1% el rango aceptable del 5% determinado por el CEPIS (2002).

En la tabla N.10 se puede observar el número de rutas programadas y la cifra de auxilios mecánicos registrados por mes.

Tabla 10 Auxilios mecánicos por rutas programadas del DMQ 2012

Mes	Auxilios mecánicos	Rutas programadas	% Auxilios mecánicos por mes
Enero	162	3.296	4,9%
Febrero	163	3.134	5,2%
Marzo	196	3.374	5,8%
Abril	157	3.126	5,0%
Mayo	140	3.336	4,2%
Junio	167	3.230	5,2%
Julio	192	3.232	5,9%
Agosto	199	3.311	6,0%
septiembre	214	3.106	6,9%
Octubre	206	3.350	6,1%
noviembre	175	3.234	5,4%
diciembre	206	3.207	6,4%
Total	1.054		6,0 %

Fuente: Página Web EMASEO- Indicadores de Gestión 2012

http://www.emaseo.gob.ec/documentos/2012/ÍNDICES_gestion_diciembre2012.htm

Elaboración propia, 2013

En la Administración Zonal Eloy Alfaro, para el año 2012, se registraron 214 auxilios mecánicos; los cuales se pueden observar en detalle por mes en la tabla N.11.

Tabla 11 Número de auxilios mecánicos registrados en el 2012 en la Administración Zonal Eloy Alfaro

Mes	Número de Auxilios Mecánicos
Enero	19
Febrero	18
Marzo	15
Abril	11
Mayo	18
Junio	10
Julio	15
Agosto	16
Septiembre	24
Octubre	21
Noviembre	15
Diciembre	32
Total general	214

Fuente: Página Web EMASEO- Indicadores de Gestión 2012
http://www.emaseo.gob.ec/documentos/2012/ÍNDICES_gestion_diciembre2012.htm
 Elaboración propia, 2013

Se elaboró un mapa térmico (Ver Mapa N.5) en el que se pueda observar el número de auxilios mecánicos por sector de recolección, que han sido reportados durante el año 2012 en el área de estudio.

La categorización se ha realizado clasificando al reporte de auxilios mecánicos en:

- Reincidencia alta
- Reincidencia media
- Reincidencia baja

Con este mapa se puede determinar los sectores de recolección que requerirán de mayor atención al momento de elaborar el rediseño de rutas.

Otro de los problemas que se suscitan en el modelo de recolección se conoce como operación en vespertino, esta se define como el número de vehículos de recolección que no salieron a trabajar en el turno establecido debido a desperfectos mecánicos (Ver Fotografía N.3).

En el año 2012, el promedio de vehículos que no pudo salir a operar en la jornada programada, debido a desperfectos mecánicos, fue de 11 por día (PÁGINA WEB - EMASEO- Indicadores de Gestión 2012).

Fotografía 3 Vehículos Recolectores en Talleres Mecánicos



Lugar y Fecha: Quito, 2012

Autor: EMASEO EP, 2012

En la tabla N. 12 se muestra el número de vehículos por mes que no operó dentro de la jornada programada en cada una de las Administraciones Zonales durante el año 2012, siendo Eloy Alfaro la zona que más registros presentó debido a problemas mecánicos de la flota.

Tabla 12 Número de vehículos que operaron fuera de la jornada programada

Administración Zonal	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total general
Calderón	4	5	9	3	14	2	2	3	1	0	2	0	45
Eloy Alfaro	5	1	1	1	23	20	17	5	0	9	1	0	83
Eugenio Espejo	0	1	0	0	0	0	4	3	2	1	4	0	15
La Delicia	12	3	1	4	1	3	2	1	1	6	2	0	36
Los Chillos	5	5	3	6	6	4	8	11	4	17	5	0	74
Manuela Sáenz	2	5	1	2	2	1	1	3	9	3	2	0	31
Quitumbe	12	0	5	1	2	5	8	2	7	14	5	0	61
Tumbaco	7	3	4	3	2	3	1	0	0	0	2	0	25
Total general	47	23	24	20	50	38	43	28	24	50	23	0	370

Fuente: Página Web EMASEO- Indicadores de Gestión 2012

http://www.emaseo.gob.ec/documentos/2012/ÍNDICES_gestion_diciembre2012.htm

Elaboración propia, 2013

1.2 SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR MEDIO DE CONTENEDORES

Dentro de la Ordenanza Metropolitana 332, sobre la Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito Metropolitano de Quito, en la Sub Sección V, se menciona el método de Recolección Ordinaria por Sistema Contenerizado y se lo define como la recolección en la cual no existirá manipulación directa de los residuos sólidos por parte de personas que operan y solo se efectuará por medio de vehículos especializados para esta técnica (Ver Fotografía N.4).

La Gerencia de Operaciones de EMASEO EP, en su manual operativo 2012, se refiere a la contenerización como el sistema integrado de recolección de residuos (RSU) que contempla contenedores técnicamente ubicados, un sistema de carga-compactación, un lavador de contenedores y mantenimiento preventivo-correctivo de los mismos.

1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) CON LA MODALIDAD DE CONTENEDORES

El servicio de recolección de residuos sólidos domiciliarios (RSU) mediante contenedores empieza a partir de la instalación de los mismos en la vía pública de la ciudad. Su ubicación debe permitir el fácil acceso a los usuarios, no deben obstaculizar ni el tránsito peatonal ni el vehicular y debe facilitar la operación del camión recolector y lavador; finalmente debe disponer de la capacidad de recepción las 24 horas del día y los 365 días del año (ORDENANZA 332 – MDMQ, 2010; EMASEO EP, 2012).

La Ordenanza Metropolitana 332, en el Subcapítulo III “Recolección Ordinaria por Sistema Contenerizado”, artículo 13, menciona que los contenedores son receptáculos de almacenamiento temporal de residuos sólidos; su ubicación debe ser técnica de tal manera que garantice a la ciudadanía el fácil acceso y deben cubrir la demanda real de la zona, por lo que la distancia entre contenedores debe tomar en cuenta la densidad poblacional y posibilidad de recolección.

Los contenedores que se han empleado en el proyecto de contenerización del Distrito Metropolitano de Quito, tienen una capacidad de 3.200 y 2.400 litros, la ubicación de los mismos requiere de un previo análisis espacial en el que se toma en cuenta elementos como la densidad poblacional y la cercanía a actividades comerciales, lo que determinará la capacidad del contenedor, finalmente la disposición de los contenedores se establece considerando que el desplazamiento de los usuarios no sea mayor a una cuadra (EMASEO EP; 2012).

Al igual que en el método de recolección a pie de vereda, el servicio de recolección por contenedores, requiere de la segmentación de la ciudad en sectores, así como la definición de horarios y frecuencias; cada sector es operado en dos viajes, los cuales puedes variar de acuerdo al volumen de generación de residuos.

En cuanto a la operación, el camión de carga lateral, sólo transita en las calles donde efectivamente se ubique un contenedor, y realiza en promedio un solo recorrido por cuadra.

Fotografía 4 Sistema de Recolección por Contenedores



Lugar y Fecha: Quito, 2012

Autor: EMASEO EP, 2012

1.2.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN POR MEDIO DE CONTENEDORES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO Y EN LA ADMINISTRACIÓN ELOY ALFARO

Para la implementación del proyecto de recolección por medio de contenedores, EMASEO EP junto con la consultora GOMEZ ROSERO, elaboraron en el año 2011 el *Modelo de gestión para la implementación del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos mediante técnicas de contenerización*, este documento contiene el estudio del sistema integrado de recolección contenerizada, el cual comprende: el diagnóstico de la situación actual de EMASEO EP, el modelo de recolección a pie de vereda y la propuesta del nuevo método de contenerización; en el año 2012 este documento se actualizó y se denominó *Estudio Definitivo del Sistema Integrado de Recolección Contenerizada*.

Para determinar las áreas dentro del DMQ factibles de contenerizar, el estudio realizó un análisis de zonificación, el cual consideró como factor principal la densidad poblacional y el grado de consolidación.

La información sobre la población y el grado de consolidación fue tomada del Plan General de Desarrollo Territorial del Distrito Metropolitano de Quito 2000-2020. En primer lugar se tomó en cuenta las clases del suelo en el DMQ: suelo urbano, suelo urbanizable y suelo no urbanizable.

Cabe aclarar que a la fecha, esta clasificación ya no se encuentra vigente y fue modificada según la Ordenanza 172 (2011), la cual en el Título II, Capítulo 1, artículo 8, clasifica al suelo en función de su aprovechamiento en urbano y rural; sin embargo, para efectos descriptivos y de análisis se mantendrá la clasificación del Plan General de Desarrollo Territorial del Distrito Metropolitano de Quito 2000-2020 la cual describe:

- *Suelo urbano* es aquel que cuenta con vías, redes públicas de servicios e infraestructura a más de ordenamiento urbanístico definido y aprobado. Este suelo por su uso genérico puede ser residencial, comercial, industrial, de equipamiento y de protección especial.
- *Suelo urbanizable* es el que cuenta con planeamiento e infraestructura parcial, susceptible de ser incorporado al proceso urbanizador tomando en cuenta las normas del Plan General de Desarrollo Territorial (PGDT).
- *Suelo no urbanizable* es aquel no incluido en las categorías precedentes y merece una protección especial desarrollo y gestión por su valor, uso y/o vocación ecosistémica, agropecuaria, forestal, paisajística e histórico-cultural.

Considerando la información sobre las clases de suelo, las características de ocupación del territorio y urbanización, las condiciones de constructibilidad y la disponibilidad de infraestructura, se definió a la población en el área urbana y urbanizable y se identificaron cuatro procesos de ocupación y desarrollo urbanístico siendo estos: consolidado, en consolidación, en incorporación y de conservación o protección (PLAN GENERAL DE DESARROLLO TERRITORIAL DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO 2000-2020).

Con estas consideraciones sobre las clases de suelos, la distribución de la población en áreas urbanas y urbanizables y las características de consolidación, se dividió al DMQ en zonas de estudio bajo los siguientes criterios: límites y topografía del territorio, densidad poblacional, consolidación urbana, comportamiento socio-económico y la viabilidad (Ver Tabla N.13).

Tabla 13 Zonas de División del DMQ según características del PGDT

Zona	Características
Zona Sur	<ul style="list-style-type: none"> - Residencial - Significativo uso industrial - Amplias zonas vacantes pero con suelos no aptos para construcción intensiva. - En consolidación
Zona Centro Sur	<ul style="list-style-type: none"> - Uso residencial - Incremento de población - Consolidación Final
Zona Centro	<ul style="list-style-type: none"> - Características históricas - Incremento de Población - Consolidada y en proceso de renovación.
Zona Norte	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad de áreas verdes - En proceso de consolidación e incorporación.
Pomasqui, San Antonio y Calacalí	<ul style="list-style-type: none"> - Funciones turísticas y residenciales - Aumento de Población
Zona de Calderón y Llano Chico	<ul style="list-style-type: none"> - Características residenciales - Aumento de población
Parroquias de Nayón y Zábiza	<ul style="list-style-type: none"> - Uso residencial
Zona Tumbaco y Cumbaya	<ul style="list-style-type: none"> - Uso predominante residencial - Zona de extensión de centralidad de Quito
Zona de Los Chillos	<ul style="list-style-type: none"> - Residencial

Fuente: Plan General De Desarrollo Territorial Del Distrito Metropolitano De Quito 2000-2020
Elaboración propia, 2013

Como primera división del DMQ se contemplo el área que conforma el límite de las vías del pico y placa,³ determinando que la zona que se encuentra dentro de este perímetro presenta una mayor consolidación urbana y por ende más producción de residuos sólidos urbanos.

³ Medida de restricción a la circulación de vehículos motorizados, seleccionado de acuerdo al último dígito de las placas, por un día laborable de la semana y durante los períodos de hora pico de circulación vehicular

El área que se encuentra dentro del límite de pico y placa presenta varias particularidades, así por ejemplo, se destaca al centro histórico cuyas características como las calles angostas, alta concentración de población y su condición de patrimonio cultural hacen que requiera otro tipo de intervención; por otro lado, en el norte de la ciudad se encuentra la zona del antiguo aeropuerto, la cual enfrenta un cambio de uso del suelo debido a su salida y se estima un nuevo nivel de desarrollo urbano.

En base a estos factores EMASEO EP, divide a la superficie dentro del límite del pico y placa en 2 zonas factibles de ser contenerizadas, el territorio fuera de este ha sido considerado como no apto para la implementación del servicio de contenerización, tal como se observa en el Mapa N.6.

Con esta división se realizó un proceso de priorización de las zonas, el cual permitió identificar aquellas que presentaban los factores necesarios para la implementación inmediata del proyecto de contenerización.

Los factores en los cuales se basó esta priorización de zonas fueron:

- **Densidad Poblacional:** Número de habitantes que serían servidos dentro de una zona específica. Mientras mayor densidad poblacional tuvo una zona, mayor fue la incidencia en el proyecto de contenerización.
- **Producción de RSU:** Es la cantidad de residuos sólidos urbanos que genera un área específica, a mayor cantidad de RSU generados más notable es este factor.
- **Topografía:** Se refiere a las facilidades que ofrece el área de estudio para la ubicación de contenedores tomando en cuenta el grado de las pendientes.
- **Consolidación:** Se analizó el nivel de desarrollo de la zona, si es definitivo o si se encuentra en proceso de cambio; se consideró el número de lotes vacíos, la disponibilidad de servicios básicos e infraestructura. Aquellas zonas que mostraron

estar ya consolidadas o que la mayoría de sus espacios estuvieran ya ocupados tuvieron una mayor incidencia.

- **Infraestructura Vial:** Se refiere a las facilidades viales que ofrece cada zona para la recolección mediante contenerización; se tomó en cuenta la amplitud de las vías, características de construcción y el estado de las mismas.

Una vez obtenidos estos criterios se procedió a la valoración y ponderación de los mismos, se estableció una escala de implementación dividida en inmediata, mediata y final.

Con esta calificación se determinó que las zonas uno y dos (Ver Mapa N.6) pueden ser intervenidas inmediatamente.

La Secretaría General de Coordinación Territorial y Participación Ciudadana, mediante Oficio SGCTPC-1560, expresa el interés que la actual Administración del Distrito Metropolitano de Quito tiene de brindar mayor atención al sur de la ciudad, para lo que se propone implementar el servicio de Contenerización en esta zona de manera inmediata (PROYECTO DE CONTENERIZACIÓN FASE II, 2012).

Este pedido surge de la necesidad urgente de solucionar la problemática existente con el servicio de recolección de RSU en el sur de la ciudad, la que se origina debido al incumplimiento de los horarios en los que la ciudadanía debe sacar la basura; esta situación ha llevado a EMASEO EP a modificar las rutas de recolección a pie de vereda, en las cuales se realizan repasos para garantizar un cumplimiento del servicio, lo cual encarece la operación (PROYECTO DE CONTENERIZACIÓN FASE II, 2012).

Con estos antecedentes, y en búsqueda de una solución a esta problemática, se ha propuesto continuar con la implementación del servicio integrado de recolección contenerizada en la Administración Zonal Eloy Alfaro.

El proyecto de contenerización en el sur del DMQ, que ocupa parte de la Administración Zonal Eloy Alfaro, se denomina Sector 6 (Ver Mapa N.7), el cual está limitado al Sur por la

Av. Morán Valverde, al Oeste la Av. Occidental, al Este la Av. Maldonado y al Norte la intersección de la Av. Cardenal de la Torre y Av. Teniente Hugo Ortiz.

Este método de recolección al igual que el método a pie de vereda requiere de la segmentación del territorio en macrorutas, el sector 6 de contenerización ha sido segmentado en 7 macrorutas (Ver Mapa N.8). En la Tabla N.14 se detallan las nuevas rutas de contenerización, el número de habitantes beneficiados, así como la estimación de RSU que se generarán en cada macroruta.

Tabla 14 Detalle de la generación de RSU de las macrorutas del Sistema Contenerizado en la Administración Zonal Eloy Alfaro

MACRUTAS	POBLACION	PPC ⁴ Domiciliario	GENERACION (t/día)
Mercado Mayorista	15359,54	0,522	8,02
Parque Lineal	13027,14	0,522	6,80
Quito Sur	17369,52	0,522	9,07
Quitumbe	14944,51	0,522	7,80
Solanda 1	18154,99	0,522	9,48
Solanda 2	18717,51	0,522	9,77
Turubamba Alto	18148,13	0,522	9,47
Turubamba Bajo	17108,84	0,522	8,93
TOTAL	132830,18		69,34

Fuente: EMASEO EP, 2012
Recopilado por: Diana Díaz

La implementación del sistema de contenerización en el área de estudio beneficiará a aproximadamente a 133.000 habitantes y recolectará 69,34 t/día de residuos sólidos domiciliarios.

El promedio de toneladas generadas para el año 2012 en la Administración Zonal Eloy Alfaro fue de 302,1 t/día, por lo que el sistema de contenerización recolectará un 22,9% de toda la producción, dejando un aproximado de 233 t/día que aún deberán ser recolectadas bajo la modalidad de servicio a pie de vereda.

⁴ Revisar Marco Conceptual

La ejecución de la contenerización generará cambios al sistema actual de recolección a pie de vereda del área de estudio, como la liberación de recurso mecánico y humano. Esta liberación será parcial o completa dependiendo de la asignación previa de recursos necesarios para la operación, como lo son el número de obreros y el número de vehículos.

En la Tabla N.15 se detallan los recursos mecánicos y humanos que serán liberados completamente, es decir de lunes a sábado durante la jornada nocturna; lo que significa que la maquinaria y el personal queda completamente disponible para ser reasignados a otro sector.

Tabla 15 Cantidad de Recursos del Servicio a Pie de Vereda disponibles a reasignarse completamente

Recurso Mecánico	Macrorutas de recolección a pie de vereda reemplazados por Contenerización		Recurso Humano	
	Lunes- Miércoles - Viernes	Martes- Jueves - Sábado	Conductores	Ayudantes de Recolección
30-133	Solanda 2	Mercado Mayorista	1	3
30-135	Quito Sur	Turubamba Alta y Baja	1	3
TOTAL			2	6

Fuente: EMASEO EP, 2012
Elaboración propia, 2013

La tabla N.16 muestra el número de recursos que serán liberados parcialmente, es decir durante la frecuencia de lunes, miércoles y sábado en la jornada nocturna; dejando disponible un total de 4 conductores y 12 ayudantes que pueden ser reasignados para operar en un nuevo sector durante los días y el horario antes mencionado.

Tabla 16 Cantidad de Recursos del Servicio a Pie de Vereda disponibles a reasignarse parcialmente

Recurso Mecánico	Macrorutas de recolección a pie de vereda reemplazados por Contenerización	Recurso Humano	
Vehículo	Rutas lunes, miércoles y viernes	Conductores	Ayudantes de Recolección
30-129	Turubamba Alto	1	3
30-149	Estadio del Aucas	1	3
30-134	Solanda 1-3	1	3
30-132	Unión y Justicia	1	3
TOTAL		4	12

Fuente: EMASEO EP, 2012
Elaboración propia, 2013

La Contenerización, tiene como objetivo mejorar el servicio de recolección de RSU en el DMQ, en base a la implementación de nuevas tecnologías que permitan este fin; para lo cual se requirió de la elaboración de un estudio previo para determinar la factibilidad de instalar este método de recolección en la ciudad.

El estudio elaborado, el cual tomó características físicas, geográficas y demográficas del DMQ, permitió establecer zonas factibles a ser contenerizadas inmediatamente, eligiendo el norte del área urbana de la ciudad como lugar piloto para la implementación de este servicio, para posteriormente instalarlo en el área de estudio.

La puesta en marcha de este servicio implicó la modificación del actual modelo de recolección de RSU que maneja en EMASEO EP; como la restructuración de las macrorutas y la reasignación de recursos mecánicos y humanos, los cuales se efectuaron tomando en cuenta las características de los dos métodos de recolección que se prestarán en la Administración Zonal Eloy Alfaro.

CAPÍTULO II: PROPUESTA DE REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A PIE DE VEREDA EN LA ADMINISTRACIÓN ELOY ALFARO

2.1 REFORMULACIÓN DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN A PIE DE VEREDA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Una vez implementado el proyecto de contenerización en la Administración Zonal Eloy Alfaro, se ha requerido reformular el modelo de recolección a pie de vereda en las zonas que aún mantendrán este tipo de servicio.

Esta reformulación se realizará tomando en cuenta los parámetros descritos en el documento, *Indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública* (2002, en el cual la empresa EMASEO EP basa su operación.

Este procedimiento abarca las siguientes etapas:

- Definición de las macrorutas de recolección
- Estimación de la cantidad de residuos sólidos generados
- Definición de los horarios y frecuencias de recolección domiciliaria
- Características y dimensionamiento de la flota de recolección
- Cálculo del número de viajes
- Determinación de las microrutas de recolección

2.1.1 DEFINICIÓN DE LAS MACRORUTAS DE RECOLECCIÓN

La implementación del sistema de contenerización afectó al actual modelo del servicio de recolección a pie de vereda elaborado por EMASEO EP, el cambio principal que se produce como resultado del sistema de recolección contenerizada es la eliminación completa o parcial de zonas con recolección a pie de vereda.

Este cambio obligó a la reestructuración de las macrorutas de recolección, la misma que se elaboró dentro de la presente disertación bajo la siguiente metodología:

- Trabajo de campo
- Seguimiento de la flota vehicular por medio del sistema AVL⁵
- Rediseño de los sectores de recolección

2.1.1.1 TRABAJO DE CAMPO

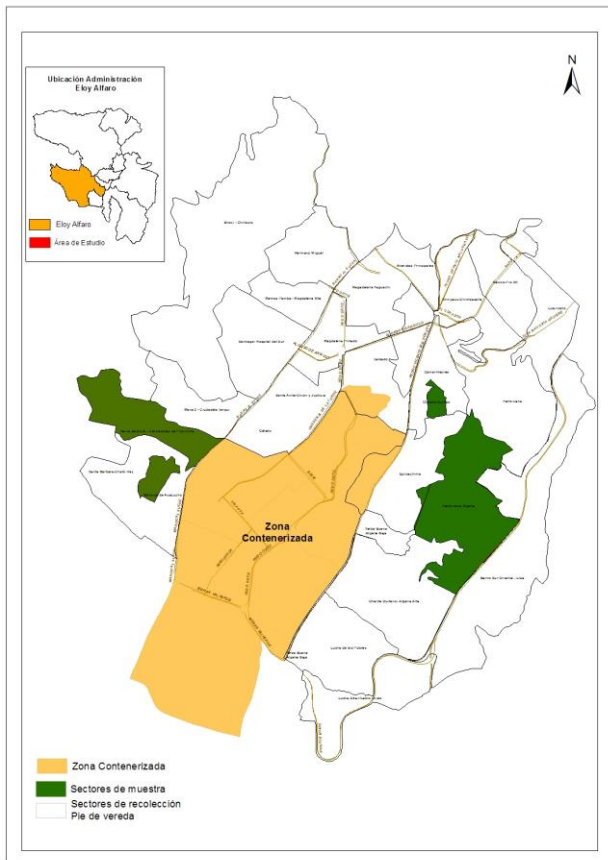
El trabajo de campo tuvo como objetivo reconocer el área de estudio, identificar las fases del modelo de recolección de RSU del servicio a pie de vereda, estimar el tiempo promedio que dura cada etapa de la operación, determinar el rendimiento (número de toneladas recogidas por hora operativa) y verificar la realización del servicio en base a los sectores anteriormente diseñados por EMASEO EP.

⁵ Revisar Marco Conceptual

- Metodología del trabajo de campo

En primer lugar se escogieron tres macrorutas de recolección de la zona de estudio, tomando en cuenta su frecuencia, su horario y su ubicación geográfica dentro de la Administración Zonal Eloy Alfaro, para obtener una muestra heterogénea que nos permitiera conocer el proceso de recolección bajo diferentes escenarios (Ver Figura N.3).

Figura 3 Ubicación Geográfica de las macrorutas escogidas para el trabajo de campo



Elaboración propia, 2013

Con esta información se estableció el cronograma para el trabajo de campo el cual se detalla en la Tabla N.17.

Tabla 17 Macrorutas de recolección escogidas para trabajo en campo

Macrorutas	Frecuencia	Horario	Trabajo de Campo
Chagarquingo	Martes – Jueves - Sábado	Nocturno	Sábado 20 julio 20:25 pm a Domingo 21 de Julio a 2:20 am
Reino de Quito - Vencedores de Pichincha	Lunes – Miércoles - Viernes	Nocturno	Miércoles 24 de Julio 20:00 pm a Jueves 25 de Julio 02:50 am
Ferrovial Argelia	Martes – Jueves - Sábado	Diurna	Sábado 3 de Agosto de 7:56 am a 14:35 pm

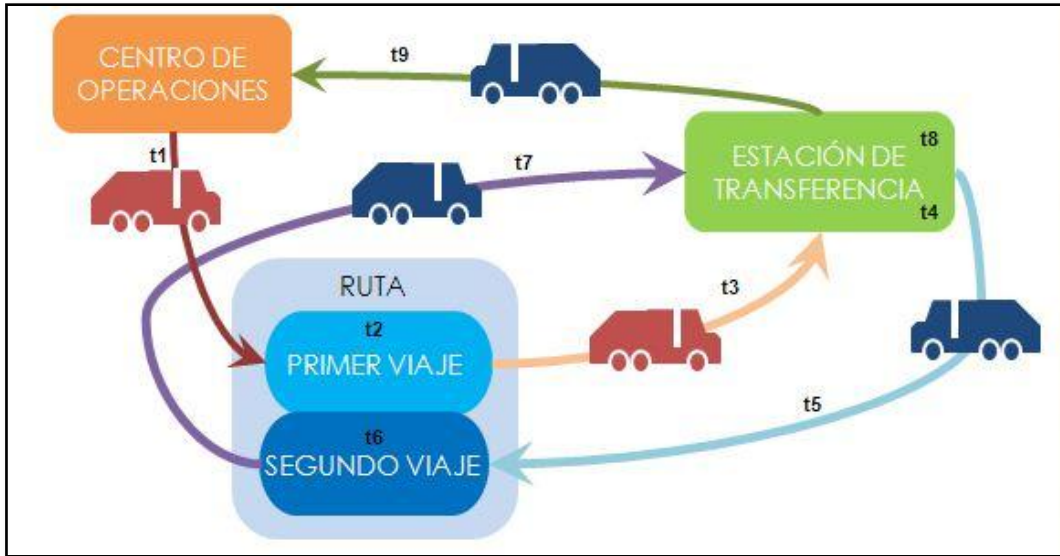
Elaboración propia, 2013

Una vez escogidos los sectores y los días se prosiguió con el seguimiento del vehículo recolector durante toda la jornada para así cumplir con los objetivos planteados.

- *Resultados del trabajo de campo*

El modelo de recolección de residuos a pie de vereda de EMASEO EP, tiene varias etapas o tiempos que consisten en: traslados, recolección y descarga de los residuos en la estación de transferencia, los cuales se detallan en la figura N.4.

Figura 4 Modelo de recolección a pie de vereda EMASEO EP



Elaboración: Gerencia de Operaciones EMASEO-EP

Este prototipo es similar al descrito en el trabajo de MARQUEZ (2006), *Macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales*; el cual propone la siguiente fórmula para calcular el tiempo del proceso de recolección de RSU.

Fórmula N.3

$$T = t0 + t1 + t2 + t3 + t4 + t5 + t6 + t7 + t8$$

Donde:

t0 = tiempo en el garaje antes de salir a ruta

t1 = tiempo recorrido del garaje a la primera ruta de recolección

t2 = tiempo de recolección en la ruta 1

t3 = tiempo recorrido de la primera ruta al sitio de disposición final

t4 = tiempo de descarga en el sitio de disposición final incluyendo esperas

t5 = tiempo recorrido del sitio de disposición final a la segunda ruta

t6 = tiempo de recolección en la ruta 2

t_7 = tiempo recorrido de la segunda ruta al sitio de disposición

t_8 = tiempo recorrido del sitio de disposición final al garaje

Acoplando la fórmula N.3 al modelo de recolección de EMASEO EP se generó la siguiente expresión:

Fórmula N.4

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9$$

Donde:

t_1 = tiempo recorrido desde el Centro de Operaciones de EMASEO EP “La Forestal” a la primera ruta de recolección

t_2 = tiempo de recolección de la ruta 1

t_3 = tiempo recorrido del final de la primera ruta a la estación de transferencia ET SUR

t_4 = tiempo de descarga en la estación de transferencia ET SUR

t_5 = tiempo recorrido desde la estación de transferencia ET SUR a la segunda ruta

t_6 = tiempo de recolección en la ruta 2

t_7 = tiempo recorrido del final de la segunda ruta a la estación de transferencia ET SUR

t_8 = tiempo de descarga en ET SUR

t_9 = tiempo recorrido de la estación de transferencia ET SUR al Centro de Operaciones de EMASEO EP “La Forestal”

El cálculo de los datos sobre el tiempo empleado en cada una de las fases de recolección se obtuvo utilizando un cronómetro y registrando los datos de la hora de inicio y fin de cada etapa, ejercicio que se repitió para cada una de las macrorutas de muestra. La información lograda se detalla en la tabla N.18.

Tabla 18 Detalle de tiempos de operación y promedio de duración de las fases del servicio de recolección de RSU

RUTA	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	TOTAL	Sumatoria tiempo recolección (t2+t6)	Sumatoria Tiempo de traslado (t1+t3+t5+t7+t9)	Promedio tiempo de descarga [(Xt4+Xt8) /2]
Chaguarquingo	0:06	2:43	0:23	0:09	0:14	1:24	0:30	0:12	0:15	5:56	4:07	1:28	-
Ferrovial Argelia	0:11	3:53	0:06	0:06	0:09	1:53	0:17	0:05	0:15	6:55	5:46	0:58	-
Reino de Quito - Vencedores de Pichincha	0:40	3:36	0:30	0:07					0:15	5:08	3:36	1:25	-
PROMEDIO				0:07				0:08				1:17	0:07

Elaboración propia, 2013

El rendimiento de la operación permite conocer la relación entre la cantidad de toneladas que se recolectan y el tiempo que toma esta actividad (toneladas/ tiempo total de recolección). La disminución del valor obtenido se refleja en el aumento del costo del servicio (CEPIS, 2002).

La fórmula que se aplicó fue:

Fórmula N.5

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso recolectado (t)}}{\text{Tiempo de recolección (expresado en decimales)}}$$

Esta fórmula aplicó para cada viaje realizado por el vehículo recolector así como para la operación total.

La información sobre el peso recolectado en cada viaje por el vehículo recolector de EMASEO EP, se consultó de la página web http://pesos.emaseo.gob.ec/Peso_Online/.

En la tabla N.19 se detalla el cálculo efectuado para determinar el rendimiento promedio de la operación de la Administración Zonal Eloy Alfaro, el cual se obtuvo de la división del promedio del peso para el promedio del tiempo expresado en decimales, estableciendo que en el área de estudio es factible recoger 3,21 t/h (toneladas en una hora).

Tabla 19 Cálculo del rendimiento de promedio de operación en la Administración Zonal Eloy Alfaro

MACRORUTA	Viajes	Peso	Tiempo (expresado en decimales)	Rendimiento (t/h)
Camal - Recreo	Primer Viaje	9,94	2,72	3,66
	Segundo Viaje	4,78	1,40	3,41
	Subtotal	14,72	4,12	3,58
Reino de Quito - Vencedores de Pichincha	Primer Viaje	11,92	3,60	3,31
	Subtotal	11,92	3,60	3,31
Ferroviaria Argelia	Primer Viaje	11,93	3,88	3,07
	Segundo Viaje	6,07	1,88	3,22
	Subtotal	18,00	5,77	3,12
PROMEDIO		14,88	4,49	3,31

Elaboración propia, 2013

Para verificar que el vehículo recolector opera dentro de las macrorutas establecidas por EMASEO EP, se utilizó la aplicación *My Tracks* del Sistema Operativo Androide para teléfonos móviles, la cual fue descargada en un teléfono inteligente que tiene incorporado un sensor GPS.

Esta aplicación permite grabar el recorrido de una actividad, visualizar los datos en tiempo real, obtener información como coordenadas geográficas, velocidad, distancia y elevación.

El recorrido final puede exportarse en archivos tipo GPX, KML, CVS y TCX los cuales pueden ser importados al software ArcGIS 9.3.

Figura 5 Aplicación My Tracks



Fuente: Aplicación My Tracks

El Mapa N.9 representa la información geográfica de cada uno de los recorridos, obtenida a través de la aplicación My Tracks; la cual fue exportada en formato .CVS con los siguientes datos: latitud, longitud, velocidad y tiempo; los mismos que se incorporaron al software ArcGIS 9.3.1 generando una cobertura de puntos.

La aplicación permite además, descargar el recorrido en formato .GPX, la cual mediante la herramienta *GPS to SHP* del ArcToolbox permite transferir esta información en una cobertura shapefile de tipo línea.

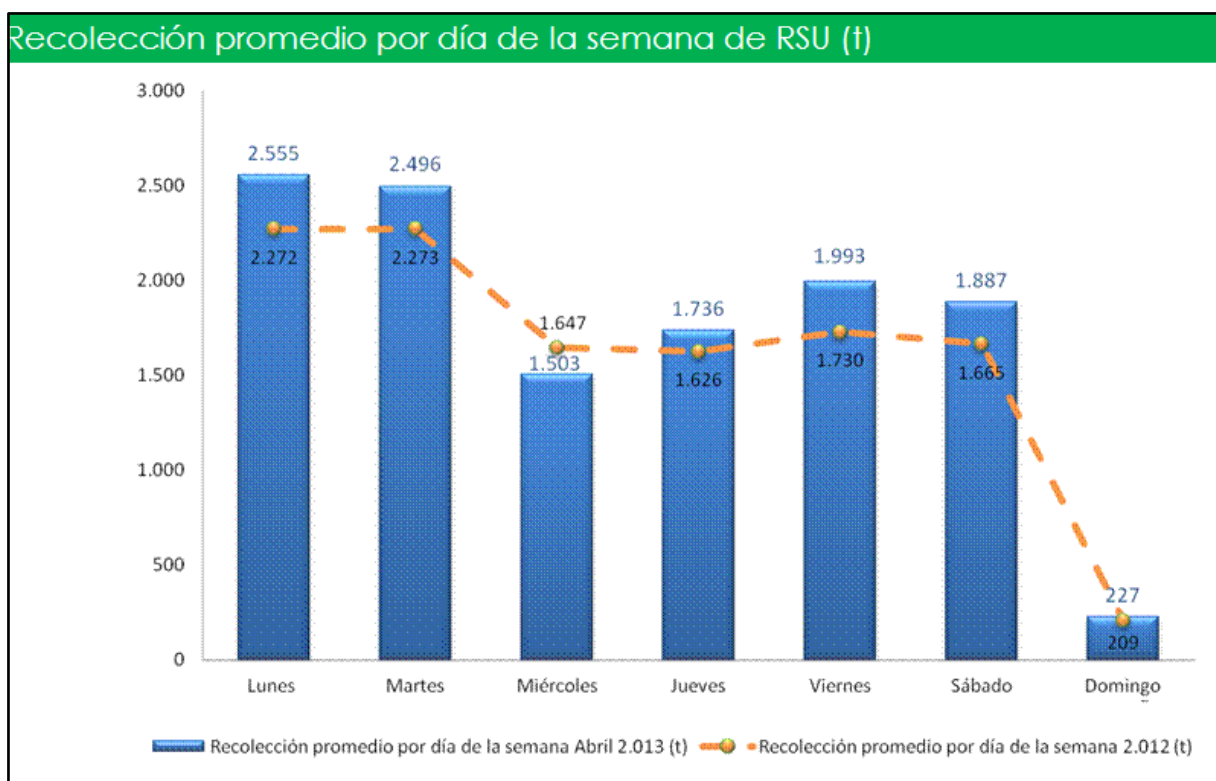
- Conclusiones del trabajo de campo

En las zonas donde se elaboró el trabajo de campo, se determinó que el tiempo promedio que se requiere para completar la fase de recolección, con un mínimo de dos viajes, es de cuatro horas y media y la operación total tiene una duración promedio de seis horas.

Se pudo evidenciar que existen macrorutas que pueden completarse en un solo viaje, como el sector Reino de Quito - Vencedores de Pichincha, cuyo trabajo de campo se realizó el día miércoles 24 de julio de 2013; esto responde al comportamiento que tiene el modelo de recolección de RSU en el DMQ, donde los días lunes y martes, considerados días picos, se recogen una mayor cantidad de residuos.

En la figura N.6 se muestra el promedio de toneladas recogidas por día durante el mes de mayo de 2013 en el Distrito Metropolitano de Quito.

Figura 6 Promedio de toneladas recogidas por día durante el mes de mayo de 2013



Fuente: http://www.emaseo.gob.ec/documentos/2013/ÍNDICES_gestion_mayo2013.htm

Generalizando los datos obtenidos en el trabajo de campo, se determinó que en la Administración Zonal Eloy Alfaro es factible recoger un promedio de 3,31t/h (toneladas por hora de trabajo).

El seguimiento al vehículo recolector (Fotografías N.5 a N.6), permitió confirmar que algunas de las microrutas que se ejecutan actualmente operan fuera de los límites de las macrorutas de recolección establecidos; este es el caso del recolector de la ruta Chaguarquingo la cual opera atravesando dos macrorutas adicionales a la que se le ha sido designada como se puede observar en el Mapa N.10.

Fotografía 5 Seguimiento del vehículo recolector jornada nocturna



Lugar y Fecha: Quito, 20 Julio de 2013
Autor: Diana Díaz



Lugar y Fecha: Quito, 20 Julio de 2013
Autor: Diana Díaz

Fotografía 6 Seguimiento del vehículo recolector jornada diurna



Lugar y Fecha: Quito, 3 de agosto de 2013
Autor: Diana Díaz



Lugar y Fecha: Quito, 3 de agosto de 2013
Autor: Diana Díaz

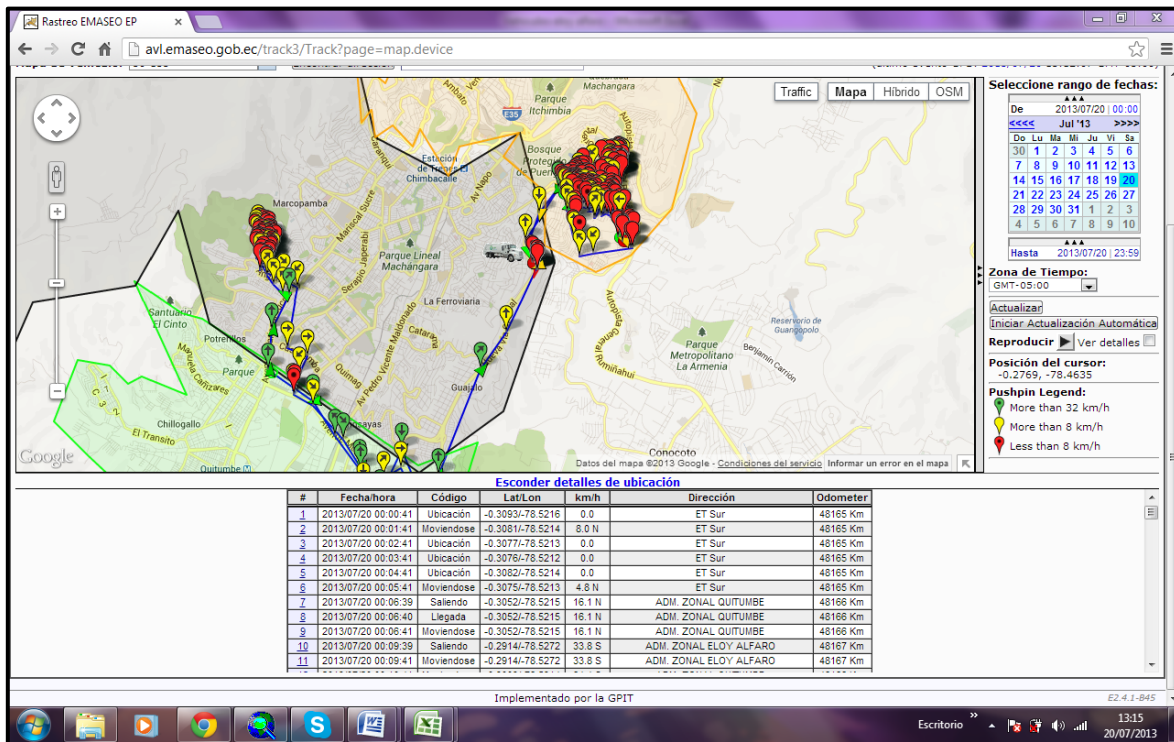
2.1.1.2 MONITOREO DEL VEHÍCULO POR AUTOMATIC VEHICLE LOCATION (AVL)

EMASEO EP, cuenta con un sistema AVL⁶ que permite monitorear a la flota vehicular en tiempo real, a través de una aplicación web (Figura N.7).

Esta aplicación nos permite obtener datos como:

- Fecha y hora
- Ubicación Geográfica (latitud y longitud)
- Velocidad
- Ubicación
- Distancia

Figura 7 Aplicación Web AVL de EMASEO EP



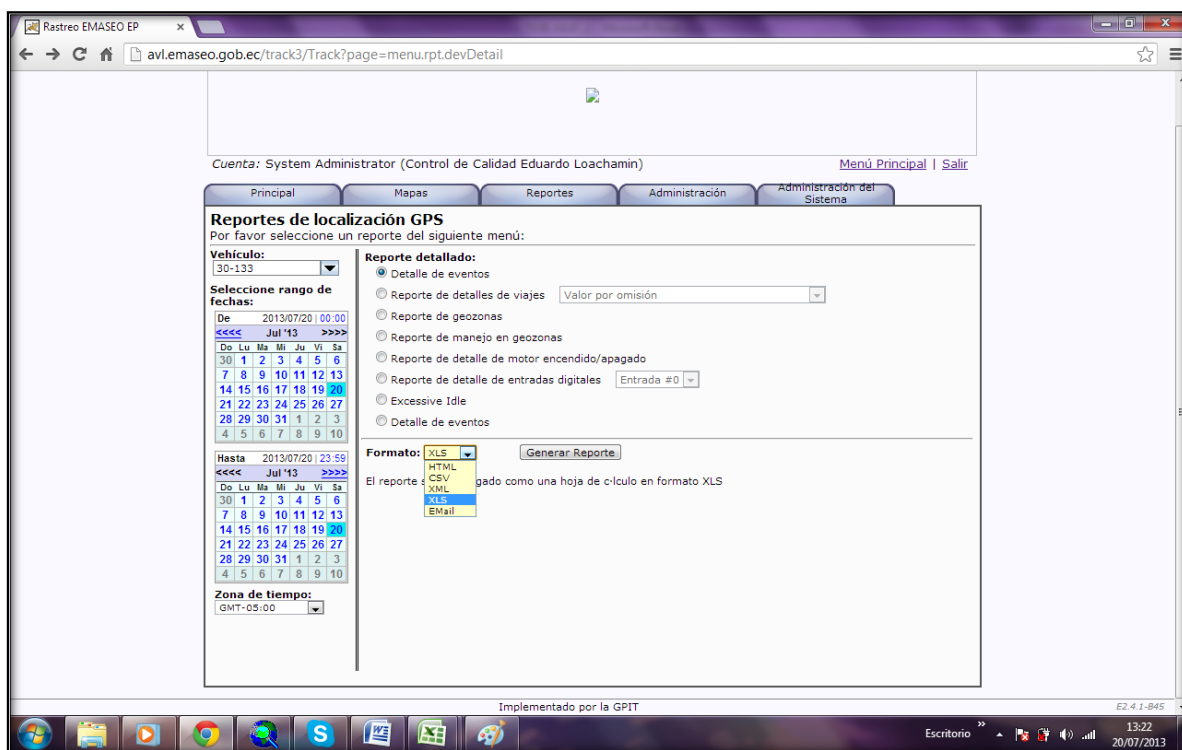
Fuente: <http://avl.emaseo.gob.ec/track3/Track?page=map.device>

⁶ Revisar Marco Conceptual

Los datos enumerados antes son presentados como reportes y pueden ser descargados en varios formatos, como .xls que corresponde a la aplicación Microsoft Excel (Figura N.8).

El objetivo del monitoreo de la flota a través del sistema AVL, fue revisar el trayecto que efectuaron los vehículos recolectores correspondientes a la zona de estudio durante el proceso de recolección de residuos, por el mes de mayo del presente año, para obtener información sobre el tiempo total empleado en la operación y el cumplimiento de los sectores actualmente establecidos.

Figura 8 Reportes generados por el sistema AVL



Fuente: <http://avl.emaseo.gob.ec/track3/Track?page=menu.rpt.devDetail>

- *Metodología para el monitoreo de la flota por medio de AVL*

Se ingresó a la aplicación web del sistema AVL, se seleccionó el vehículo, la fecha y la hora en base a la jornada de trabajo, se generaron reportes los cuales fueron descargados en formato .xls; mediante la información de latitud y longitud estos datos fueron exportados al software ArcGIS 9.3.1, generando una cobertura de puntos la cual permite determinar el recorrido de los vehículos.

Este proceso se elaboró para todos los vehículos que operaron el área de la Administración Zonal Eloy Alfaro que mantendrá el servicio de recolección de RSU a pie de vereda, durante el mes de mayo de 2013.

- *Resultados del monitoreo del vehículo por AVL*

Los reportes generados por la aplicación AVL permitieron obtener el promedio de horas operativas de cada macrorruta de recolección, en base a los registros de la hora de salida y entrada de la flota vehicular al centro de operaciones de EMASEO EP “La Forestal”.

Esta información se detalla en la tabla N.20.

Tabla 20 Tiempo de operación requerido para cada macrorruta

Macrorruta	Promedio de Hora Salida	Promedio de Hora Entrada	Promedio de Horas Operativas	Promedio de Horas Operativas (Decimales)
JORNADA DIURNA				
Biloxi – Chilibulo	07:33	14:30	06:57	6,95
Barrios Surorientales	07:36	14:07	06:30	6,50
Santiago – Hospital del Sur	07:40	15:35	07:55	7,92
Santa Bárbara - Cristo Rey	07:43	14:50	07:06	7,10
Yerba Buena - Argelia Baja	07:45	14:13	06:28	6,47
Mena 2 - Ciudadela Tarqui	07:45	15:21	07:36	7,60
Marcopamba - Magdalena Alta	07:46	14:40	06:54	6,90
Lucha de los Pobres	07:51	15:01	07:09	7,15
Hermano Miguel	07:56	15:30	07:34	7,57
Reino de quito - Vencedores de Pichincha	07:56	15:57	08:01	8,02
Lucha Alta - Pueblo Unido	08:03	13:46	05:43	5,72
Ferroviaria - Argelia	08:10	14:29	06:18	6,30
Oriente quiteño - Argelia Alta	08:25	14:38	06:13	6,22
JORNADA NOCTURNA				
Magdalena - Pintado	19:45	03:08	07:23	7,38
Santa Rita - La Isla	19:53	03:01	07:08	7,13
Magdalena - Yaguachi	19:55	02:47	06:52	6,87
Chaguarquingo	19:55	03:01	07:06	7,10
Santa Anita - Unión y Justicia	20:16	02:43	06:27	6,45
Camal – Recreo	20:17	02:37	06:19	6,32
Gatazo	20:20	02:56	06:35	6,58
Calzado	20:21	03:22	07:01	7,02
Eplicachima	20:24	02:44	06:19	6,32
Luluncoto	20:24	02:58	06:33	6,55
México - Pio XII	20:27	03:52	07:24	7,40
Ferroviaria	20:28	02:39	06:11	6,18
Chiriyacu - Chimbacalle	20:29	02:40	06:10	6,17

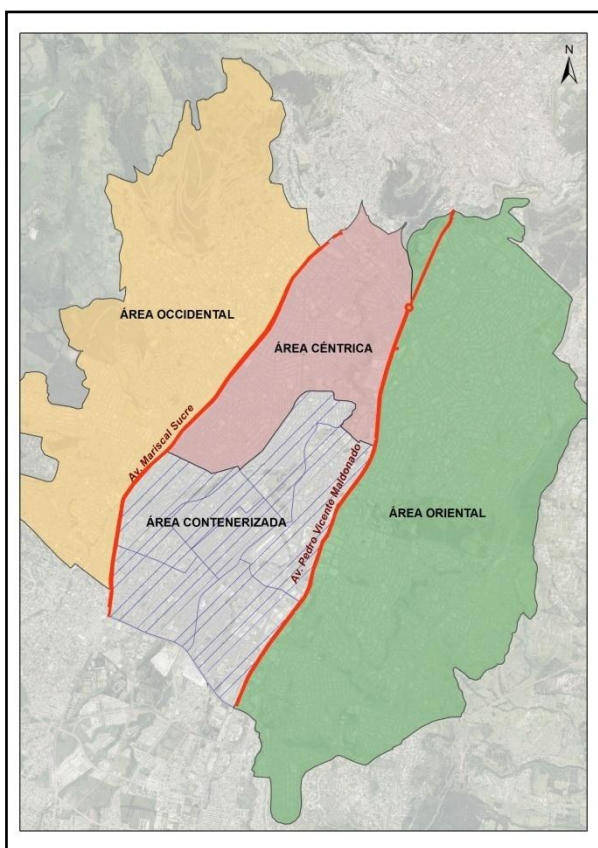
Elaboración propia, 2013

- *Conclusiones del monitoreo del vehículo por AVL*

El monitoreo de la flota vehicular permitió determinar el promedio de horas de operación que requiere cada zona para completar con el servicio de recolección de RSU a pie de vereda, además se estableció el recorrido exacto que los vehículos recolectores se encuentran realizando actualmente, lo que ratificó que no se respetan los límites de las macrorutas asignadas, sin embargo se evidenció que los vehículos operan una zona específica durante su jornada de trabajo.

Para presentar el resultado del recorrido de los vehículos se ha dividido a la Administración Eloy Alfaro en tres áreas, tomando como límite para la segmentación las avenidas Mariscal Sucre y Pedro Vicente Maldonado, tal como lo representa la figura N.9.

Figura 9 Segmentación de la Administración Eloy Alfaro para representación de resultados del monitoreo a través de AVL



Elaboración propia, 2013

El recorrido realizado por los vehículos recolectores correspondientes al área occidental, el cual se detalla en el Mapa N.11, permitió concluir que en esta zona la flota vehicular si respeta los límites de las macrorutas; se comprobó que aquellos puntos registrados fuera de las macrorutas designadas corresponden a días en los que el vehículo apoyó a zonas que por problemas mecánicos no fueron atendidas oportunamente.

El recorrido del área central y oriental se muestra en los Mapas N.12 y N.13 respectivamente, por medio de los cuales se comprobó que las macrorutas de esta zona no se están cumpliendo ya que los recolectores cruzan los límites establecidos, además se observó que no existe una delimitación adecuada de los sectores de recolección.

Los puntos registrados fuera de las macrorutas fueron verificados, concluyendo que corresponden a los respectivos traslados al centro de operaciones “La Forestal” y estación de transferencia “ET Sur”.

2.1.1.3 REDISEÑO DE LAS MACRORUTAS DE RECOLECCIÓN

El rediseño de los macrorutas de recolección se basó en los siguientes parámetros:

- Recorrido actual de los vehículos del servicio a pie de vereda de EMASEO EP
- Promedio de toneladas recogidas por los vehículos recolectores
- Número de suministros por sector de recolección
- Límites geográficos

Las conclusiones obtenidas del monitoreo de la flota vehicular por medio del sistema AVL, se tomaron como punto de partida para la restructuración de las macrorutas.

Con la información geográfica del recorrido actual de los vehículos recolectores como base, se procedió a reestructurar las macrorutas, para lo que se utilizó el software ArcGIS 9.3.1 como herramienta para dibujar esta nueva división, la cual consta de 27 macrorutas y cuyo resultado se puede observar en el Mapa N.14.

Al juntar esta nueva cobertura con la elaborada anteriormente por EMASEO EP, se ratificó que existen macrorutas que cumplen con los límites definidos por lo que no se modificaron, de igual manera se identificaron aquellas que cumplen los recorridos de manera parcial y que requirieron un mayor número de reformas como ampliación o reducción del área a atender, adicionalmente se establecieron las macrorutas cuya modificación fue total lo que requirió la demarcación de nuevos límites geográficos lo que incluyó eliminación y creación de macrorutas.

En la tabla N.21 se identifican las macrorutas por tipo de modificación.

Tabla 21 Macrorutas por tipo de modificación

MACRORUTAS CREADAS	
<i>Frecuencia lunes- miércoles-viernes</i>	<i>Frecuencia martes-jueves-sábado</i>
Mariscal de Ayacucho	Ferrovialta Alta
	Argelia
MACRORUTAS ELIMINADAS	
<i>Frecuencia martes-jueves-sábado</i>	
Yerba Buena - Argelia Baja	
Ferrovialta – Argelia	
MACRORUTAS MODIFICADAS COMPLETAMENTE	
<i>Frecuencia lunes- miércoles-viernes</i>	<i>Frecuencia martes-jueves-sábado</i>
Santa Rita- La Isla	Chiriyacu - Chimbacalle
Santa Barbará - Cristo Rey	Chaguarquingo
	Camal - Recreo
MACRORUTAS MODIFICADAS PARCIALEMENTE	
<i>Frecuencia lunes- miércoles-viernes</i>	<i>Frecuencia martes-jueves-sábado</i>
Magdalena - Pintado	Ferrovialta
Calzado	Oriente quiteño - Argelia alta
Gatazo	
Magdalena - Yaguachi	
Reino de quito - Vencedores de Pichincha	
Santa Anita - Unión y Justicia	
MACRORUTAS NO MODIFICADAS	
<i>Frecuencia lunes- miércoles-viernes</i>	<i>Frecuencia martes-jueves-sábado</i>
Biloxi - Chilibulo	Epliacachima
Hermano Miguel	Luluncoto
Marcopamba - Magdalena Alta	México - Pio XII
Santiago - Hospital del Sur	Barrios Surorientales
Mena 2 - Ciudadela Tarqui	Lucha de los Pobres

Elaboración propia, 2013

Considerando que las nuevas macrorutas no modificadas, de modificación parcial y completamente modificadas responden al recorrido actual de los vehículos recolectores, se ha decidido incorporar el peso recolectado por los mismos, para analizar si estas son óptimas para el modelo de recolección de RSU a pie de vereda. El peso detallado corresponde al promedio de toneladas recogidas por día normal y día pico, durante los meses de enero a mayo de 2013, el cual se detalla para cada sector en la tabla N.22.

Tabla 22 Peso promedio recogido de enero a mayo de 2013

MACRORUTAS MODIFICADAS COMPLETAMENTE		
Microruta	Peso promedio recolectado (t)	Peso día pico (t)
Santa Rita- La Isla	9.2	10.4
Chiriyacu - Chimbacalle	17.6	22.6
Chaguarquingo	19.8	25.9
Camal - Recreo	15.3	18
MACRORUTAS MODIFICADAS PARCIALEMENTE		
Microruta	Peso promedio recolectado (t)	Peso día pico (t)
Magdalena - Pintado	22.1	25.6
Calzado	22.5	26.1
Gatazo	23.1	28.1
Santa Barbará - Cristo Rey	15.3	20.0
Magdalena - Yaguachi	18.3	20.7
Santa Anita - Unión y Justicia	24.6	28.3
Ferroviana	16.9	21.8
Oriente quiteño - Argelia Alta	17.8	21.7

MACRORUTAS NO MODIFICADAS		
Microrruta	Peso promedio recolectado (t)	Peso día pico (t)
Biloxi - Chilibulo	8.9	10.4
Hermano Miguel	17.9	21.5
Marcopamba - Magdalena Alta	12.3	14.1
Santiago - Hospital del Sur	19.8	24.8
Mena 2 - Ciudadela Tarqui	18.7	22.8
Reino de quito - Vencedores de Pichincha	19.7	24.8
Epicachima	17.0	22.0
Luluncoto	16.6	20.6
México - Pio XII	19.3	24.3
Barrios Surorientales	8.3	8.5
Lucha de los Pobres	19.7	24.2
Lucha Alta - Pueblo Unido	7.1	9.8

Fuente: EMASEO EP
Elaboración propia, 2013

En las macrorutas antes detalladas, el peso promedio en un día normal es de 17,3 toneladas y 20,7 en día pico, siendo este un resultado acorde a la capacidad de carga de la flota vehicular de EMASEO EP destinada a la Administración Zonal Eloy Alfaro, con un máximo de 13 toneladas por viaje. Considerando que el modelo de recolección de RSU contempla dos recorridos para la recolección, se concluye que el peso recogido por macroruta es adecuado para los vehículos.

Aquellas macrorutas cuyo peso es menor a 10 toneladas por día, corresponden a las zonas atendidas por volquetas cuya capacidad vehicular es menor que un vehículo de carga posterior.

Para determinar si las macrorutas creadas son adecuadas para un modelo óptimo de recolección se decidió modificar la fórmula N.1, correspondiente al cálculo de la generación de residuos sólidos para, en base al dato del promedio de toneladas recogidas en un día, durante los meses de enero a mayo de 2013, estimar el número suministros adecuados por macroruta de recolección; obteniendo así la siguiente fórmula:

Formula N.1

$$\text{Generación de RSU (t)} = \frac{\# \text{ de suministros de EE} * \text{Promedio de personas por vivienda} * \text{PPC dom}}{1000}$$

Fórmula N.6

$$\text{Suministros de EE} = \frac{X \text{ toneladas} * 1000}{\text{habitantes} * \text{PPC Dom}}$$

$$\text{Suministros de EE} = \frac{8.56 \text{ t} * 1000}{4 * 0,52} = 4115$$

Este resultado permitió definir un número máximo de 4000 suministros por macroruta, para un servicio óptimo.

En base a la herramienta *Intersect* del software ArcGIS 9.3.1, con las coberturas en formato .shp de suministros de energía eléctrica y restructuración previa de macrorutas, se determinó el número de suministros que hay en las macrorutas creadas y en las modificadas completamente, datos que se detallan en la tabla N.23.

Tabla 23 Número de suministros por macrorutas creadas y modificadas completamente

Macroruta	Número de Suministro
Argelia	3294
Ferroviaria Alta	3329
Mariscal de Ayacucho	2871

Elaboración propia, 2013

Con estos datos se puede estimar que las macrorutas creadas como parte de la reestructuración, se encuentran dentro de los parámetros aceptables para un modelo óptimo de recolección de RSU.

2.1.2 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS POR DÍA

Se refiere a la cantidad de residuos generados por día.

La Administración Eloy Alfaro tiene una generación de 302,1 toneladas por día; no obstante, se consideró necesario calcular la generación de residuos por cada uno de las macrorutas rediseñadas.

Para calcular la generación por sector se utilizó la fórmula N.1 y la siguiente metodología:

$$\text{Generación de RSU} = \frac{\# \text{de suministros de EE} * \text{Promedio de personas por vivienda} * \text{PPCdom}}{1000}$$

1. Con los suministros de energía eléctrica proporcionados por la Empresa Eléctrica Quito S.A en formato .shp y utilizando la herramienta *Intersect* del software ArcGIS se determinan el número de suministros por sector.
2. Al dato anterior, utilizando la herramienta *Field Calculator*, se multiplica por 4 valor promedio de habitantes por vivienda (EMASEO EP, 2012).

3. A este dato se aplica la fórmula para calcular la generación de residuos sólidos por día, utilizando nuevamente la herramienta *Field Calculator*.

Con este procedimiento se ha generado un mapa temático de la generación de residuos sólidos por macroruta (Ver Mapa N.15), el cual se encuentra clasificado en cuatro clases en base a la generación de residuos sólidos como lo muestra la tabla N.24.

Tabla 24 Clasificación de las nuevas macrorutas en base a la generación de RSU

Generación (t/día)	Clase
1 - 3.9	1
3.9 - 6	2
6 - 9	3
9 - 12.1	4

Elaboración propia, 2013

De las nuevas macrorutas creadas para la Administración Zonal Eloy Alfaro, el 60% generan más de 10 toneladas diarias de RSU.

2.1.3 DEFINICIÓN DE LA FRECUENCIA Y HORARIO DE RECOLECCIÓN

La definición del horario y frecuencia de recolección ha mantenido el modelo de EMASEO EP, dividiendo a la zona en macrorutas con frecuencias lunes – miércoles - viernes y martes - jueves – sábado en jornada diurna y nocturna para ambos períodos.

Además se tomó en cuenta los cambios en el recurso mecánico y humano que el modelo de contenerización generará sobre la recolección a pie de vereda; estas modificaciones son las que se detallan en las tablas 15 y 16.

En el Mapa N.16 se puede observar las nuevas macrorutas por horario y frecuencia de la Administración Eloy Alfaro; operando 6 rutas en horario diurno y 21 en jornada nocturna.

2.1.4 CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONAMIENTO DE LA FLOTA DE RECOLECCIÓN

El servicio de recolección a pie de vereda se lo realiza con vehículos de carga posterior los cuales cuentan con un sistema de compactación para recolectar y almacenar un mayor volumen de residuos; estas unidades son usadas para el servicio puerta a puerta con carga manual. Para que su trabajo sea óptimo deben operar en sectores con condiciones viales adecuadas (EMASEO EP, 2012).

En zonas de la ciudad donde las condiciones viales no son adecuadas, se utilizan volquetas para brindar el servicio, estas tienen un menor nivel de carga comparado con un vehículo carga posterior pero permiten un mejor manejo en rutas de difícil acceso (EMASEO EP, 2012).

Para la operación en la Administración Eloy Alfaro se tienen disponibles 13 vehículos de carga posterior y una volqueta distribuidos en jornadas y frecuencias, operando un promedio de dos veces diarias.

2.1.5 CÁLCULO DEL NÚMERO DE VIAJES

En el documento elaborado por CEPIS (2002), se menciona que el número de viajes de un servicio de recolección está relacionado con la capacidad de carga de los vehículos y con la cantidad total de residuos a recolectar en un período de tiempo; así para estimar el número de viajes que un vehículo debe realizar por sector se utiliza la siguiente fórmula:

Fórmula N.7

$$\text{Número de Viajes} = \frac{\text{Carga total}}{\text{Capacidad de carga de vehículo}}$$

EMASEO EP en su Manual Operativo (2012), señala que cada ruta se cumple en dos viajes, los cuales pueden variar conforme al volumen de recolección, especialmente en los días pico (lunes y martes).

Para esta disertación se utilizó la información descrita en el Manual Operativo de EMASEO EP por lo que se mantendrá el número de viajes, generando así dos microrutas por macroruta.

Adicionalmente se procedió a estimar el número de toneladas que se recogerán por microruta, este cálculo se realizó tomando una muestra de las macrorutas actuales, del número de toneladas recogidas en cada viaje durante los meses de enero a mayo de 2013, con el promedio del total de toneladas recogidas y el promedio de toneladas por viaje se estimó el porcentaje del peso a recogerse en cada microruta; esta información se detalla en la tabla N. 25.

Tabla 25 Porcentaje de toneladas a recoger por microrruta

Macrorruta	Promedio toneladas Viaje 1	Promedio toneladas Viaje 2	Promedio Total toneladas recogidas	% Recolección Microrruta 1	% Recolección Microrruta 2
Barrios Surorientales	4105.5	3212.1	7317.6	56%	44%
Biloxi - Chilibulo	4750.0	4257.4	9007.4	53%	47%
Calzado	12058.9	7178.0	19236.9	63%	37%
Camal - Recreo	12591.1	5252.5	17843.6	71%	29%
Chaguarquingo	13572.6	7813.2	21385.8	63%	37%
Chiriyacu - Chimbacalle	11178.9	6682.1	17861.1	63%	37%
Eplicachima	10903.7	6248.9	17152.6	64%	36%
Ferroviaria	12751.6	6954.3	19705.9	65%	35%
Ferroviaria - Argelia	10889.5	7588.6	18478.1	59%	41%
Gatazo	12533.9	8721.9	21255.8	59%	41%
Hermano Miguel	11787.4	6899.6	18687.1	63%	37%
Lucha Alta -Pueblo Unido	8892.2	5482.1	14374.3	62%	38%
Lucha de los Pobres	12541.8	8327.2	20869.1	60%	40%
Luluncoto	9527.5	6871.2	16398.7	58%	42%
Magdalena - Pintado	11692.8	7672.0	19364.8	60%	40%
Magdalena - Yaguachi	11064.1	5465.0	16529.1	67%	33%
Marco pamba -Magdalena Alta	7790.3	5219.4	13009.7	60%	40%
Mena 2 - Ciudadela Tarqui	13033.6	6505.9	19539.5	67%	33%
Mercado Mayorista	10135.5	7509.6	17645.1	57%	43%
México - Pio XII	11671.0	7818.4	19489.4	60%	40%
Oriente Quiteño - Argelia Alta	12128.4	7084.7	19213.1	63%	37%
Reino de Quito - Vencedores de Pichincha	13161.8	7435.3	20597.1	61%	39%
Santa Anita - Unión y Justicia	12328.7	7793.6	20122.3	62%	38%
Santa Bárbara - Cristo Rey	12356.1	7607.1	19963.2	70%	30%
Santa Rita- La Isla	12125.8	5260.0	17385.8	73%	27%
Santiago - Hospital del Sur	8368.8	3121.9	11490.7	60%	40%

Elaboración propia, 2013

Los porcentajes obtenidos de la muestra se aplicaron a los datos de la generación de las macrorutas diseñadas en esta disertación, determinado así un aproximado de toneladas a recolectarse por microrruta; esta información se presenta en la tabla N.26.

Tabla 26 Número de toneladas a recoger por microrruta

Sector	Generación	Toneladas Microrruta 1	Toneladas Microrruta 2
Argelia	13,7	8,08	5,63
Barrios Surorientales	7,8	4,38	3,42
Biloxi - Chilibulo	10,1	5,32	4,76
Calzado	20,3	12,71	7,57
Camal - Recreo	21,6	15,22	6,35
Chaguarquingo	24,3	15,39	8,86
Chiriyacu - Chimbacalle	20,1	12,59	7,52
Epliacachima	21,2	13,48	7,73
Ferroviaria	17,9	11,57	6,31
Ferroviaria Alta	13,8	8,16	5,69
Gatazo	18,8	11,10	7,73
Hermano Miguel	18,3	11,55	6,76
Lucha Alta - Pueblo Unido	10,2	6,28	3,87
Lucha de los Pobres	20,5	12,33	8,18
Luluncoto	21,9	12,73	9,18
Magdalena - Pintado	18,0	12,02	5,94
Magdalena - Yaguachi	18,3	11,06	7,26
Marco pamba -Magdalena Alta	12,0	7,19	4,81
Mena 2 – Ciudadela Tarqui	11,9	8,33	3,61
Mercado Mayorista	18,9	12,58	6,28
México - Pio XII	21,2	12,67	8,49
Oriente Quiteño - Argelia Alta	14,9	9,44	5,51
Reino de Quito - Vencedores de Pichincha	14,4	8,85	5,60
Santa Anita - Unión y Justicia	20,2	12,48	7,68
Santa Bárbara - Cristo Rey	9,8	6,84	2,97
Santa Rita- La Isla	7,8	5,72	2,13
Santiago – Hospital del Sur	22,7	13,72	8,98

Elaboración propia, 2013

2.1.6 DETERMINACIÓN DE LAS MICRORUTAS DE RECOLECCIÓN

Las rutas de recolección son el trayecto que debe recorrer un vehículo de recolección dentro del sector asignado, trasportando el máximo de residuos con una menor cantidad de tiempo y recorrido (SAKURAI, 1980; CEPIS, 2012).

Una vez delimitados las macrorutas de recolección se requieren elaborar las rutas que deben seguir los vehículos recolectores para cumplir con el servicio; las mismas que deben caracterizarse por atender a toda la superficie asignada en el menor tiempo posible y con distancias mínimas de desplazamiento.

Dentro del modelo de recolección de RSU, la fase de recolección corresponde a la sumatoria de los tiempos t_2 y t_6 , dato que fue calculado para cada ruta modificando la fórmula N.5 correspondiente al rendimiento:

Fórmula N.5

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso recolectado (t)}}{\text{Tiempo de recolección (expresado en decimales)}}$$

Fórmula N.8

$$\text{Tiempo de recolección (h)} = \frac{\text{Generación de residuos (t)}}{\text{Rendimiento } \left(\frac{t}{h}\right)}$$

En esta fórmula se cambió el peso recolectado por la generación de residuos ya que este valor se calculó previamente y permite tener una idea de la cantidad de RSU que se recolectarán.

En la tabla N. 27 se detalla el tiempo estimado de recolección que requerirá cada macroruta.

Tabla 27 Tiempo requerido para la fase de recolección por macroruta

Macroruta	Generación de RSU (t)	Rendimiento (t/h)	Tiempo de recolección
Argelia	13,7	3,31	4:06
Barrios Surorientales - Lloa	7,8	3,31	2:24
Biloxi Chilibulo	10,1	3,31	3:00
Calzado	20,3	3,31	6:10
Camal – Recreo	21,6	3,31	6:30
Chaguarquingo	24,3	3,31	7:18
Chiriyacu – Chimbacalle	20,1	3,31	6:06
Eplicachima	21,2	3,31	6:24
Ferrovial	17,9	3,31	5:24
Ferrovial Alta	13,8	3,31	4:12
Gatazo	18,8	3,31	5:42
Hermano Miguel	18,3	3,31	5:30
Lucha alta -Pueblo Unido	10,2	3,31	3:06
Lucha de los pobres	20,5	3,31	6:12
Luluncoto	21,9	3,31	6:36
Magdalena – Yaguachi	18,0	3,31	5:24
Magdalena Pintado	18,3	3,31	5:30
Marcopamba - Magdalena alta	12,0	3,31	3:36
Mariscal de Ayacucho	11,9	3,31	3:36
Mena 2 ciudadela Tarqui	18,9	3,31	5:42
México - Pio XII	21,2	3,31	6:24
Oriente Quiteño- Argelia Alta	14,9	3,31	4:30
Reino de Quito - Vencedores de Pichincha	14,4	3,31	4:24
Santa Anita- Unión y Justicia	20,2	3,31	6:06
Santa Bárbara - Cristo Rey	9,8	3,31	3:00
Santa Rita	7,8	3,31	2:24
Santiago - Hospital del Sur	22,7	3,31	6:54

Elaboración propia, 2013

Una vez calculado este dato, se completó la información del modelo de recolección de RSU a pie de vereda (fórmula N.4) para la Zona Administrativa Eloy Alfaro. Esta información, detallada en la Tabla N.28.

Tabla 28 Tiempos promedio para cada fase del modelo de recolección de RSU a pie de vereda en la Administración Zonal Eloy Alfaro

Tiempo de recolección (t2+t6)	Tiempo de Descarga [(Xt4+Xt8) /2]	Tiempo ET SUR a "La Forestal" (t9)	Tiempo de traslado (t1+t3+t5+t7)	Tiempo total (T)
05:17	00:07	00:15	01:17	06:52

Elaboración propia, 2013

El trabajo de campo, así como el seguimiento de los vehículos recolectores por medio del sistema AVL, permitieron obtener datos para la reestructuración del modelo de recolección de RSU en la Administración Zonal Eloy Alfaro, para finalmente generar información del procedimiento en cada una de las fases que conforman la prestación del servicio en la zona de estudio.

2.2 ELABORACIÓN DE MICRORUTAS DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RSU A PIE DE VEREDA DE LA ADMINISTRACIÓN ZONA ELOY ALFARO.

Como se mencionó en el marco teórico y conceptual, el diseño de rutas de recolección de RSU es similar al denominado problema de ruteo de vehículos (*VehicleRoutingProblem*); aplicativo que forma parte de la extensión Network Analyst del software ArcGIS 9.3.1, la cual será empleada para la elaboración de las Microrutas.

Dentro de las investigaciones previas a la realización de esta disertación se revisaron varios documentos sobre las metodologías para la elaboración de microrutas de recolección de residuos sólidos urbanos, entre las cuales se puede mencionar a autores como SAKURAI (1980), TCHNOBANOGLUS (1994), CEPIS (2002), MORENO y ARRIAGA (2006) y CERRON (2008).

Estos trabajos concuerdan que el diseño de microrutas de recolección de residuos (RSU) debe tomar en cuentas los siguientes parámetros:

- Lugar del garaje o centro de operaciones
- Lugar de disposición final de los residuos o estaciones de transferencia
- Sentidos de circulación de las vías
- Tiempo disponible para la operación
- Vías factibles de atender y vías no factibles

Estos parámetros se apegan a los elementos de análisis de la aplicación *New Vehicle Routing Problem* de la extensión Network Analyst para el diseño de rutas, por lo que se confirma que esta herramienta es la indicada para la elaboración de las microrutas del servicio de recolección de RSU a pie de vereda.

2.2.1 APLICACIÓN NEW VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP)

El objetivo de la aplicación Vehicle Routing Problem (VRP) es encontrar la mejor ruta para una flota de vehículos que debe servir a varias órdenes al menor costo operativo tomando en cuenta los parámetros de tiempo y distancia para obtener la ruta óptima; este aplicativo puede resolver varios problemas bajo distintas condiciones, como la capacidad de carga del vehículo, el tiempo máximo para realizar el recorrido, el tiempo destinado a paradas de carga o descarga entre otras.

La aplicación New Vehicle Routing Problem, así como las demás aplicaciones que forman parte de la extensión Network Analyst, requieren de un Network Dataset que permita el análisis de redes.

Una red es un sistema de elementos interconectados, que pueden ser líneas y puntos, los cuales representan los ejes viales y las posibles rutas; desde el punto de vista geométrico una red está constituida por nodos y ejes, en el caso de una red de transporte los nodos representan intersecciones viales y los ejes las vías en general.

Las redes de transporte se caracterizan por representar las características del sistema vial de un área determinada, con sus respectivos bloqueos y restricciones de circulación.

El software ArcGIS, permite la creación de un Network Dataset para modelar las redes de transporte, estos se crean a partir de entidades de origen como puntos y líneas.

El Network Dataset está formado por elementos de red, los cuales por medio de sus atributos y parámetros realizan diferentes tipos de análisis.

Existen tres clases de elementos de red:

- **Ejes**, los cuales conectan a otros elementos (cruces) y son los vínculos sobre los que se realizan los viajes.
- **Cruces**, permite la conexión con los ejes y facilitan la navegación de un eje a otro.
- **Giros**, almacenan información que puede afectar al movimiento entre dos o más ejes.

Entre los atributos de un Network Dataset se puede mencionar: el tiempo requerido para recorrer un determinado tramo de carretera, restricciones de flujo (calles restringidas), el nivel de jerarquía del eje vial (autopista, arterial, carretera local) y los costes de atravesar elementos de red (distancia).

El Network Dataset que se empleó para poder utilizar la aplicación Vehicle Routing Problem fue proporcionado por EMASEO EP, la cual se encuentra dentro de una geodatabase denominada DMQ_Emaseo la cual contiene las coberturas detalladas en la tabla N.29.

Tabla 29 Contenido de la Geodatabase DMQ_Emaseo

Cobertura	Tipo
DMQ_ND	File Geodatabase Network Dataset
DMQ_Junctions	File Geodatabase Feature Class
DMQ_Vias	File Geodatabase Feature Class
Turns	File Geodatabase Feature Class

Elaboración propia, 2013

La cobertura DMQ_Vias, fue la base para generar el Network Dataset, la cual contiene la información que se detalla a continuación, requerida para el correcto funcionamiento del set de datos.

- Nombre de la vía
- Jerarquía del eje vial
- Sentido y restricciones del eje vial
- From To Cost y To From Cost (tiempo que se requiere en recorrer un tramo específico del eje vial)
- From Level y To Level (permiten distinguir los pasos a desnivel y pasos elevados existentes en el eje vial)
- Distancia (m) de cada línea que conforma el eje vial
- Velocidad promedio (km/h) a la que se puede circular en el eje vial

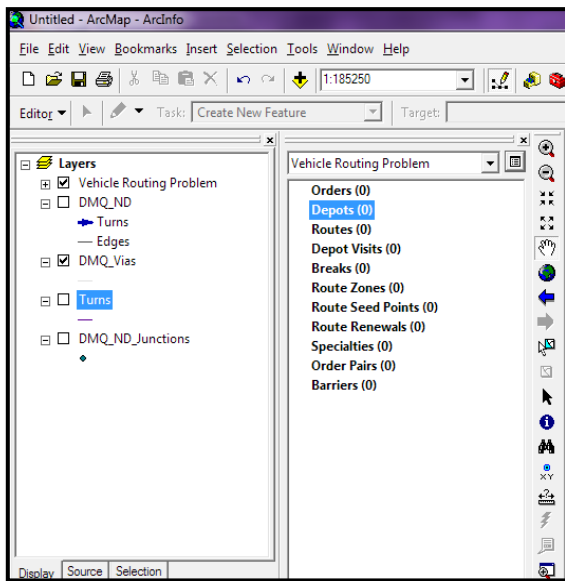
Adicionalmente se cuenta con la cobertura Turns que presenta las restricciones de giro existentes, generando así un Network Dataset que se apega a la realidad del sistema vial del Distrito Metropolitano de Quito y que permitirá resolver el problema de ruteo de vehículos aplicado a la recolección de residuos sólidos urbanos.

La Aplicación New Vehicle Routing Problem, toma en cuenta las siguientes clases de análisis para resolver diversas situaciones (Ver Figura N. 10):

- Órdenes
- Depósitos
- Rutas
- Visitas a depósitos

- Cortes o descanso
- Zonas de rutas
- Puntos de semilla de rutas
- Reanudaciones de ruta
- Especialidades
- Órdenes Pares
- Barreras de punto, línea y polígono

Figura 10 Aplicación New Vehicle Routing Problem



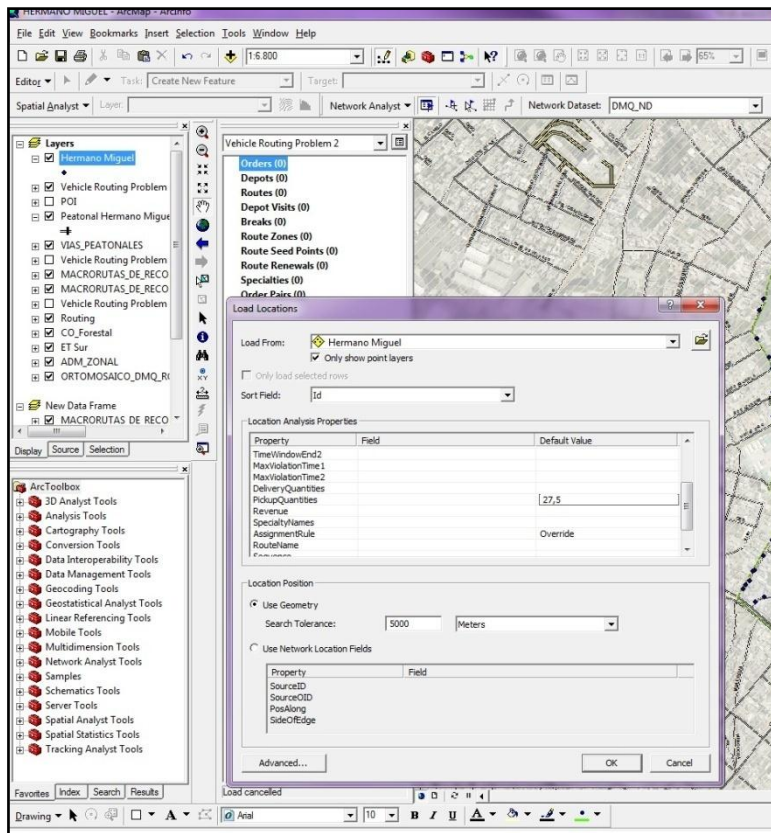
Fuente: ArcGIS 9.3.1

Estas clases se acoplaron al modelo de recolección de RSU de EMASEO EP, definiendo así aquellos que se requieren para la elaboración de rutas, los mismos que se describen a continuación en base a la información disponible en ArcGIS Resource Center en la sección de ayuda.

- Órdenes

Son los puntos a los cuales se les debe prestar un determinado servicio, estos pueden tener varias características; en el caso de la recolección de RSU las órdenes fueron digitalizadas generando una cobertura de puntos que abarcó la superficie residencial de la macrorruta, a los cuales se les asignó un valor representativo del peso a recoger (Ver Figura N. 11).

Figura 11 Carga de órdenes en la aplicación New Vehicle Routing Problem



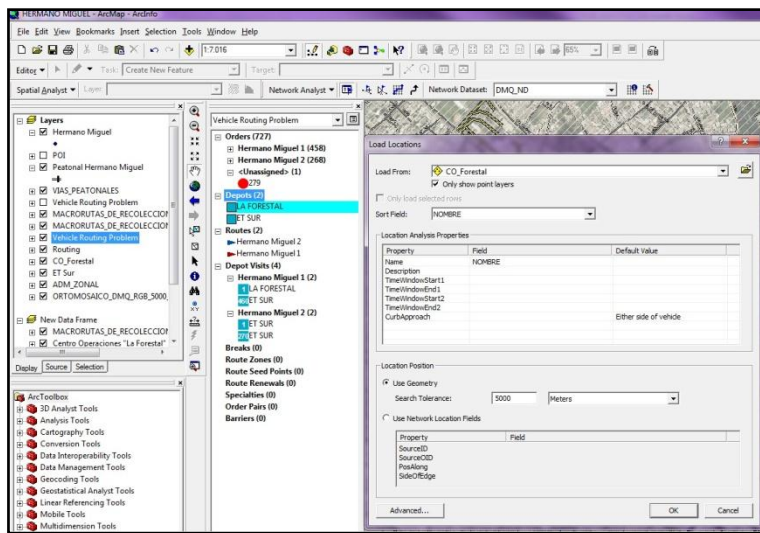
Fuente: ArcGIS 9.3.1

- Depósitos

Un depósito es la ubicación desde la que sale un vehículo al comienzo de su día laborable, a la que vuelve al final del mismo o donde realiza cargas o descargas.

En este estudio, el Centro de Operaciones “La Forestal” y la Estación de transferencia “ET SUR” se consideraron como depósitos (Ver Figura N. 12).

Figura 12 Carga de depósitos en la aplicación New VehicleRoutingProblem

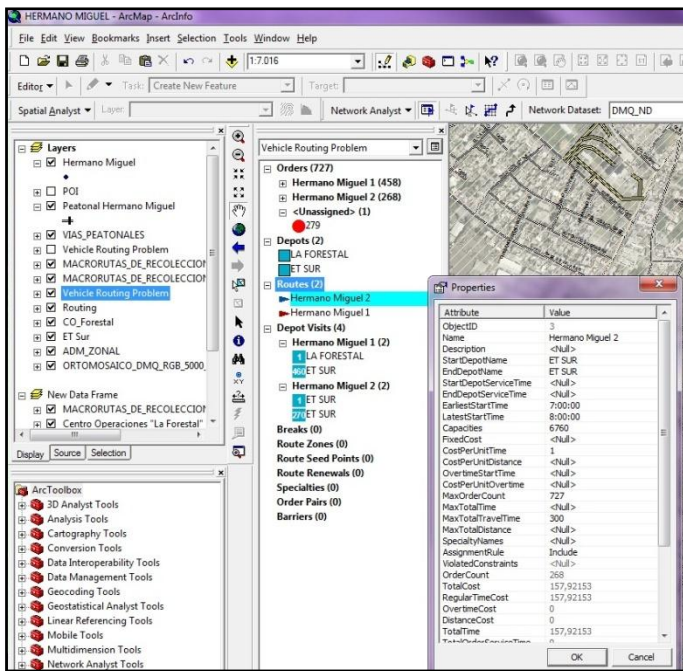


Fuente: ArcGIS 9.3.1

- Rutas

Este elemento permite almacenar las diferentes rutas que forman parte del análisis, estas contienen especificaciones como: los depósitos donde se origina y culmina la ruta, el tiempo de duración de la ruta, la capacidad de carga del vehículo y el número de órdenes a ser atendidas. Para el diseño de las microrutas se crearon dos rutas, cada una con diferentes especificaciones (Ver Figura N. 13).

Figura 13 Rutas agregadas en la aplicación New VehicleRoutingProblem



Fuente: ArcGIS 9.3.1

- **Visitas a Depósitos**

Las visitas a depósitos, se refieren a los puntos por donde pasa el vehículo durante toda la ruta, tomando en cuenta lugares de inicio y final así como puntos de carga o descarga. En el caso del modelo de recolección el análisis de este elemento evidenciará la salida desde el Centro de Operaciones “La Forestal” y la descarga de los vehículos en la Estación de Transferencia “ET SUR”.

2.2.2 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE MICRORUTAS CON EL APLICACIÓN VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP)

Para generar las microrutas de recolección de RSU por medio de la aplicación New Vehicle Routing Problem de la extensión Network Analyst del software ArcGIS, se aplicó la siguiente metodología.

- Recopilación de información

Se recopiló toda la información generada durante este trabajo sobre cada una de las macrorutas, la cual se presenta en la tabla N.30 y contiene el cálculo estimado de la generación de residuos sólidos urbanos de cada macroruta, el número de toneladas a recogerse por microruta, el tiempo total destinado a la recolección y el tiempo requerido por microruta.

Esta información fue utilizada en la aplicación New Vehicle Problem, para la elaboración de microrutas.

Tabla 30 Información a utilizarse en el diseño de las microrutas de recolección

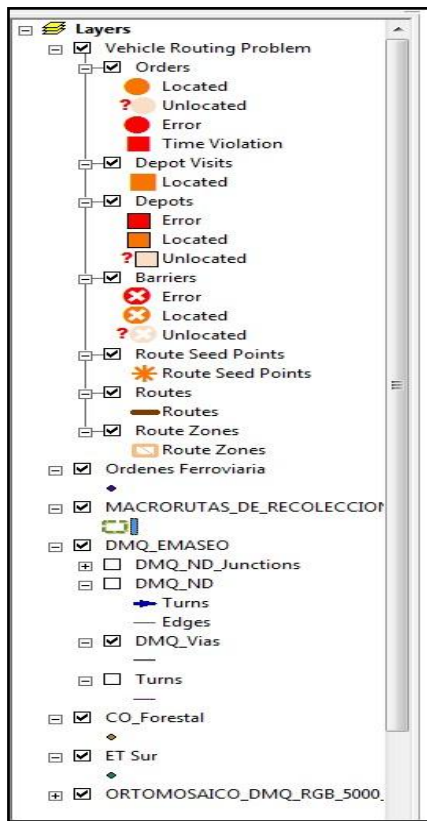
Sector	Generación (t/d)	Toneladas a recogerse viaje 1	Toneladas a recogerse viaje 2	Tiempo de recolección	Tiempo microruta 1	Tiempo microruta 2
Argelia	13.7	8.08	5.63	4:06	02:26	1:42
Barrios Surorientales	7.8	4.38	3.42	2:24	01:19	1:02
Biloxi Chilibulo	10.1	5.32	4.76	3:00	01:37	1:26
Calzado	20.3	12.71	7.57	6:10	03:50	2:17
Camal recreo	21.6	15.22	6.35	6:30	04:36	1:55
Chaguarquingo	24.3	15.39	8.86	7:18	04:39	2:41
Chiriyacu - Chimbacalle	20.1	12.59	7.52	6:06	03:48	2:16
Eplacachima	21.2	13.48	7.73	6:24	04:04	2:20
Ferroviaria	17.9	11.57	6.31	5:24	03:30	1:55
Ferroviaria Alta	13.8	8.16	5.69	4:12	02:28	1:43
Gatazo	18.8	11.10	7.73	5:42	03:35	2:20
Hermano miguel	18.3	11.55	6.76	5:30	03:49	2:02
Lucha Alta - Pueblo Unido	10.2	6.28	3.87	3:06	01:54	1:10
Lucha de los Pobres	20.5	12.33	8.18	6:12	03:43	2:28
Luluncoto	21.9	12.73	9.18	6:36	03:51	2:46
Magdalena - Yaguachi	18.0	12.02	5.94	5:24	03:38	1:47
Magdalena Pintado	18.3	11.06	7.26	5:30	03:20	2:11
Marcopamba - Magdalena Alta	12.0	7.19	4.81	3:36	02:10	1:27
Mariscal de Ayacucho	11.9	8.33	3.61	3:36	02:31	1:05
Mena 2 Ciudadela Tarqui	18.9	12.58	6.28	5:42	03:48	1:54
México - Pio XII	21.2	12.67	8.49	6:24	03:50	2:34
Oriente Quiteño- Argelia Alta	14.9	9.44	5.51	4:30	02:51	1:40
Reino de Quito - Vencedores de Pichincha	14.4	8.85	5.60	4:24	02:40	1:41
Santa Anita-Unión y Justicia	20.2	12.48	7.68	6:06	03:46	2:19
Santa Bárbara - Cristo rey	9.8	6.84	2.97	3:00	02:04	0:54
Santa Rita	7.8	5.72	2.13	2:24	01:44	0:38
Santiago - Hospital del Sur	22.7	13.72	8.98	6:54	04:08	2:43

Elaboración propia, 2013

- Creación de espacio de trabajo en la aplicación ArcMap del software ArcGIS

Se creó un archivo por cada macrorruta en la aplicación ArcMap, el cual contiene las siguientes coberturas: macrorutas de recolección, Centro de Operaciones “La Forestal”, Estación de Transferencia “ET SUR”, órdenes de macrorruta y DMQ_Emaseo, y el aplicativo New Vehicle Routing Problem (Ver Figura N. 14).

Figura 14 Contenidos a emplearse para el diseño de microrutas



Fuente: ArcGIS 9.3.1

- Ingreso de Información de cada macroruta al aplicativo New Vehicle Problem

Una vez agregado el aplicativo New Vehicle Problem se llenaron los campos necesarios para el análisis de las rutas.

Orders: Las órdenes se encuentran en formato .shp y cubren la superficie residencial de cada macroruta, estas representan las fundas de RSU dispuestas en las aceras (Ver Figura N. 15).

Dentro de esta capa de análisis se incluyó el peso en kilogramos que representará cada punto, de tal manera que al momento de calcular la ruta la aplicación tome en cuenta esta característica junto con la capacidad de carga del vehículo (Ver Figura N. 16).

El cálculo del valor que se asignó a cada orden se realizó dividiendo el dato de la generación de residuos sólidos de cada macroruta para el número de órdenes generada.

Fórmula N. 9

$$Peso\ por\ orden = \frac{Generación\ de\ residuos\ de\ macroruta\ (kg)}{Número\ de\ órdenes\ por\ geocerca}$$

El resultado de esta operación fue el dato que se agregó en las opciones de la capa Orders

Ejemplo: Macroruta Ferroviaria

$$Peso\ por\ orden = \frac{17900\ kg}{1203\ órdenes} = 14.87\ kg/orden$$

Figura 15 Órdenes a atender Macrorruta Ferroviaria

FID	Shape*	Id
0	Point	1
1	Point	2
2	Point	3
3	Point	4
4	Point	5
5	Point	6
6	Point	7
7	Point	8
8	Point	9
9	Point	10
10	Point	11
11	Point	12
12	Point	13
13	Point	14
14	Point	15
15	Point	16
16	Point	17
17	Point	18
18	Point	19

Record: 1 | Show: All Selected | Records (0 out of 1203 Selected)

Fuente: ArcGIS 9.3.1

Figura 16 Ingreso de órdenes a la capa Orders del aplicativo New Vehicle Routing Problem

Vehicle Routing Problem

- Orders (0)
- Depots (0)
- Routes (0)
- Depot Visits (0)
- Breaks (0)
- Route Zones (0)
- Route Seed Points (0)
- Route Renewals (0)
- Specialties (0)
- Order Pairs (0)
- Barriers (0)

Load Locations

Load From: Ordenes Ferroviaria

Only show point layers

Only load selected rows

Sort Field: Id

Property	Field	Default Value
TimeWindowEnd2		
MaxViolationTime1		
MaxViolationTime2		
DeliveryQuantities		
PickupQuantities		14.87
Revenue		
SpecialtyNames		
AssignmentRule		Override
RouteName		
Source		

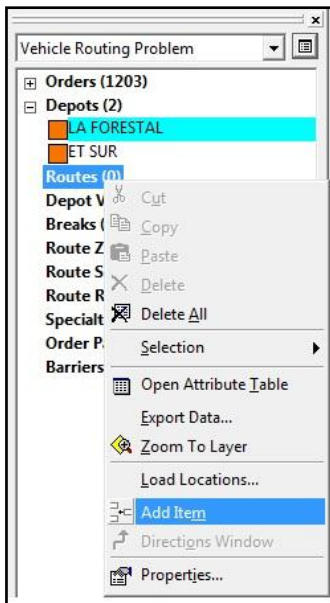
Fuente: ArcGIS 9.3.1

Depósitos: Como se mencionó en el numeral 2.2.1, en este campo se agregaron las coberturas del Centro de Operaciones “La Forestal” y la Estación de Transferencia “ET SUR”.

Rutas:

En este campo se agregaron las dos microrutas que forman parte del modelo de recolección de RSU de EMASEO EP (Ver Figura N. 17) y a cada una se incorporó la información de cada macroruta (tabla N. 30).

Figura 17 Agregar ruta en el aplicativo Vehicle Routing Problem

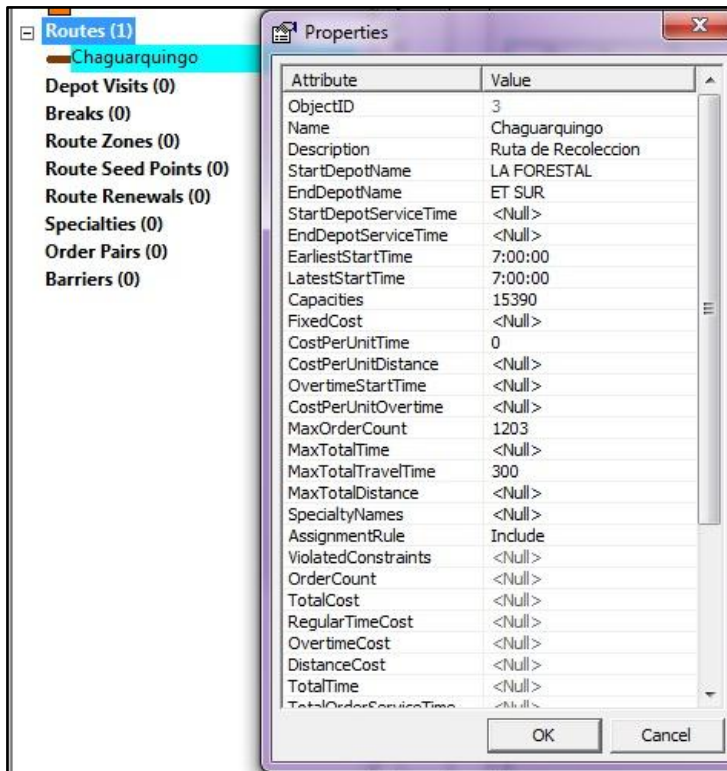


Fuente: ArcGIS 9.3.1

Una vez agregada la ruta se llenaron los siguientes campos (Ver Figura N. 18).

- Name
- Star Depot Name
- En Depot Name
- Service Time
- Earliest Depot Service Time
- Latest Depot Service Time
- Capacities
- Max Order Count
- Max Total Travel Time

Figura 18 Datos agregados en propiedades de rutas



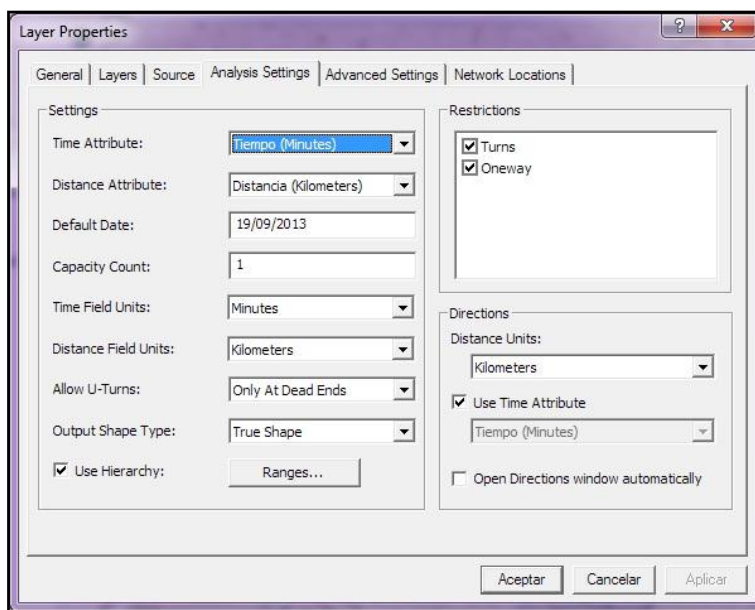
Fuente: ArcGIS 9.3.1

Cada microrruta posee información diferente con respecto a la capacidad de carga, al tiempo de operación y al lugar de inicio de la ruta, así la segunda microrruta siempre iniciará en la Estación de Transferencia ET SUR cumpliendo el modelo de recolección de EMASEO EP.

Finalmente en las propiedades de la capa (Layers Properties), en la pestaña Analysis Settings se activaron los parámetros necesarios para el análisis (Ver Figura N. 19).

- Tiempo (minutes)
- Distancia (kilómetros)
- Time Fields Units (minutes)
- Distance Field Units (kilómetros)
- Allow U-Turns
- Use Hierarchy

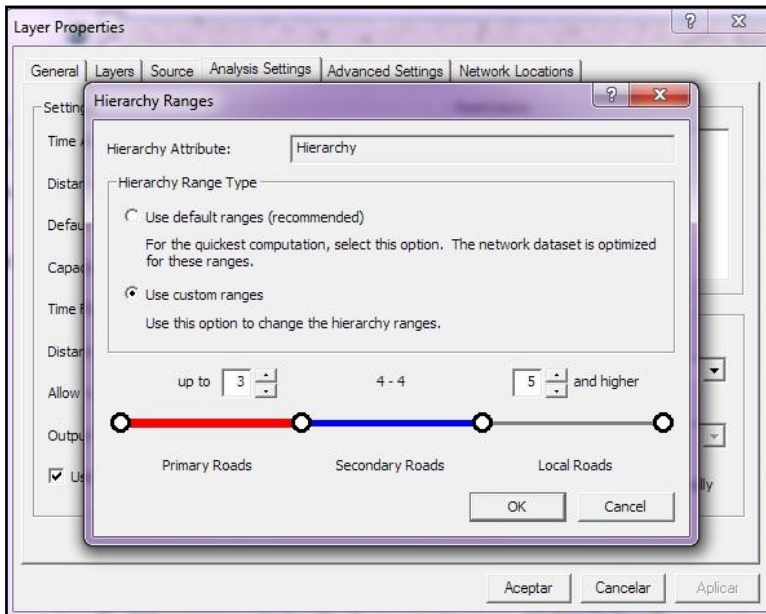
Figura 19 Parámetros para el análisis de rutas



Fuente: ArcGIS 9.3.1

Adicionalmente se modificó el rango de jerarquía de las vías, para que el análisis de rutas óptimas lo realice considerando a las vías residenciales como principales (Ver Figura N. 20).

Figura 20 Modificación de la jerarquía de vías



Fuente: ArcGIS 9.3.1

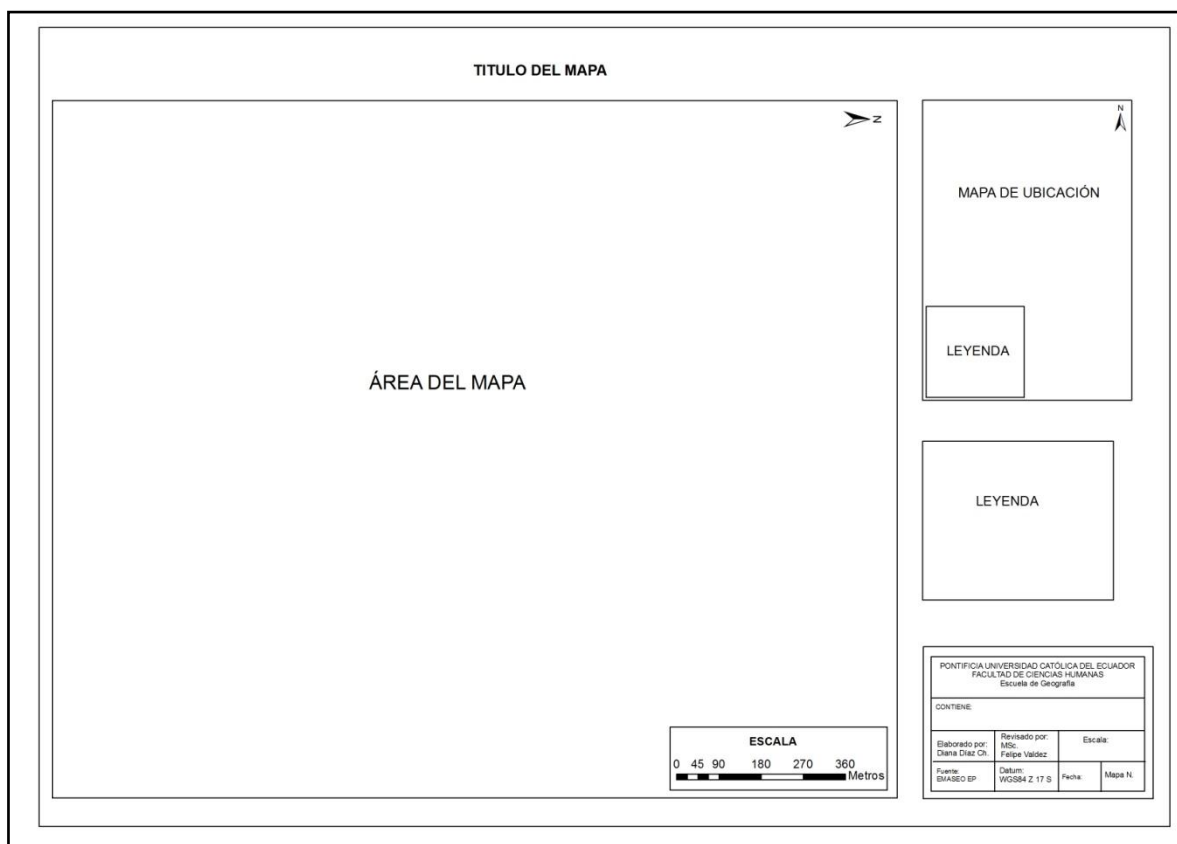
- Realizar el Análisis

Una vez agregado el Network Dataset, los parámetros de análisis y haber realizado las configuraciones necesarias en las propiedades de análisis, se procedió a la generar los resultados, activando el botón Solve Analysis. El resultado representará las nuevas microrutas del servicio de recolección de RSU a pie de vereda.

- Presentación de los resultados

El resultado del cálculo de las rutas será presentado bajo el siguiente formato como anexos de esta disertación (Ver Figura N. 21).

Figura 21 Presentación del resultado de las nuevas rutas de recolección



Elaboración propia, 2013

Una vez recopilada la información de cada una de las fases del modelo del servicio de recolección de RSU a pie de vereda en cada una de las macrorutas de la Administración Zonal Eloy Alfaro, se procedió al diseño de las microrutas de recolección, aplicando los datos generados a cada uno de los campos que conforman el aplicativo New Vehicle Routing Problem de la herramienta Network Analyst; obteniendo como resultado final el recorrido que deberá realizar el vehículo recolector en cada una de las zonas que se le ha sido asignada.

Este resultado puede observarse en los mapas del N.17 al N.43, en los cuales se muestra cada microruta a efectuarse, así como los trayectos desde el Centro de Operaciones “La Forestal” a la macroruta y hasta la Estación de Transferencia “ET SUR”.

2.2.3 ELABORACIÓN DE UNA GEODATABASE PARA ALMACENAR LAS MICRORUTAS DE RECOLECCIÓN

Una geodatabase permite el almacenamiento y manejo de objetos geográficos, incluyendo sus atributos, sus relaciones y comportamiento; es la manera más usual utilizada por la plataforma ArcGIS para almacenar varios datos espaciales en una locación central, aplicar reglas y relaciones a los datos, definir modelos geoespaciales, mantener integridad entre datos entre otros servicios (PÁGINA WEB ESRI).

Los datos que puede almacenar son de tipo:

- Vectorial
- Raster
- CAD
- Tablas alfanuméricas
- Topología
- Redes geométricas

- Metadatos
- Direcciones y localizadores empleados en la geocodificación

La geodatabase reside en un Sistema Gestor de Base de Datos (SGDB) como Oracle, Informix, SQL, Server, IBM DB2, lo que permite el aprovechamiento de todas las características de estos sistemas (ESRI ESPAÑA GEOSISTEMAS S.A).

La forma en cómo se almacena la geodatabase y la funcionalidad que se le dará permite distinguir entre Geodatabase Multi-User y Geodatabase Single User (PÁGINA WEB ESRI).

Para cumplir con el objetivo de esta disertación se empleó una Single User Geodatabase, debido a sus características de uso como en trabajos de sistemas de información geográfica individual y en ambiente de escritorio. Este tipo de geodatabase tiene dos formatos siendo estos File Geodatabase y Personal Geodatabase.

- File Geodatabase: Es un formato propio basado en múltiples ficheros binarios empaquetados dentro de una carpeta, contiene un máximo de entorno de 1 Tb (Terabyte). Está orientada al trabajo en grupo con un número de usuarios limitados, pero se debe recalcar que la edición la puede realizar un solo usuario a la vez.
- Personal Geodatabase: Utiliza la estructura de datos de Microsoft Access (.mdf), su principal inconveniente de que no es un formato muy bueno para trabajar con grandes volúmenes de datos, como suele ser frecuente en temas de SIG; ya posee un tamaño limitado de 2Gb y una baja velocidad en muchas búsquedas espaciales complejas.

Una vez analizadas ambos tipos de formatos y considerando las características antes descritas, se decidió que se utilizará una File Geodatabase donde se almacenará el resultado del rediseño del modelo de recolección de RSU a pie de vereda de la Administración Zonal Eloy Alfaro.

2.2.3.1 FILE GEODATABASE

Una File Geodatabase posee algunas maneras de almacenar y organizar la información, entre estas se puede mencionar los features classes y los feature datasets las cuales se definen a continuación en base a ArcGIS Resource Center.

Un **Feature Dataset** es una colección de Feature Classes que comparten un sistema de coordenadas común. Estos se usan para integrar temática o espacialmente varios feature classes relacionados, con el principal propósito de construir topologías, network datasets, terrain datasets, o redes geométricas (ArcGIS Server 9.3 Help).

Un **Feature Class** es una colección de elementos comunes que tienen la misma representación espacial, estas pueden ser puntos, líneas o polígonos y que comparten un set de atributos almacenado en una base de datos (ArcGIS Server 9.3 Help).

2.2.3.2 DISEÑO DE LA GEODATABASE DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RSU A PIE DE VEREDA DE LA ADMINISTRACIÓN ELOY ALFARO

En base a la definición y a las características antes descritas, se procedió a elaborar la File Geodatabase con el modelo del servicio de recolección a pie de vereda de RSU de la Administración Eloy Alfaro (Ver Figura N. 22).

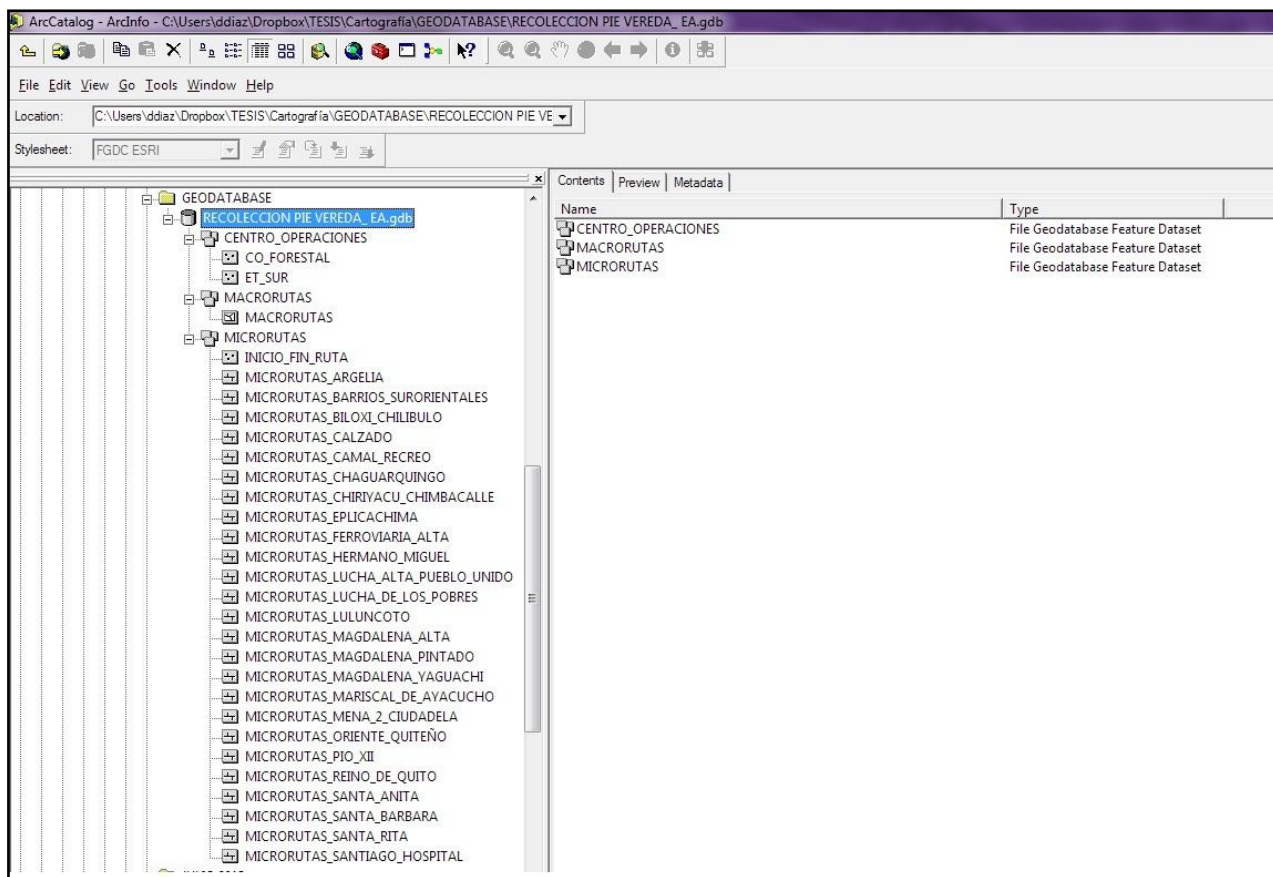
La Geodatabase se denominó Pie de Vereda Eloy Alfaro; en la tabla N. 31 se detalla el contenido de la misma.

Tabla 31 Descripción del contenido de la Geodatabase

GEODATABASE	FEATURE DATASETS	FEATURE CLASSES
RECOLECCIÓN PIE VEREDA_EA	<p align="center">CENTRO_OPERACIONES</p> <p>Contiene la información del lugar donde sale la flota a operar las macrorutas y de la estación de transferencia donde descarga el camión recolector una vez q ha llenado su capacidad y cubierto la zona de recolección</p>	<ul style="list-style-type: none"> • CO_FORESTAL • ET_SUR
	<p align="center">MACRORUTAS</p> <p>Contiene la cobertura de la división del área de estudio en sectores operativos a los cuales se les asignará un vehículo recolector.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • MACRORUTAS
	<p align="center">MICRORUTAS</p> <p>Contiene el recorrido que realizará el vehículo recolector dentro de la macroruta, así como las indicaciones de inicio y fin de las rutas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • INICIO_FIN_RUTA • MICRORUTAS

Elaboración propia, 2013

Figura 22 Contenido de la Geodatabase



Fuente: ArcGIS 9.3.1

La geodatabase elaborada abarca la información desarrollada a lo largo de este trabajo, la cual contiene los elementos que conforman el modelo de recolección de RSU, los cuales se encuentran en tres Feature Dataset (Figura N.22).

La información incorporada a la geodatabase tiene los requerimientos necesarios para edición, ya que se considera que el modelo de contenerización se seguirá extendiendo en el área de estudio, lo que implica un constante rediseño de las macrorutas que mantendrán el servicio de recolección a pie de vereda.

CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA EL REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A PIE DE VEREDA EN LA ADMINISTRACIÓN ELOY ALFARO

La implementación de un Sistema de Información Geográfica para la elaboración de rutas óptimas para el servicio de recolección de residuos sólidos a pie de vereda en la Administración Zonal Eloy Alfaro se realizó tomando en cuenta todos los elementos que conforman un SIG.

Se contó con un hardware adecuado que soporte las características del software ArcGIS 9.3.1, utilizado para esta disertación.

Los datos utilizados fueron generados por el personal de la Gerencia de Operaciones de EMASEO EP, los mismos que fueron procesados durante esta disertación, para generar la información sobre el servicio de recolección de RSU a pie de vereda en la zona de estudio, la cual se aplicó en el rediseño de las rutas.

La información que se generó responde a la metodología propuesta por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS) para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública, la cual es utilizada por EMASEO EP, por lo que los resultados obtenidos cumplen con las características y requisitos que actualmente la empresa maneja.

Con la integración de estos elementos y las aplicaciones del software ArcGIS 9.3.1, se obtuvo como resultado las nuevas rutas del servicio de recolección a pie de vereda en la Administración Zonal Eloy Alfaro.

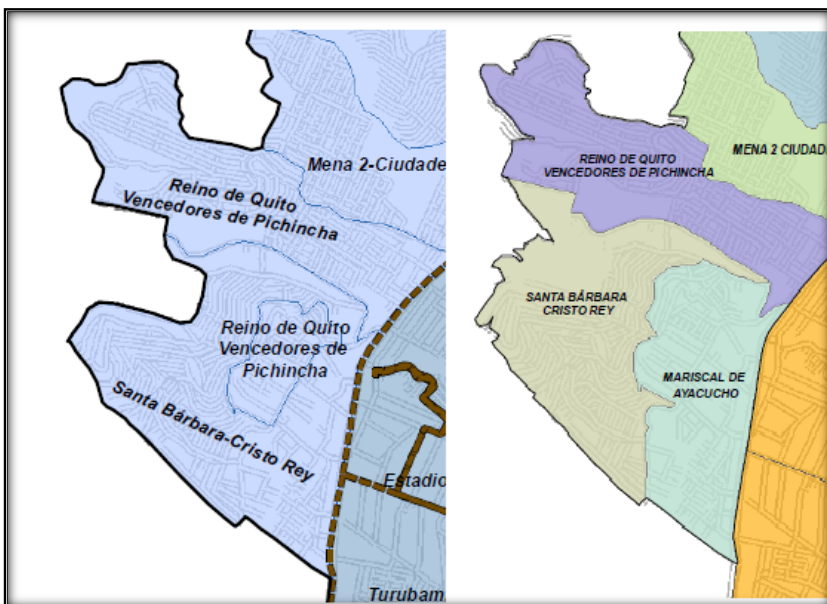
La herramienta Network Analyst y su aplicativo New Vehicle Problem se utilizó como una alternativa para la elaboración de las microrutas del servicio de recolección de RSU a pie de vereda de la Administración Zonal Eloy Alfaro que brinda EMASEO EP.

La generación de estas microrutas requirió de un proceso previo de análisis de la situación actual del modelo de recolección de RSU, el cual permitió conocer los elementos que forman parte de este modelo y como es su operación en conjunto; para finalmente identificar sus principales problemas.

Este primer análisis, el cual consistió en la recopilación de información, así como de elaboración de cartografía, permitió reconocer los problemas que el modelo actual presenta, como son el traslape de macrorutas y la delimitación incorrecta de las mismas.

El traslape de macrorutas se origina cuando un vehículo recolector ingresa a otra zona para que esta pueda ser cubierta totalmente con el servicio de recolección. En la figura N.23 se puede evidenciar esta problemática en la macroruta denominada Reino de Quito Vencedores de Pichincha; una de las consecuencias de este problema es que el vehículo recolector debe realizar un mayor traslado lo que requiere de más tiempo de operación y más combustible, por lo que se considera que no es un modelo óptimo.

Figura 23 Correcciones de Macrorutas

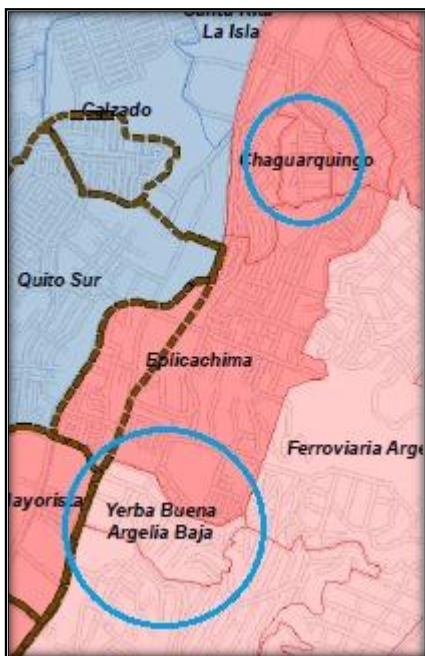


Elaboración propia, 2013

La elaboración de cartografía también demostró que existen macrorutas que abarcan superficies muy pequeñas en comparación con todas las que conforman el modelo, las mismas que posteriormente se analizaron en trabajo de campo y el seguimiento de la flota vehicular con el sistema AVL que maneja EMASEO EP; este análisis evidenció que los camiones recolectores no respetan los límites de las macrorutas, ni los recorridos establecidos, como lo demuestran los resultados que se presentaron en los mapas N.10, N.12 y N.13; lo que indicó que estas macrorutas no se encuentran diseñadas a la realidad de la operación y a las necesidades de brindar un servicio eficaz y eficiente.

En la figura N. 24 se muestra un ejemplo de la problemática antes mencionada.

Figura 24 Límites incorrectos de las macrorutas

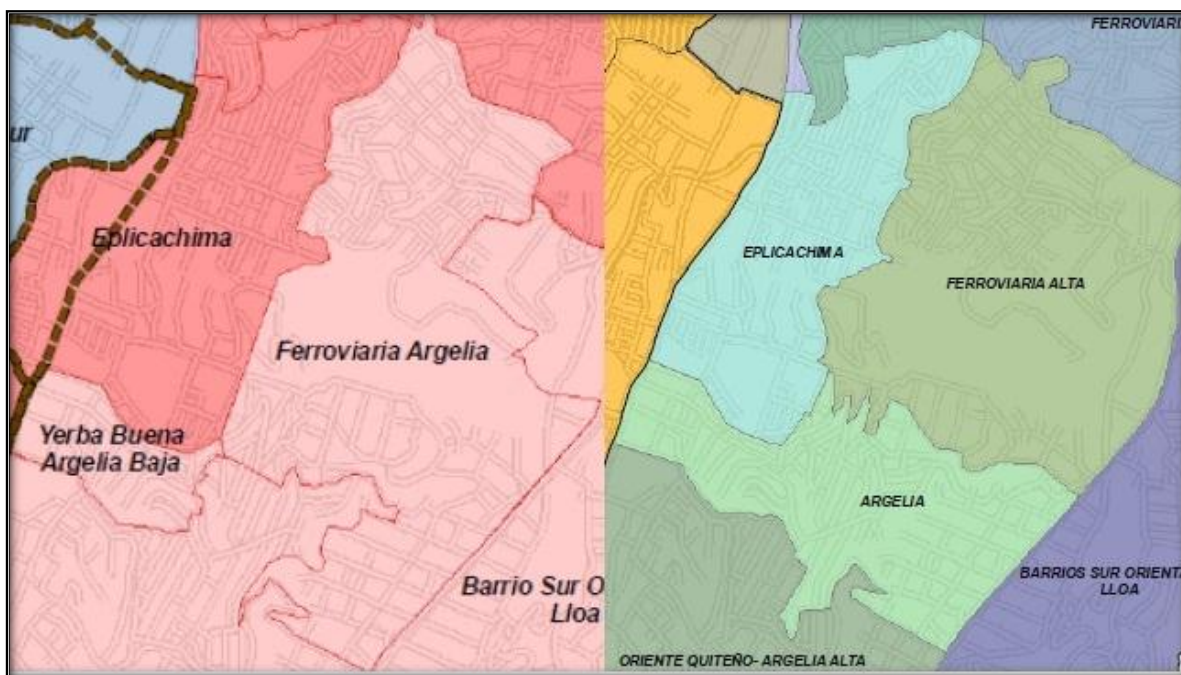


Elaboración propia, 2013

La optimización del modelo de recolección requirió la corrección de esta problemática por lo que en el rediseño de las macrorutas se eliminó todo tipo traslape y se fijaron nuevos límites para cada macroruta; este nuevo diseño tomó en cuenta la generación de RSU, el número de habitantes y la capacidad de carga de los vehículos, de tal manera que no sea necesario que los vehículos ingresen a otras macrorutas para poder brindar a cabalidad el servicio.

El nuevo diseño de las macrorutas implicó la modificación completa o parcial de las mismas, así como la eliminación de aquellas que no eran adecuadas para una operación óptima (Ver Tabla N. 21), como es el caso de las macrorutas Yerba Buena Argelia Baja y Ferroviaria Argelia, cuya modificación se muestra en la figura N. 25.

Figura 25 Modificación Macrorutas para el nuevo modelo de recolección



Elaboración propia, 2013

Al concluir con el rediseño de las macrorutas, el modelo del servicio de recolección a pie de vereda de RSU en la Administración Zonal Eloy Alfaro fue optimizado reduciendo el número de macrorutas a un total de 27 (MAPA N. 14), a diferencia del modelo de EMASEO EP el cual dividía a la zona de estudio en 33 macrorutas.

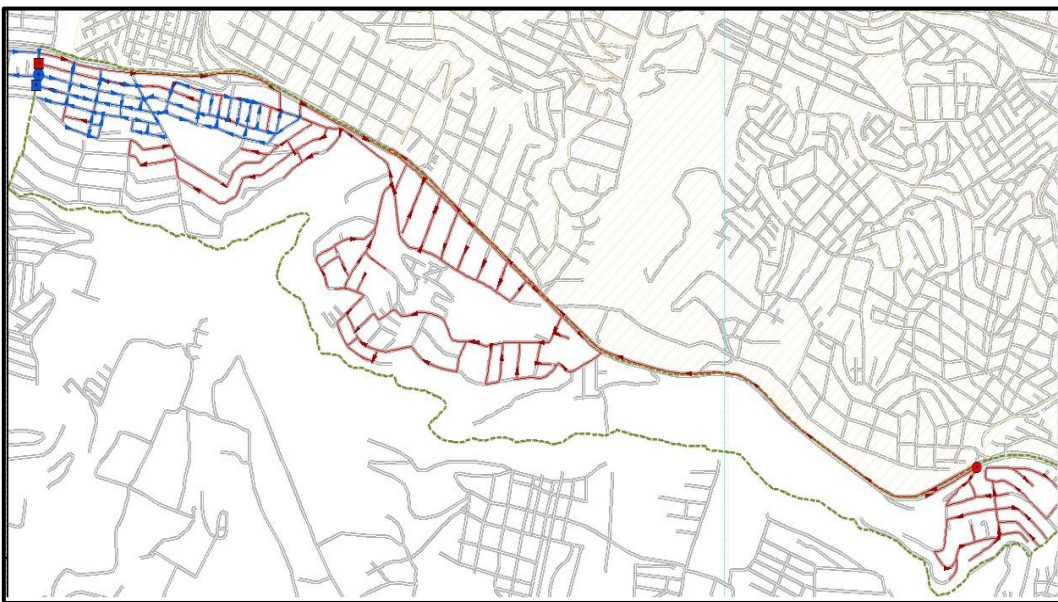
Esta reducción de macrorutas implica que la zona administrativa Eloy Alfaro requeriría un menor número de vehículos recolectores para cumplir con el servicio de recolección de RSU.

- Las microrutas representan los viajes que el vehículo recolector debe realizar, uno de los elementos que se agregaron al momento del rediseño fue la capacidad de carga del vehículo, por lo que se estableció que en el primer viaje se debe recoger una mayor cantidad de residuos.

Al analizar este requerimiento en el resultado de las microrutas, se observaron dos particularidades:

En el primer caso, la microruta 1 abarcó una mayor superficie del territorio para así cumplir con la condición establecida (Ver Figura N. 27).

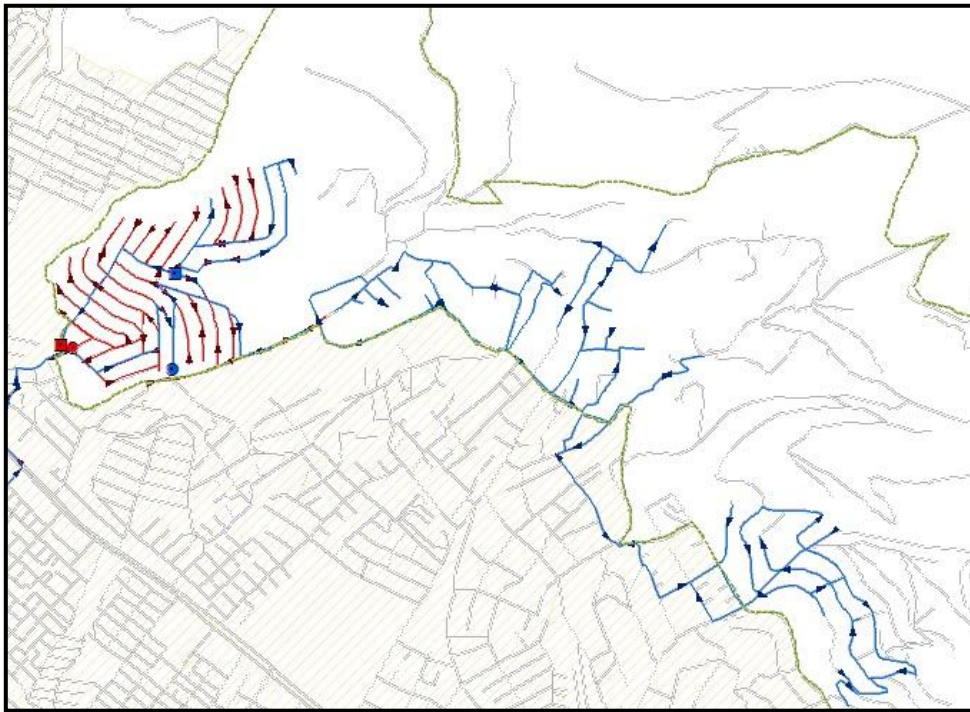
Figura 27 Características de las microrutas



Elaboración propia, 2013

En un segundo caso, se observó que esta cubre una menor superficie y la segunda microrruta tiene una mayor cobertura; esta particularidad responde a las características de la macrorruta, como es la concentración de viviendas, en el caso de la macrorruta Biloxi Chilibulo (Ver Figura 28) se observa que hay una zona de mayor concentración de población por ende más generación de residuos, los cuales son recogidos en el primer viaje, dejando el área donde las viviendas se encuentran dispersas para el segundo viaje del vehículo recolector.

Figura 28 Características de las microrutas



Elaboración propia, 2013

- Una de las características de la zona de estudio son los pasajes o vías sin salida, lo que significa que el vehículo recolector tiene mayor dificultad para ingresar en estos y por lo general lo hacen de retro, retrasando la operación, es así que dentro del rediseño se tomaron en cuenta aquellos pasajes cuya longitud no supera los 100 metros a los cuales se les excluyó el ingreso del camión recolector.

Esto se sustenta en una de las características del modelo de recolección de RSU que emplea EMASEO EP, denominada “paqueteo” la cual consiste en que un obrero de recolección entra a las calles de difícil acceso a recoger las fundas de residuos y las agrupa en la esquina, agilitando la operación (Ver Figura N. 29).

Figura 29 Restricción de ingreso en pasajes



Elaboración propia, 2013

- Finalmente, una vez obtenidas cada una de las microrutas se revisaron los tiempos de cada uno de estos nuevos recorridos, información que puede ser extraída desde la tabla de atributos de la cobertura generada o en la ventana donde se encuentra los elementos que conforman el aplicativo New VehicleRoutingProblem.

Estos datos fueron comparados con la tabla N.30; obteniendo los siguientes resultados detallados en la tabla N.32.

Tabla 32 Comparación de Resultados obtenidos mediante la herramienta Network

Analyst

SECTOR DE RECOLECCIÓN	TIEMPO RECOLECCIÓN (HORAS)	TIEMPO VIAJE 1 (HORAS)	TIEMPO VIAJE 2 (HORAS)	TIEMPO VIAJE 1 (ARCGIS)	TIEMPO VIAJE 2 (ARCGIS)	TIEMPO RECOLECCIÓN (ARCGIS)
ARGELIA	4:06	02:26	1:42	2:18	1:44	4:02
BARRIOS SUR ORIENTALES - LLOA	2:24	01:19	1:02	1:22	0:49	2:11
BILOXI CHILIBULO	3:00	01:37	1:26	1:40	1:19	2:59
CALZADO	6:10	03:50	2:17	3:42	2:13	5:55
CAMAL RECREO	6:30	04:36	1:55	4:25	1:57	6:22
CHAGUARQUINGO	7:18	04:39	2:41	4:22	2:33	6:55
CHIRIYACU - CHIMBACALLE	6:06	03:48	2:16	2:59	2:08	5:07
EPLICACHIMA	6:24	04:04	2:20	3:06	2:25	5:31
FERROVIARIA	5:24	03:30	1:55	3:25	1:35	5:00
FERROVIARIA ALTA	4:12	02:28	1:43	2:54	1:32	4:26
GATAZO	5:42	03:35	2:20	3:05	2:30	5:35
HERMANO MIGUEL	5:30	03:49	2:02	2:52	2:14	5:06
LUCHA ALTA - PUEBLO UNIDO	3:06	01:54	1:10	2:08	0:42	2:50
LUCHA DE LOS POBRES	6:12	03:43	2:28	3:24	2:16	5:40
LULUNCOTO	6:36	03:51	2:46	3:56	2:30	6:26
MAGDALENA - YAGUACHI	5:24	03:38	1:47	3:37	1:45	5:22
MAGDALENA PINTADO	5:30	03:20	2:11	3:14	2:15	5:29
MARCOPAMBA - MAGDALENA ALTA	3:36	02:10	1:27	1:56	1:22	3:18
MARISCAL DE AYACUCHO	3:36	02:31	1:05	2:00	1:24	3:24
MENA 2 CIUDADELA TARQUI	5:42	03:48	1:54	3:37	1:37	5:14
MEXICO - PIO XII	6:24	03:50	2:34	3:23	2:00	5:23
ORIENTE QUITEÑO- ARGELIA ALTA	4:30	02:51	1:40	2:46	1:36	4:22
REINO DE QUITO - VENCEDORES DE PICHINCHA	4:24	02:40	1:41	3:00	1:21	4:21
SANTA ANITA-UNION Y JUSTICIA	6:06	03:46	2:19	3:36	2:02	5:38
SANTA BARBARA - CRISTO REY	3:00	02:04	0:54	2:18	1:35	3:53
SANTA RITA	2:24	01:44	0:38	1:36	2:07	3:43
SANTIAGO - HOSPITAL DEL SUR	6:54	04:08	2:43	3:28	3:16	6:44
PROMEDIO	5:02					4:50

Elaboración propia, 2013

Se analizaron los tiempos de recolección de cada macroruta con el tiempo obtenido mediante el aplicativo New VehicleRoutingProblem, haciendo una resta entre ambos datos para determinar la diferencia de tiempos y comprobar si se optimizó o no el tiempo destinado a la recolección; determinando así que el tiempo de las rutas obtenidas mediante la herramienta SIG es inferior al tiempo de las rutas actuales en un promedio de 12 minutos.

Se observó que existen tres macrorutas cuyo tiempo de recolección calculado con el aplicativo New VehicleRoutingProblem es superior a su tiempo actual, esto respondería a que estas macrorutas fueron completamente modificadas como el caso de las rutas Santa Bárbara-Cristo Rey y Santa Rita; en el caso de la macroruta Ferroviaria Alta esta fue creada como parte del nuevo modelo, lo que justificaría este desfase de tiempo.

Con este análisis final se puede concluir que las microrutas obtenidas mediante la herramienta Network Analyst del software ArcGIS optimizarían el tiempo de operación de los vehículos recolectores en la Administración Zonal Eloy Alfaro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Tomando en cuenta todos los elementos que conforman un Sistema de Información Geográfica, se elaboraron rutas óptimas para el servicio de recolección de residuos sólidos a pie de vereda en la Administración Zonal Eloy Alfaro.
- La elaboración de rutas óptimas requirió de un proceso previo el cual consistió en la elaboración del diagnóstico de la situación del modelo de recolección de RSU en la zona de estudio.
- El diagnóstico realizado permitió generar la información que formó parte del diseño del nuevo modelo de recolección, la cual se utilizó en la elaboración de las rutas óptimas de cada una de las macrorutas que conforman el área de estudio.
- Las nuevas rutas generadas fueron presentadas en mapas temáticos donde se distingue el trayecto que deberá realizar el vehículo recolector en cada fase que conforma el modelo de recolección de RSU.
- Adicionalmente se generó una geodatabase con la información generada durante este trabajo, la misma que está disponible para ser utilizada por EMASEO EP.
- En cuanto al diseño de las microrutas, se determinó que la extensión Network Analyst del software ArcGIS y sus diferentes aplicativos, permite resolver problemas relacionados al análisis de redes de transporte bajo distintitos escenarios.
- Las características del modelo de recolección de residuos sólidos urbanos corresponden al problema VehicleRoutingProblem (VRP), el cual pretende encontrar la ruta óptima para una flota de vehículos que deben atender varias órdenes.

- La aplicación New VehicleRoutingProblem de la extensión ArcGIS permite generar soluciones para el problema de la creación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos, incorporando características de la flota vehicular, sitios de inicio, fin de ruta y descarga de residuos, datos del número de toneladas a recoger y tiempo requerido para la operación.
- La herramienta New VehicleRoutingProblem, al permitir incorporar las características del modelo de recolección, facilita la creación de rutas con una mejor distribución de los pesos a recoger por viaje, optimizando la capacidad de carga de los vehículos.
- Para realizar el diseño de las microrutas con la extensión Network Analyst, se conformó la información geográfica necesaria para el análisis de redes, incorporando un Network Dataset como herramienta fundamental para este fin.
- El diseño de las microrutas con la ayuda de Sistema de Información Geográfica permite un ahorro considerable en el tiempo empleado para la elaboración de estas, obteniendo resultados con mayor eficiencia y eficacia.
- La empresa EMASEO EP, encargada de la recolección de residuos sólidos urbanos en el Distrito Metropolitano de Quito necesita elaborar rutas óptimas para poder cumplir a cabalidad con este servicio; estas rutas requieren de una constante actualización debido al crecimiento poblacional y a la implementación de nuevos servicios y métodos de recolección de RSU como es el caso de la Contenerización.
- El rediseño de rutas requiere de un conocimiento previo del modelo de recolección de RSU que emplea EMASEO EP, para lo que se requiere de trabajo de campo en la zona de estudio; que permita conocer el proceso de recolección de los residuos en el DMQ y la zona de estudio y obtener los primeros datos generales sobre el tiempo destinado a cada fase del modelo de recolección.

- Las aplicaciones diseñadas por EMASEO EP para el rastreo de la flota vehicular permitieron obtener datos sobre cada una de las macrorutas de la zona de estudio, así como el recorrido actual que realizan los vehículos recolectores.
- El análisis de los datos recopilados permitió la generación de información del modelo de recolección de RSU para cada macroruta de la zona de Estudio. Una vez obtenida esta información se reformuló el modelo de recolección de RSU de la Administración Zonal Eloy Alfaro, empezando por la modificación de las macrorutas de las cuales se generó las microrutas de recolección.
- El método planteado en este trabajo para la elaboración de rutas óptimas es aplicable al resto de Administraciones Zonales donde se presta el servicio de recolección de RSU, siempre que se haya realizado un estudio previo de las zonas y se cuente con la información necesaria.

RECOMENDACIONES

- Para poder aplicar esta metodología al resto de Administraciones Zonales es necesario recopilar todos los datos presentados en esta disertación y generar nueva información para la zona donde se planteará el rediseño del modelo de recolección de RSU, ya que si bien el modelo de recolección es el mismo, las características intrínsecas de las zonas pueden generar variaciones en el tiempo y en el rendimiento de la operación.
- Se requiere el conocimiento del modelo de recolección y de los elementos que lo conforman, así como las características de la flota vehicular destinada al servicio ya que esta información se reproducirá en el rediseño.
- Es indispensable el trabajo de campo previo a la actualización de rutas, ya que además de proporcionar información sobre las características de la zona a rediseñar, permite identificar las particularidades de la operación del lugar.
- Se debe contar con un registro de los requerimientos de actualización o reformulación de las rutas.
- Se requiere realizar la constante actualización de la cartografía base, en especial del Network Dataset que contiene las características del sistema vial del DMQ; ya que el dinamismo de las ciudades obliga a que los ejes viales estén en constante cambio, los mismos que deben replicarse en la información cartográfica de tal manera que las rutas que se rediseñen respondan a la realidad del área de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

ALBEROLA M., GALLARDO A., COLOMER F.J. (2011): Comparación de métodos de optimización de rutas en la recogida de residuos sólidos urbanos aplicado a Castellón de la Plana. 4º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. México DF, México.

ARRIBAS, C Y BLAZQUEZ, C. (2008): Diseño de un Sistema de Recolección Utilizando Herramienta Geo- Tecnológicas. Universidad Andrés Bello. Chile.

BANCO DE DESARROLLO DEL ECUADOR. (2012): Estudio definitivo del Sistema Integrado de Recolección Contenerizada en el Distrito Metropolitano de Quito. Quito.

BANDALA, M Y OSORIO, M. (2011): Análisis del sistema de recolección de basura en la zona urbana del municipio de San Pedro Cholula mediante la aplicación de un modelo de Ruteo de Vehículos con Capacidad. Puebla – México.

BARRIENTOS M. (2007): Network Analyst: El análisis de redes desde ArcGIS 9.2. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

BARRIOS, J Y SAAB, F. (2010): Diagnóstico del sistema de recolección, manejo y disposición de los desechos sólidos generados por las comunidades Boyacá IV y V, Municipio Simón Bolívar, estado Anzoátegui. Tesis de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Oriente. Barcelona.

BRESLIN, P Y KEANE, A. (1997): The capacitated arc routing problem: Lower bounds. School of Business. University College Dublin. Belfield.

CAMPOS, V. (2006): Problemas de Rutas. Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Valencia. España.

CASTILLO, M. (2012): Consultoría para la realización de un estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos domésticos y asimilables a domésticos para el distrito metropolitano de Quito". Quito.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS AMBIENTALES CEPIS. (2002): Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública elaborados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Lima.

CERRÓN, M. (2008): Diseño de rutas óptimas de recolección de residuos sólidos domésticos mediante el software MARS. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Brasil.

COMPROMISO EMPRESARIAL PARA EL RECICLAJE- CEMPRE. (1998): Residuos sólidos Urbanos Manual De Gestión integral. Uruguay.

CONCEJO METROPOLITANO DE QUITO (2010): Ordenanza Metropolitana 332: Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito Metropolitano de Quito.

CONSEJO AMBIENTAL ROSARIO. (1998): Agenda 21 local: Para que Rosario sea una Ciudad Sustentable de Residuos Sólidos Urbanos. Rosario.

ECUADOR EN CIFRAS (2010): Medidas de Pobreza y Extrema Pobreza por Ingresos. Resumen Ejecutivo.

EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE ASEO. (A), (2012): Estudio Definitivo del Sistema Integrado de Recolección Contenerizada.

EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE ASEO. (B), (2012): Gerencia de Operaciones. Quito, Ecuador.

EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE ASEO. (C), (2012): Proyecto de Contenerización Fase II.

GÓMEZ ROSERO.; EMASEO EP. (2011): Modelo de gestión para implementar el sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito metropolitano de Quito, con tecnologías innovadoras de contenerización. Quito.

GUZMAN J. (2010): A geographic information systems- based decision support system for solid waste recovery and utilization in Tuguegarao City. Bogor Agricultural City. Indonesia.

HAUPT Y KANE (2003): Guía rápida de la población. Population Reference Bureau. Washington, DC.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. (1984): Desarrollo de algoritmos para diseño de rutas de recolección con optimización en computadora a nivel nacional. México.

LAPORTE, G. (1991): The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. Centre de Recherche sur les Transports. Universidad de Montreal. Canadá.

MARQUEZ, J. (2010): MACRO Y MICRO RUTEO DE RESIDUOS SÓLIDOS RESIDENCIALES. Tesis de Ingeniería. Departamento de Ingeniería. Universidad de Sucre. Colombia.

MENA, S. (2010): Propuesta de segmentación geográfica para la determinación de potenciales puntos de distribución farmacéutica en la ciudad de Quito: Caso de Distribuidora Farmaventa. Disertación de Ingeniería. Dep. Geografía – PUCE. Quito.

MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO – DIRECCIÓN METROPOLITANA DE TERRITORIO Y VIVIENDA (2000): Plan General de Desarrollo Territorial 2000-2020. Quito.

RACERO, J YPÉREZ E. (2001): Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios (Ecoeficiencia). X Congreso de Ingeniería de Organización. Valencia.

ROBUSTÉ, F.; MAGÍN, F.; ESTRADA, M. (2003): Las Nuevas Tecnología de la Información y la Distribución urbana de Mercancías. En: <http://www.minetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/353/051robuste.pdf>. Revisado en Octubre de 2012.

RODRÍGUEZ A Y GONZÁLES E. (2001): Asignación de rutas de vehículos para un Sistema de recolección de residuos Sólidos en la acera. En: Revista de Ingeniería-Universidad de los Andes, 13, 5-11. Bogotá.

SANDOYA, F. (2007): Métodos Exactos y Heurísticos para resolver el Problema del Agente Viajero (TSP) y el Problema de Ruteo de Vehículos (VRP). Guayaquil – Ecuador.

SAKURAI, K. (1980): Diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos. Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

SECRETARIA DE TERRITORIO, HÁBITAT Y VIVIENDA. (2008): Superficie del Suelo de la Administración Eloy Alfaro por tipo y uso según parroquias. En: <http://sthv.quito.gob.ec/images/indicadores/indicadores2009/PUOS2008.htm> Revisado en Octubre de 2012.

SEDESOL. (1996): Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales. Secretaría de Desarrollo Social. México.

TCHOBANOGLUS, G; THEISEN, H; VIGIL, S. (1994): Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen I. México. McGraw-Hill

VÁSQUEZ, M. (2007): Desarrollo de un framework para el problema de ruteo de vehículos. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Chile. Santiago de Chile.

VILLEGA, J.; LOPERA, D.; SÁNCHEZ, D. (2007): Problemas de enrutamiento, aplicaciones y bibliografía básica. Departamento de Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Medellin.

WATERS, N. (1999): Transportation GIS: GIS-T En: Geographical Information Systems. Pág.: 824-844. USA.

PÁGINAS WEB

ArcGIS Desktop 9.3 Help

<http://webhelp.esri.com/ArcGISdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome>

http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Vehicle_routing_problem_analysis/00470000004v000000/

EMASEO EP

http://www.emaseo.gob.ec/documentos/2012/ÍNDICES_gestion_diciembre2012.htm

http://pesos.emaseo.gob.ec/Peso_Online

ESRI (Environmental System Research Institute)

<http://www.esri.es/es/soluciones/transportes/logística>

http://www.esriven.com/newsite/html/producto_ArcGIS_extension.asp?opcion=3&titulo=ArcGIS%20Network%20Analyst

<http://www.esri.com/software/arcgis/geodatabase>

Secretaria De Territorio, Hábitat y Vivienda

<http://sthv.quito.gob.ec/images/indicadores/parroquia/Demografia.html>