

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERIA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

**“Optimización de rutas en la recolección de basura del Pueblo de
San Luis Tlaxialtemalco”**

TRABAJO RECEPCIONAL

PARA OBTENER EL TITULO DE LICENCIADA EN

INGENIERÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO

PRESENTA:

Karla Selene Ortiz Jiménez

Director del trabajo recepcional

Mtro. en C. Luis David Berrones Sanz

México D.F. Febrero, 2015.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

ÍNDICE

1.	Introducción	4
1.1.	Planteamiento y justificación del problema	5
1.2.	Propósito General	7
1.2.1.	Objetivo General.....	7
1.2.2.	Objetivos específicos.....	7
1.3.	Metodología	8
1.4.	Resumen de capítulos	9
2.	La recolección de residuos sólidos	10
2.1.	Antecedentes	10
2.1.1.	Definición de los residuos sólidos	14
2.1.2.	Composición de los residuos sólidos	15
2.1.3.	Factores que intervienen en la composición de los residuos sólidos	17
2.1.4.	Clasificación de los residuos sólidos	17
2.2.	Equipos de recolección.....	19
2.3.	Descripción del proceso en la recolección de basura	24
2.3.1.	Métodos de Recolección	27
2.3.2.	Frecuencia de recolección	30
2.3.3.	Separación, procesamiento y transformación	31
2.3.4.	Transferencia y transporte	32
2.3.5.	Disposición final.....	33
3.	Marco teórico para la recolección de residuos sólidos	33
3.1.	Programación lineal y Métodos de ruteo.....	34
3.2.	Macroruteo	41

3.3.	Microruteo	44
3.4.	Software para ruteo	47
3.4.1.	Software Grafos®	50
4.	Recolección residuos sólidos en el Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco.	55
4.1.	Descripción del sistema actual.	57
4.2.	Vehículos en la recolección de basura	58
4.3.	Delineación territorial de la zona.	61
4.4.	Rutas actuales aplicadas durante la etapa de recolección de basura en San Luis Tlaxialtemalco	66
4.5.	Macroruteo para la recolección de residuos sólidos para el Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco	72
4.6.	Microruteo la recolección de residuos sólidos del Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco	78
5.	Resultados.....	85
6.	Conclusiones.....	92
7.	Bibliografía.....	97
8.	Referencias Electrónicas	97
9.	Entrevistas Realizadas.....	100
10.	Siglas y Abreviaturas	100

1. Introducción

A través del paso del tiempo, el crecimiento económico y poblacional ha traído como consecuencia un proceso de urbanización creciente, el cual ha provocado un aumento considerable en la cantidad de los residuos sólidos (basura), propiciando altos niveles de contaminación debido a la carente infraestructura destinada para el manejo de desechos, aunado a lo anterior las malas costumbres de la sociedad y en ocasiones el mal servicio, por parte de los servidores públicos. Enfrentar el manejo apropiado de los desechos sólidos es prioridad dentro de las responsabilidades de los gobiernos municipales; la solución de estos problemas depende en gran medida de la aplicación de diversos conocimientos, los cuales se ven reflejados en importantes beneficios a la sociedad como son: la reducción de contaminación, mayor higiene, reducción de riesgo a enfermedades, mejora de la imagen urbana, entre otros. La población vive con deficiencias en los distintos servicios municipales de los cuales es usuario permanentemente, las cuales son en ocasiones un reflejo del mal diseño de los sistemas gubernamentales que se realizan sin un análisis adecuado, ya sea por la falta de conocimiento del personal asignado al sistema en cuestión o por desconocimiento de las herramientas metodológicas que permiten diseñar y desarrollar sistemas.

Es así, que mediante herramientas y técnicas como la investigación de operaciones y sus modelos de redes, se puede hacer una contribución a la sociedad en lo que a la recolección de residuos sólidos se refiere. El análisis de las redes y la optimización de estos recursos, traen consigo ahorros en los costos, tiempos y factores ambientales. De aquí, que este trabajo establecerá el análisis de una colonia del Distrito Federal; con ello, se podría adaptar a toda la ciudad y con esto analizar los beneficios que se podrían obtener.

1.1. Planteamiento y justificación del problema

Existen diversos problemas relacionados a los servicios proporcionados por el Gobierno municipal hacia la población, algunos de ellos son el servicio de agua potable, drenaje, educación, energía eléctrica, recolección de basura, seguridad, alumbrado, etc. En la mayoría de los casos este tipo de servicio no se ofrece de manera óptima y/o equitativa por diferentes causas ya sea la falta de diseño por parte de las autoridades encargadas de éstos o en su defecto por la falta de recursos. Por ello, es de suma importancia aplicar los avances del conocimiento en el desarrollo de este tipo de sistemas para su mejoría.

Ahora bien, desde el punto de vista de la salud pública es importante trabajar en contra de la proliferación de enfermedades y la aparición de ratas, moscos, gusanos, etc., que se generan por la acumulación de los desechos domiciliarios. Independientemente de que exista en los hogares la cultura de la separación de los desechos, la responsabilidad para evitar estos males está en manos de la adecuada recolección de estos desechos, si esto no es así, el trabajo del buen manejo y separación en el hogar es en vano. Por tanto para evitar estos problemas es necesario tener un sistema adecuado de recolección de basura, motivo por el cual también se desarrolla esta investigación.

La basura es un problema en la Ciudad de México ya que por día se generan más de doce mil toneladas de basura causado por el rápido proceso de urbanización (González, J. F., 2013), el crecimiento comercial e industrial, la modificación de los patrones de consumo y la carencia de un plan de desarrollo urbano no permiten el manejo adecuado de los desechos sólidos. Actualmente el manejo de desechos sólidos enfrenta grandes desafíos para la Ciudad de México, tanto en logística como en costos, propiciado por el aumento en los volúmenes de la basura. Aunque se puede llegar a pensar que el problema se presenta cuando la basura se acumula en las calles o en los hogares esto no es tan cierto, ya que este problema comprende desde su generación, falta de separación, acumulación, recolección y disposición final. En cada una de estas etapas pueden ser aplicados múltiples conocimientos de diferentes disciplinas para el mejoramiento de este tipo de subsistemas (en nuestro caso en la recolección) y sobre todo para que la población se vea beneficiada al obtener una mejor calidad en el servicio que se le brinda.

Todo esto conduce a la necesidad de desarrollar una manera integrada de soluciones, centradas principalmente en la recolección de basura a través de la modificación del ruteo. El Gobierno tiene la responsabilidad de la limpieza de áreas públicas y el servicio de recoger la basura generada en casas habitación. El objetivo de la prestación del servicio de limpia es: proteger la salud pública y el medio ambiente. Sin embargo, asociados a estos objetivos primordiales del servicio, están algunos objetivos del Gobierno de la Ciudad de México, y en particular del organismo prestador del servicio, que son: proteger la salud pública y el medio ambiente al menor costo.

Lo anterior significa que el servicio mencionado, se debe ofrecer de manera eficiente. La recolección de residuos es una de las partes del servicio prestado, que es susceptible de optimizar, dado que, como se verá más adelante, se puede realizar el mismo trabajo de maneras muy diferentes.

La recolección de residuos abarca, en términos generales, transportar los residuos sólidos desde su almacenamiento en la fuente generadora hasta el vehículo recolector y luego trasladarlos hasta el sitio de disposición final o a la estación de transferencia.

En este trabajo se realizara un caso de estudio de recolección de residuos en el Pueblo San Luis Tlaxialtemalco ubicado dentro de la Delegación Xochimilco, en el Distrito Federal (D.F.); el deseo de trabajarlo es por la oportunidad de aplicar diversos conocimientos como la Investigación de Operaciones, técnicas cuantitativas para transporte, programación lineal, métodos de ruteo y uso de software especializado que nos ayudan a diseñar un nuevo ruteo para la recolección de basura más ordenado y eficiente, en el que se recorra en menor distancia la zona de estudio, es decir, usar eficientemente los caminos disponibles de manera que se reduzcan los costos que representa brindar el servicio de recolección de basura, de tal modo que permitan que todos los usuarios puedan entregar su basura sin mayores dificultades; todo esto a fin de mitigar los problemas que la sociedad enfrenta ante la disfuncionalidad del sistema de recolección de basura como por ejemplo contaminación, creación de plagas como cucarachas y ratas, enfermedades, pésima imagen urbana, entre otras, y así, estén satisfechos con la calidad del servicio que se ofrece.

1.2. Propósito General

En el presente trabajo se pretende desarrollar por medio de investigación, metodologías y conocimientos adquiridos durante la formación académica en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), respaldado por medio de fundamentos reales, y de manera que éste pueda ser utilizado como referencia para futuros trabajos. Para esto, se presupone, que el sistema de recolección de basura, provenientes de Colonias o Pueblos puede mejorarse confiablemente aplicando un modelo de Ruteo a partir de herramientas básicas como el uso de Software especializado y métodos determinísticos con el propósito de reducir costos y distancias recorridas, para posteriormente, facilitar los conocimientos básicos a aquellas personas que estén interesadas en el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos Municipales, para reducir los costos y distancias recorridas a fin de aumentar la calidad de este servicio, es así, que dando lo anterior como propósito general, se presentan a continuación los objetivos generales y específicos de la investigación.

1.2.1. Objetivo General

Aportar una propuesta de ruteo para optimizar la recolección de la basura en el Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, por medio de herramientas básicas de la Investigación de Operaciones, el uso de softwares especializados y métodos determinísticos utilizados para el diseño de rutas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Reducir la distancia total recorrida por ruta.
- Reducir los gastos generados por vehículo, tales como combustible, desgaste de neumáticos.
- Reducir en el tiempo de recorrido.
- Bridar el servicio de manera frecuente y eficiente para aumentar la calidad del servicio.
- Disminuir las emisiones contaminantes generadas por la recolección de residuos.

1.3. Metodología

Primero se determina la zona de estudio, la cual corresponde al Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, se realiza una investigación sobre el proceso de recolección de basura a nivel general, ésta se desarrolla con ayuda de varias fuentes secundarias, tales como: sitios web, libros, manuales, gacetas, documentos jurídicos -es decir leyes-, reglamentos, normas y folletos; posteriormente se obtienen datos operativos del sistema de recolección de basura actual de la zona de estudio, mediante entrevistas realizadas a los dos trabajadores que hay para cada uno de los vehículos recolectores que prestan el servicio así como a los choferes de cada vehículo recolector, también se consigue información proporcionada vía internet por el sistema INFOMEX, además para confirmar la veracidad de la información obtenida por las fuentes anteriores y aumentar los conocimientos sobre los datos de operación del sistema de recolección en San Luis Tlaxialtemalco se entra en contacto directo con el personal operativo de la unidad departamental de Limpia de la delegación Xochimilco específicamente con el Señor Santos Fuentes Jefe de ésta unidad. Una vez cumplida esta etapa se da comienzo a la elaboración de la tesis, es decir se procede a digitalizar el mapa de la zona utilizando el software Grafos, éste ayuda a mostrar cada una de las 5 rutas ejecutadas actualmente, estas están conformadas por nodos y arcos dirigidos, donde los nodos representan las esquinas en donde los vehículos se estacionan para poder recibir los desechos sólidos de los usuarios y los arcos representan las vías por las cuales este transita. A fin de analizar cada una de ellas y optimizarlas por medio de Microsoft Streets &Trips 2013®.

Por medio de Microsoft Streets &Trips 2013® se obtuvo la solución óptima, es decir, rutas que redujeran la mayor distancia posible pero siempre y cuando cubrieran en su totalidad la demanda, además redujeran la distancia de recorrido así como el tiempo y como consecuencia también el de combustible. Se procede a calcular los resultados de los beneficios que con la aplicación de las nuevas rutas se obtendrá como por ejemplo cálculo de emisiones contaminantes y reducción de costos operativos.

Finalmente se concluye que hay manera de mejorar el actual servicio de recolección de basura del pueblo de San Luis Tlaxialtemalco elevando su calidad de servicio y brindando beneficios para la sociedad y el gobierno siempre y cuando se utilicen adecuadamente las herramientas metodológicas y de software especializado que existen para este tipo de problemas.

1.4. Resumen de capítulos

Este trabajo está desarrollado de la siguiente manera: Breve introducción sobre los desechos sólidos, determinación de los objetivos e hipótesis de la investigación; además en el punto dos del índice “La Recolección de Residuos Sólidos” se abordan los antecedentes históricos sobre el desarrollo de la basura desde la época prehispánica hasta nuestros tiempos, así mismo expone la definición de los residuos sólidos, así como su composición, se explican los tres factores que intervienen en la composición de los residuos sólidos y su clasificación. Del mismo modo se explican los métodos de recolección, los diversos equipos que existen para brindar este servicio y las diferentes frecuencias que existen para la realización de ello. También se describe el proceso en la recolección de basura y cada una de sus etapas desde su recolección hasta su disposición final dentro del Distrito Federal.

El siguiente apartado “Marco teórico para la recolección de residuos sólidos”, contiene los fundamentos teóricos en los que se basa este documento cómo la metodología de la investigación de operaciones, explicación de la programación lineal y su utilidad, conjuntamente se muestran los métodos que se utilizan para el diseño de rutas de recolección y los dos niveles de ruteo necesarios para el diseño: Macro ruteo y Microruteo, de igual manera se realiza una breve reseña del uso del software y las herramientas con las que éste cuenta.

En el punto cuatro “Recolección residuos sólidos en el Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco”, se explica la operación del sistema de recolección actual de la localidad estudiada, tipo de vehículos recolectores empleados, subdivisión del área y las rutas actuales que realizan durante la etapa de recolección de desechos sólidos. Además de la aplicación de análisis de macroruteo y microruteo al Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco.

Por último, en los resultados se define la solución del problema motivo por el cual se ha realizado este trabajo, a través de la aplicación del microruteo y macroruteo a la zona de estudio San Luis Tlaxialtemalco, la mejora que la solución implica, y las conclusiones a las que se llegaron.

2. La recolección de residuos sólidos

2.1. Antecedentes

Aludiendo a tiempos remotos, cuando el ser humano surgió como especie, éramos tan moderados y poco desperdiciados como las demás especies existentes que habitaban nuestro planeta. “En aquella época éramos cazadores y recolectores y no dejábamos nada a nuestro paso es decir todo lo aprovechábamos. Hasta los huesos de los animales cazados eran rotos a pedradas para usar el tuétano, una insuperable fuente de proteína” (Amparán, 2013). Es así, que siendo nómadas y consumidores de todo lo que se encontraba a nuestro paso no existía nada que pudiera considerarse como inservible.

La situación cambio considerablemente cuando se descubrió la agricultura: por primera vez, para alimentarse, el hombre no dependería del azar y de las costumbres migratorias. Originando una nueva forma de vida sedentaria, con ello aparecieron dos importantes problemáticas las cuales se desconocían, como primer lugar tras obtener el éxito del fenómeno agrícola, la certeza de que se tendría alimento para el futuro, determinó que más y más gente se dedicara a lo mismo. Dando como resultado un crecimiento en las comunidades sedentarias, y con ello una expansión, el hombre tuvo que enfrentarse al conflicto del urbanismo. El segundo problema importante del sedentarismo fue que, debido a la permanencia de comunidades parcialmente grandes en un mismo lugar, el qué hacer con los desechos se volvió un problema serio.

Un reto que cada civilización tenía que resolver de la manera en que ellos pudieran. En cuestiones de cómo se hacían cargo de su basura, del tipo de desechos, la ubicación de los basureros y la forma que tenían que lidiar con ellos.

En el siglo XVIII llegó la mayor transformación civilizatoria de los últimos milenios: La Revolución Industrial, que trajo cambios tan abismales como los acontecidos con el paso del nomadismo a la sedentarización. Con la Revolución Industrial vino la gran explosión en la generación de basura, por dos razones:

1. Los procesos industriales generan desperdicios y desechos en una proporción mayor que los artesanales.

2. Siendo los productos más accesibles y baratos, la tentación de echarlos a la basura cuando se dañaban o dejaban de funcionar correctamente, se volvía mayor.

Aunado a lo anterior, hace medio siglo se incorporó la cultura de lo desechable, con productos que ganaron rápidamente la simpatía de los consumidores por la comodidad que ofrecen, pero con artículos con un breve ciclo de vida y que convierten rápidamente en basura, con un sólo uso o en muy poco tiempo, y la diversidad es muy grande, tales como: vasos, platos, cubiertos, estuches de cosméticos, juguetes, aparatos electrodomésticos, accesorios para el automóvil, zapatos, joyería de fantasía, tarjetas de presentación, plumas, bolsas de plástico, etcétera. El resultado es notable: cada ser humano genera cada vez más basura y aunque las cantidades varían de acuerdo a la región, ninguna, deja de ser alarmante. De acuerdo con (González, 2013) en el Distrito Federal se generan, cada día, 1.2 kilogramos de basura por habitante y si bien, existe un esfuerzo de la sociedad por la disminución de basura, como el desarrollo de algunos plásticos biodegradables, campañas de educación ambiental y la cultura del reciclaje, aún no se ha podido terminar o mitigar a este problema.

En la actualidad el manejo de los desechos en el Distrito Federal consta de cuatro etapas, las cuales son:

- Recolección
- Separación, procesamiento y transformación
- Transferencia y transporte
- Disposición final

Dentro del proceso de recolección cabe destacar que se genera a diario alrededor de 12,600 toneladas de residuos sólidos, estos se recolectan a través de 2,300 vehículos recolectores de capacidades diferentes que tienen entre 0.5 y 18 metros cúbicos, dependiendo del tipo de contenedor, asimismo estos son operados por más de 17 mil trabajadores de las 16 delegaciones del Distrito Federal. (SOBSE, 2013).

Las Delegaciones tienen a su cargo la recolección de los residuos y su transporte principalmente a las estaciones de transferencia y en menor medida a las plantas de selección o directamente a los sitios de disposición final.

Los métodos de recolección utilizados son los siguientes:

- El de esquina o parada fija
- El de acera
- El de contenedores

Como parte de este proceso se cuenta con 13 estaciones de transferencia, las cuales tienen como objetivo principal incrementar la eficiencia del servicio de recolección, de manera que gracias a estas estaciones de transferencia se reducen los tiempos para la descarga de los residuos de cada vehículo, esto se debe a que en lugar de trasladarse hasta las plantas de selección o los sitios de disposición final, acuden a la estación de transferencia ubicada en su zona, o bien a la más cercana a su ruta de trabajo, permitiendo que los vehículos de recolección se incorporen nuevamente a sus rutas durante la jornada de trabajo.

Para la selección de basura se cuenta actualmente con tres plantas de selección de residuos urbanos mezclados, con capacidad instalada conjunta de 6,500 toneladas por día. Estas tres plantas se ubican en Bordo Poniente, San Juan de Aragón y Santa Catarina.

En este proceso se recuperan los siguientes materiales: Aluminio, traste, macizo, chatarra, perfil, bote aluminio, bote ferroso, fierro, lámina metálica, cobre, alambre, botellas de refresco y cerveza, vidrio ámbar, transparente y verde, cartón, todo tipo de papel, periódico, policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET), plástico rígido o nylon y vinil, entre otros. (SOBSE, 2013).

Los sitios de disposición final, se ubican, como se puede observar en la figura 1, en el Estado de México, y tienen la característica, de que previamente al inicio del depósito de materiales, se debe colocar una geomembrana de polietileno de alta densidad, que sirve como impermeabilizante para evitar la filtración de lixiviados¹ a los mantos freáticos e incluso al acuífero. En los sitios de disposición final, los residuos sólidos son confinados en forma segura y controlada, en espacios que al saturarse son reforestados y se convierten en áreas verdes destinadas a la recreación.

¹ Los lixiviados: son los líquidos que se desprenden de los desechos sólidos (rellenos sanitarios), estos pueden alcanzar las aguas subterráneas y causar, como resultado, problemas medioambientales o de salud. (Aguapedia, 2014)

2.1.1. Definición de los residuos sólidos

Existen diversas definiciones de lo que son los residuos sólidos, para este trabajo, la más importante será la descrita en la Ley General para la Prevención y Gestión integral de los Residuos (LGPGIR), ya que es la que se utiliza en los Municipios y en el Distrito Federal, sin embargo, veamos algunas definiciones:

La Ley General para la Prevención y Gestión integral de los Residuos (LGPGIR), expone en su artículo 5 fracción XXXIII que los residuos sólidos son: “los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta ley como residuos de otra índole”.(Cámara de diputados LXII legislatura, 2014).

Por otra parte el diccionario de la real academia define a la basura de la siguiente manera: “parte o proporción que queda de un todo; materia que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación” (Diccionario de la Real Academia Española, 2001)

Así también la Norma Técnica de Residuos Sólidos 1 de terminología (NTRS-1) presenta en su apartado 2.4 la siguiente definición “residuos sólidos son aquellos que se generan en casa habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bieninmuebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos de servicio en general y todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente peligrosos de hospitales, clínica, laboratorios y centros de investigación.” (Reglamento para la Prestación del Servicio de Aseo Público, 2014)

2.1.2. Composición de los residuos sólidos

Con el paso del tiempo el desarrollo industrial se ha fortalecido, es así que los residuos sólidos han sufrido variaciones en cuanto a su calidad y composición, por lo que para realizar una adecuada y correcta gestión de estos, es necesario saber la manera en la que están compuestos, ya que en función de sus componentes, se pueden dimensionar los sistemas de recogida selectiva y de reciclaje.

El artículo 3, sección XXVII, de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal define la recolección selectiva o separada como la “acción de recolectar los residuos sólidos de manera separada en orgánicos, inorgánicos y de manejo especial” (*Cámara de diputados LXII legislatura, 2014*).

Además la separación de los subproductos de la basura o los materiales que componen los residuos sólidos (Tabla 1) trae consigo la operación de pequeñas empresas dedicadas al reciclaje y transformación de nuevos productos; o para el caso de los residuos biodegradables la realización de tratamientos para ser parte de una composta. De manera que además de aprovechar los residuos sólidos se ayuda a conservar los recursos naturales y alargar la vida útil de los sitios de disposición final, al depositar en ellos menor cantidad de residuos.

Tabla 1. Composición de los residuos sólidos en el Distrito Federal

SUBPRODUCTOS	SUBPRODUCTOS
Algodón	Material de construcción
Cartón liso	Material ferroso
Cartón corrugado	Aluminio
Otros cartones	Bronce
Envase de cartón tetrapak	Cobre
Cuero	Pilas eléctricas
Residuo fino	Acero inoxidable
Residuo grueso	Papel bond
Fibra dura vegetal	Periódico
Fibra sintética	Revista
Hueso	Papel higiénico
Llantas de automóvil	Pañal desechable, toallas femeninas
Otros hules	PET
Lata de aluminio	HDPE-PEAD(polietileno de alta densidad)
Losa y cerámica	PVC
LDPE-PEBD (polietileno de baja densidad)	Vidrio de colar
PP (polipropileno)	Tenis
PS (poli estireno)	Zapatos
Alimenticios	Alfombra
Residuos de jardinería	Cera parafina
Trapo	Chácharas
Vidrio transparente	muebles
Colchón	Fibra de vidrio
Electrónicos	

Fuente: (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2010)

2.1.3. Factores que intervienen en la composición de los residuos sólidos

La composición de los residuos sólidos, se refiere a los materiales que conforman o que se pueden extraer o recuperar de los residuos sólidos, de acuerdo con (Zepeda, K., 2013) estos dependen de los siguientes factores:

Modo y nivel de vida de la población, es decir, el uso de productos alimenticios preparados hace que se eleve el contenido de envases y embalajes de todo tipo.

Actividad y características de la población, mucho depende si es zona rural (predominio de productos fermentables) o núcleos urbanos (mayor aportación de materia orgánica pero con existencia de envases y embalajes), áreas residenciales (hegemonía de envases y embalajes) o zonas de servicios (en donde dominan los residuos industriales).

Climatología y estacionalidad de la zona, es decir durante el verano el tipo de residuos que se presentan en mayor cantidad con los restos de frutas y verduras, mientras durante el invierno hay un aumento de residuos de madera, leña, cenizas provenientes de calefacciones domésticas, etc.

2.1.4. Clasificación de los residuos sólidos

Los residuos sólidos se pueden clasificar de maneras distintas, por ejemplo: de acuerdo a los factores que intervienen en su composición, de acuerdo a su fuente producción o por su tipo de recuperación.

La tabla siguiente, muestra una clasificación, de acuerdo a residuos orgánicos, inorgánicos y sanitarios.

Tabla 2. Clasificación de los residuos sólidos por su origen.

Residuos Orgánicos	Residuos Inorgánicos	Residuos sanitarios
Restos de comida	Papel	Papel sanitario
Cascaras de frutas, verduras y hortalizas	Periódico	Pañales desechables
Cascaron de huevo	Cartón	Toallas sanitarias
Cabello y pelo	Platicos	Algodones de curación
Restos de café y te	Vidrio	Pañuelos desechables
Pan	Metales	Rastrillos y cartuchos de rasurar
Tortillas	Textiles	Preservativos
Bagazo de frutas	Maderas procesadas	Utensilios de curación
Productos lácteos	Envases de tetra pack	Jeringas desechables
Servilletas con alimento	Bolsa de frituras	Excretas de animales
Residuos de jardín, pasto y ramas	Utensilios de cocina	Colillas de cigarro
Tierra y polvo	Cerámica	Aceite comestible
Ceniza y aserrín	Juguetes	Fibras para aseo
Huesos y productos cárnicos	Calzado	Residuos domésticos peligrosos
	Cuero	
	Radiografías	
	CD's y cartuchos para impresora y copiadoras	

Fuente: (Zepeda, K., 2013.)

Zepeda, K. (2013) propone la siguiente clasificación de los residuos sólidos por su fuente producción:

- **Domiciliarios:** son aquellos que se generan en las casas habitación y no requieren alguna técnica especial para su control, éstos son residuos orgánicos e inorgánicos.
- **Comerciales:** éstos son generados en todo tipo de establecimiento comercial. Se componen, en su mayor parte, por residuos alimenticios o materias orgánicas que se pudren con facilidad por lo que requieren una recolección rápida. Al igual que los domiciliarios no requieren de alguna técnica especial para su manejo.

- Servicios: éstos corresponden a los residuos generados en restaurantes, bares, oficinas, hoteles, etc. Su manipulación es igual a los domiciliarios y comerciales.
- Especiales: son los procedentes de hospitales, consultorios médicos, sanatorios e industriales, estos residuos peligrosos y tienen un manejo especial.

Clasificación de los residuos sólidos por su recuperación.

- Residuos recuperables: son aquellos que mediante un tratamiento se pueden reutilizar como materia prima y reintegrarlos de nuevo al ciclo de consumo. Algunos ejemplos son: vidrio, hule, plástico, metal, cartón, etc.
- Residuos no recuperables: este grupo está formado básicamente por los residuos generados en hospitales, sanatorios, industrias de manejo de sustancias químicas, etc.

2.2. Equipos de recolección

En cuanto a los equipos de recolección y transporte, SEDESOL (1997) aconseja que, se utilicen vehículos con carrocerías de gran capacidad, equipados con compactadoras para minimizar los costos de recolección, y que sea el óptimo de acuerdo a las características físicas y poblacionales de la localidad.

A continuación se profundizará en las características de las carrocerías:

Las *carrocerías de volteo*, si bien son más utilizadas en las localidades rurales por su versatilidad y bajo costo, no son las apropiadas para la recolección y transporte de basura doméstica debido a su ausencia de sello hermético en el fondo y por no estar cubiertas, por lo que fácilmente, durante su operación, se esparcen los residuos y líquidos que usualmente contiene la basura.

Existen carrocerías para vehículos recolectores de carga lateral, trasera y frontal. Los vehículos con carga frontal son utilizados únicamente para la carga mecánica de contenedores, mediante un par de brazos, que conectan con el contenedor, elevándolo y vaciándolo por la parte superior de la caja compactadora.

Los vehículos con carrocerías de carga trasera de dos ejes, son muy eficientes, puesto que la recolección se realiza de manera cómoda y fácil, ya que su altura de carga no rebasa el 1.20 metros de altura. Asimismo, permiten prescindir de un operario reduciendo los costos de operación.

Por otro lado, es necesario acentuar que no siempre es necesario utilizar vehículos especializados para la recolección de basura, ya que existen casos en donde las condiciones geométricas de las vialidades no facilitan el acceso y maniobrabilidad que los vehículos requieren para ello, por lo que se recomienda el uso de unidades no convencionales, es decir un vehículo no convencional es todo aquel utilizado para la prestación de este servicio, en sustitución de cualquier equipo de recolección considerado como especializado; cabe mencionar que estos vehículos resultan más adecuados en tanto al costo y eficiencia, que los que se pudieran obtener utilizando unidades recolectoras especializadas. (SEDESOL, 1997)

Es así, y de acuerdo con el manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales (SEDESOL, 1997), que se puede tener la clasificación de los equipos de recolección de la manera siguiente:

- Equipos recolectores de alta tecnificación: Son todos aquellos que por adaptación o por diseño original, están capacitados para realizar maniobras de carga y descarga de contenedores.
- Equipos especializados para la recolección de residuos sólidos: Son todos los vehículos compactadores de carga trasera y lateral; y algunos otros de carga lateral sin mecanismos de compactación pero con placa empujadora de basura.
- Equipos no convencionales para la recolección de residuos sólidos: Será cualquier vehículo utilizado para la prestación del servicio en cuestión, que no cuente con las características señaladas para los equipos especializados y de alta tecnificación.
- Sistemas de Recolección por Contenedores Altamente Especializados: Son equipos altamente tecnificados donde la diferencia radica en el mecanismo empleado para la carga y descarga de contenedores con capacidad desde seis hasta 22 metros cúbicos (m^3). Estos sistemas son convenientes para cuando no se cuenta con un acceso adecuado y/o en zonas de gran generación. También es recomendable utilizarlos en mercados, hospitales, tiendas de autoservicio, multifamiliares de gran tamaño, industrias, etc.
- Vehículos Compactadores con Mecanismos de Carga Trasera, Frontal y Lateral: Estos vehículos cuentan con una capacidad volumétrica de 12 a 30 m^3 , con mecanismo de carga y de descarga de contenedores, cuya capacidad varía desde uno hasta seis metros cúbicos, según la potencia de dicho mecanismo. Es utilizado principalmente para la recolección de basura en centros de gran generación como mercados, multifamiliares, unidades habitacionales y supermercados, etc.

Figura 2 .Vehículo compactador de carga frontal.



Fuente:(ASECA, 2014)

- Vehículos Compactadores de Carga Lateral: estos vehículos pueden ser de caja cuadrada o cilíndrica con mecanismo de compactación. La carga de basura se hace lateralmente. Su capacidad de carga varía normalmente de 10 a 16m³. Su principal ventaja es su mecanismo sencillo de compactación, además se le puede adaptar un mecanismo para la carga y descarga de contenedores. Su principal desventaja es la altura de carga y su diseño las cuales obligan a que un empleado viaje dentro de la caja para recibir la basura, por lo que la compactación no se hace con la regularidad debida.

Figura 3.Vehículo compactador de carga lateral.



Fuente: (ASECA,2014)

- Vehículos Compactadores de Carga Trasera: En este tipo de vehículos, la carga de basura se hace a través de una tolva que se encuentra ubicada en la parte posterior de la carrocería.

Normalmente son de entre 10 y 20 metros cúbicos de capacidad, con equipo opcional para carga de contenedores. Sus principales ventajas son la altura de carga es baja, los operarios no tienen acceso a la basura para "pepenarla" una vez que el mecanismo compactador de carga se ha hecho funcionar y, puede atender contenedores pequeños en su ruta de recolección.

Figura 4. Vehículo compactador de carga trasera.



Fuente: (ASECA, 2014)

- Vehículos sin Mecanismo de Compactación, de Carga Lateral o Trasera: La utilización de este tipo de vehículos cada día se hace más frecuente, debido a los altos costos de inversión y mantenimiento del equipo especializado. Su capacidad normalmente varía de 8 a 16 m³. La carga de basura se hace en la mayoría de los casos en forma lateral, aunque para ciertas cajas es mejor hacerlo por la parte trasera.

- **Figura 5. Vehículo sin mecanismo de compactación de carga lateral.**



Fuente: (ROSROCA, 2014)

- Vehículos Tipo Volteo: Estos vehículos con mecanismos de descarga tipo volteo, pueden llegar a contar con puertas laterales para facilitar la carga dentro de la carrocería del vehículo así como son extensiones para alimentar su capacidad volumétrica y aprovechar la gran capacidad de soporte de carga del chasis. Las principales ventajas son: su bajo costo comparado con un camión más tecnificado y, la descarga por volteo es mucho más rápida que cuando se tienen cajas fijas. Sus desventajas son las siguientes: la altura de carga es muy elevada, el acomodo de la basura dentro de la caja es manual, se requiere de un empleado adicional en la cuadrilla de trabajo. Asimismo al adicionarle a la caja volumen hacia arriba, se corre el riesgo de elevar el centro de gravedad por encima de las especificaciones de diseño de los vehículos.

Figura 6. Vehículo tipo volteo.



Fuente: (ROSROCA, 2014)

- Otros Vehículos y Sistemas. Estos equipos de recolección, incluyen los no convencionales, como serían los vehículos de arrastre manual o de animales, la recolección por medio de animales o vehículos motorizados pequeños. Este tipo de vehículos es utilizados en localidades de características determinadas como las condiciones del terreno, la topografía y la geometría de las calles las cuales no permiten el acceso a los vehículos convencionales o en zonas habitacionales, de difícil acceso como condominios o unidades habitacionales con zonas angostas. De igual manera en zonas pequeñas, en donde la cantidad de basura recolectada no requiere la utilización de equipos grandes, o en el caso de que los presupuestos asignados al servicio de limpia no sean suficientes, se utilizan para la recolección este tipo de equipos.

Figura 7. Vehículo no convencional.



Fuente: (Ciudadanos en Red, 2014)

2.3. Descripción del proceso en la recolección de basura

El proceso de recolección de residuos sólidos surge desde que el ser humano comienza a satisfacer las necesidades básicas de sobrevivencia, que por lo general incluye un satisfactor material, por lo que se inicia la producción de residuos sólidos (por ejemplo: en el hogar, figura 8) , al generarlos se debe contar con un lugar de almacenamiento para evitar contaminar el ambiente, además de un sistema de recolección de los mismos para que un servicio de transporte sea el encargado de llevar estos desechos a los lugares destinados para ellos y se les realice un tratamiento en caso de que estos sean aptos para el reciclaje o finalizar en un sitio de disposición final.

Figura 8. Proceso de recolección basura.



Fuente: (SOBSE, Secretaría de obras y servicios, 2013. Separación de Residuos sólidos D.F.)

Dentro de las leyes mexicanas, el artículo 3, sección XXVI, de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal define la recolección de basura como “la acción de recibir los residuos sólidos de sus generadores y trasladarlos a las instalaciones para su transferencia, tratamiento o disposición final”(Cámara de diputados LXII legislatura, 2014); en esta definición se incluye el concepto de recolección selectiva o separada (acción de recolectar los residuos sólidos de manera separada en orgánicos, inorgánicos y de manejo especial [sección XXVII])

El proceso de recolección de basura consiste en el traslado de ésta, a las plantas de tratamiento para su disposición final. Cabe mencionar que la mayoría de la gente no tiene la cultura de separar sus desechos sólidos, aunque ya existan los contenedores para realizar cierta actividad, es necesario establecer nuevos modelos para la recolección. Por lo general, existen dos tipos de recolección la no selectiva y la selectiva.

En la primera, los residuos se depositan mezclados en los contenedores, sin ningún tipo de separación, ésta es la más habitual. La recolección selectiva se realiza separando la basura según su clase y depositándola en los contenedores correspondientes. Existen normalmente los contenedores para el papel, vidrio, envases y la materia orgánica. Para que este sistema funcione se necesita una colaboración ciudadana.

La recolección de basura se realiza por medio de vehículos y camiones dotados de una tolva en la que se compactan los residuos y otros en los se deposita la basura sin compactar.

Ambos se utilizan de acuerdo al tipo de residuos. La compactación puede ser adecuada para los residuos orgánicos o los envases, no para el vidrio. Existe una extensa variedad de vehículos para las diversas especificidades geográficas de cada comunidad.

Aunado a lo anterior, es preciso señalar, que el proceso de recolección es la parte fundamental de un sistema de limpia y tiene como objetivo primordial preservar la salud pública, mediante la recolección de los residuos sólidos en los centros de generación y transportarlos al sitio de tratamiento o disposición final, en forma eficiente y a menor costo, ya que esta etapa emplea un número considerado de recursos económicos.

2.3.1. Métodos de Recolección

De acuerdo con (Hernández ,2009) los métodos de recolección de basura pueden clasificarse en métodos mecanizados, semimecanizados y métodos manuales, tomando en cuenta la especialización de los vehículos recolectores empleados en la prestación de este servicio.

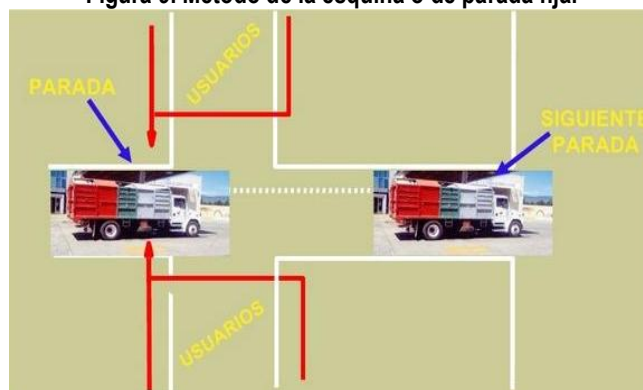
Los *métodos manuales*, los cuales se realizan con ayuda de equipos no convencionales son utilizados en zonas de difícil acceso y localidades especialmente rurales; mientras que los métodos mecanizados y semimecanizados se emplean en localidades urbanizadas.

Cabe señalar que el método con el cual se lleva a cabo la recolección, es la parte más importante del sistema mismo, ya que de acuerdo al nivel de organización de los métodos de recolección de un determinado sistema, será mayor la calidad del servicio que se brinde a los usuarios.

Método de la esquina o de parada fija: en este método, los usuarios del sistema llevan su basura hasta donde el vehículo recolector se estaciona para prestar el servicio, por lo que tiene una alta participación de los usuarios, cabe mencionar que este es el método más económico, mejora la figura del servicio y se realiza en menor tiempo. (SEDESOL, 1997).

La forma de operar es informar a los usuarios a través de hacer sonar una campana, una vez que los usuarios identifican el sonido y llegan hasta el vehículo recolector, forman una fila para que el ayudante tome sus residuos sólidos y los deposite en el vehículo.

Figura 9. Método de la esquina o de parada fija.

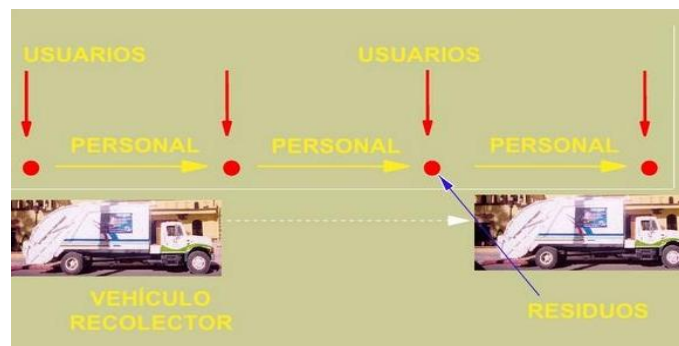


Fuente: (Hernández, A. R. ,2009)

Método de acera: este método consiste en que el personal del servicio de recolección de basura tome las bolsas o botes con basura que se encuentran sobre la acera, previamente colocados por los usuarios del servicio, para que posteriormente sean depositados en el vehículo recolector, y los trabajadores regresen el bote de basura vacío al sitio de la acera de donde los tomaron, esto con el fin de que el usuario sólo los meta a su casa. Este método requiere de mucha eficacia y debe ser implantado ordenadamente, en localidades con calles de doble sentido y con camellones, si es posible.

Cabe mencionar que este método es más costoso que el de esquina, presenta el conflicto de que algunos animales pueden ser atraídos por los botes de basura, pudiendo dispersar la basura por la acera y retrasar la recolección de la misma.

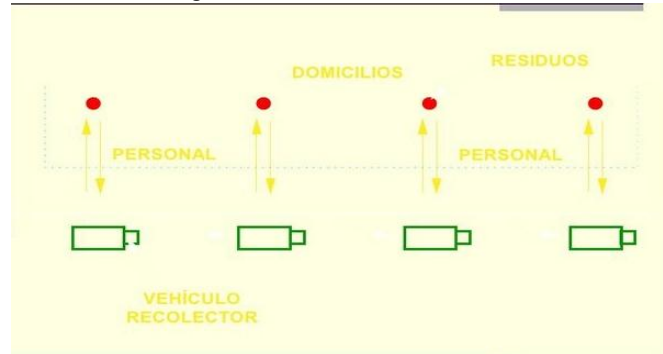
Figura10. Método de acera.



Fuente: Hernández, A. R. (2009)

Método de "Llevar y Traer" o Intradomiciliario: éste es parecido al método de acera, la diferencia radica en que los operadores del vehículo recolector, van hasta las casas habitación por los recipientes de basura, una vez de haberlos depositado dentro del vehículo recolector los colocan en el mismo de donde los tomaron. Evidentemente, este método de recolección es más costoso que el de acera y, aún más que el de la esquina.

Figura10. Método Intradomiciliario.

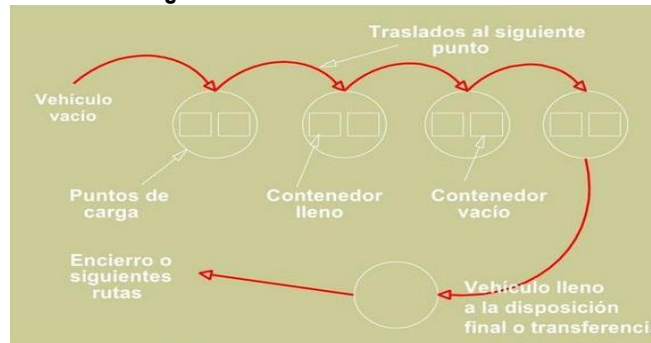


Fuente: Hernández, A. R. (2009)

Método de contenedores: es muy similar al de esquina en cuanto a que el vehículo recolector debe realizar las paradas en ciertos puntos establecidos para llevar a cabo la prestación del servicio.

La localización de los contenedores debe ser de fácil acceso y adecuada a las maniobras que pueda realizar el vehículo recolector. Cabe mencionar que el recorrido se hace en un tiempo mínimo, disminuye las frecuencias de recolección y opera con el mínimo personal (Hernández, A. R., 2009).

Figura 11. Método de contenedores.



Fuente: (Hernández, A. R. ,2009)

2.3.2. Frecuencia de recolección

La etapa de recolección de basura es una de las más costosas dentro del sistema de manejo de residuos sólidos por lo que es la más susceptible de optimizar. Uno de los factores más influyentes sobre el sistema, es la frecuencia de recolección, la cual debe prevenir que el volumen recolectado de basura no sea excedente y que el tiempo transcurrido desde la producción de basura hasta su recolección para su disposición final no sobrepase el ciclo de reproducción de la mosca.

De acuerdo con el Manual para el diseño de rutas de recolección de Residuos Sólidos Municipales (SEDESOL, 1997) a continuación se presentan algunas alternativas en cuanto la frecuencia de recolección de basura:

- **Recolección Diaria:** Los camiones recolectores deben recorrer todas sus rutas a diario, a excepción de los domingos; ya que por lo regular los lunes se recolecta la basura que corresponde a los días sábado y domingo. Razón por la cual se dice que los lunes se recolecta un 100% más de basura, que el resto de los días de la semana. Lógicamente, esta frecuencia es la más atractiva para los usuarios pero es la que mayores costos representa.
- **Recolección Cada Tercer Día:** Ésta se presenta cuando el camión recolector pasa un día sí y otro no, excepto los Domingos, por lo que pasa tres veces por semana. Las ventajas de este sistema se presentan cuando los camiones recolectores se llenan en un tiempo más corto por lo que la distancia recorrida es menor a comparación de la recolección con frecuencia diaria, es decir, en el sistema de frecuencia diaria el vehículo recolector recorre cierta distancia cargando y recogiendo los desechos de un solo día; mientras en la recolección de cada tercer día, el mismo camión recorrería la mitad de esa distancia al llenarse más rápido, recolectando la basura de dos días. Por lo que los costos por mantenimiento a mediano y largo plazo serían menores, asimismo por tonelada de basura transportada. El recolectar tres veces por semana implica que en lugar de que los lunes se recolecte 100% más que el resto de días de la semana, esa diferencial sería de 50% más los lunes y 50% más los martes. Cabe mencionar que existe un inconveniente en este sistema el cual radica en la generación de malos olores por el cumulo de basura.
- **Recolección Dos Veces por Semana:** El camión establece un horario de servicio en el que se eligen dos días a la semana cada dos y/o tres días. Ventajas: los camiones recolectores se llenarían cada vez más rápido y en un recorrido cada vez menor por lo que se reducirían los

costos por mantenimiento y por tonelada de basura transportada. Sin embargo, así como se incrementan esas ventajas, la disminución de la frecuencia agudiza también las desventajas ya que se propicia el incremento de tiraderos clandestinos y el cúmulo de malos olores y plagas de animales.

2.3.3. Separación, procesamiento y transformación

En el Distrito Federal existen tres plantas de selección de residuos urbanos mezclados. Éstas se ubican en Bordo Poniente, San Juan de Aragón y Santa Catarina. Dichas plantas cuentan con una capacidad conjunta de 6,500 toneladas de basura por día, en donde San Juan de Aragón tiene de una capacidad de recepción de 2,500 toneladas de basura al día, Bordo Poniente 1,900 toneladas de basura por día y Santa Catarina 2,100 toneladas de basura por día. (SOBSE, 2013).

La organización y operación de las plantas se realiza de manera coordinada entre la Dirección General de Servicios Urbanos, la Secretaría de Obras y Servicios y los pepenadores. En el caso de los pepenadores existen tres organizaciones, una de estas se ubica en San Juan de Aragón y es la Asociación de Selectores de Desechos Sólidos de la Metrópoli A.C., para Bordo Poniente es el Frente Único de Pepenadores A.C., y en Santa Catarina se encuentra la Unión de Pepenadores del D.F. Rafael Gutiérrez Moreno A.C. Cabe mencionar que estas organizaciones, que aparentemente operan como cooperativas, no son tales, ya que los pepenadores no son socios y los beneficios no se distribuyen como en una cooperativa. Se trata de una empresa privada informal que prácticamente es propiedad del líder, no paga impuestos y tampoco contribuye para el pago de beneficios sociales de su personal. (Florisbela Dos Santos & Wehenpo, 2014)

La Ley General para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), establece en su artículo 5 sección XXVI que el reciclado es *“la transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos”*. Motivo por el cual en estas instalaciones se recuperan más de 20 materiales reciclables que son vendidos en la Ciudad de México y sus alrededores por los pepenadores; el material no recuperado o rechazado, se transporta al Sitio de Disposición Final Bordo Poniente.

Los principales materiales recuperados son:

- Papeles: periódicos, revistas, hojas, cajas, carpetas, folletos, envases de cartón, guías telefónicas, etc.
- Vidrios: envases de alimentos y bebidas.
- Textiles: algodón, lino, nylon, etc.
- Metales: latas y envases, aluminios, metales ferrosos, entre otros.
- Plásticos: envases de comida y bebida, vasos y cubiertos desechables, macetas, sillas, mesas, etc. (SOBSE, 2013).

La planta de composta se encuentra ubicada en el sitio Bordo Poniente IV Etapa; actualmente recibe residuos orgánicos de los programas manejados por la Dirección General de Servicios Urbanos, de la Secretaría de Obras y Servicios, Comisión Federal de Electricidad y Luz y Fuerza del Centro, y una parte de estos residuos proviene del área de flores y hortalizas de la Central de Abasto. Soporta una capacidad de 200 toneladas por día y el producto obtenido se utiliza para mejorar los suelos de camellones y áreas verdes de la red vial primaria. (SOBSE, 2013).

2.3.4. Transferencia y transporte

En esta etapa tenemos que dentro del Distrito Federal se tienen trece estaciones de transferencia, las cuales son estaciones intermedias entre las fuentes generadoras y las plantas de selección. Su finalidad radica en aumentar la eficiencia del servicio de recolección y éste se logra a través de la disminución de los tiempos de descarga de los residuos. Lo que se hace es enviar los residuos a los centros de transferencia más cercana, una vez que ya se han recolectado, posteriormente se envían a los centros de selección, pero en vehículos con mayor capacidad, con un volumen equivalente a cuatro o cinco camiones recolectores. Con esto se permite que los vehículos que se utilizan exclusivamente para la recolección regresen nuevamente a su jornada de trabajo.

El Gobierno del Distrito Federal adoptó la tecnología de estaciones de transferencia cerradas², con la finalidad de controlar los efectos ambientales adversos, tales como ruido, polvo, fauna nociva, microorganismos y malos olores; así como reducir el impacto y deterioro del entorno urbano a la estación de transferencia.

2.3.5. Disposición final

En los sitios de disposición final, los residuos sólidos son confinados en forma segura y controlada, en espacios que al saturarse son reforestados y se convierten en áreas verdes destinadas a la recreación como deportivos, zonas de juegos o parques.

La Dirección General de Servicios Urbanos es la responsable de la disposición final de los residuos sólidos, generados en el Distrito Federal se tiene como único sitio para esta etapa el Relleno Sanitario Bordo Poniente IV, el cual se ubica en el antiguo lago de Texcoco, en terrenos pertenecientes a la Comisión Nacional del Agua. En este sitio se cuenta con una planta de tratamiento para lixiviados.

3. Marco teórico para la recolección de residuos sólidos

La Investigación de Operaciones (IO) es una rama de las matemáticas que emplea modelos matemáticos y algoritmos con el propósito de respaldar el proceso de toma de decisión, sus mayores aplicaciones se observan dentro de las redes de transporte, eléctricas y de comunicaciones, así como en la optimización de procesos, economía y finanzas. La IO permite de manera sistemática obtener soluciones más eficientes, ya que se obtienen grandes beneficios como la reducción de tiempos y/o distancias, u obtener menores costos, que los que se conseguirían si las decisiones se toman por intuición o basados simplemente en consideraciones particulares sin previo análisis.

² Estaciones de transferencia cerradas: En estas estaciones de transferencia la descarga de residuos de los vehículos de recolección se realiza a una fosa de almacenamiento o sobre una plataforma donde posteriormente los residuos son cargados en los vehículos de transferencia con equipos auxiliares. (INECC, 2014).

De manera resumida, la investigación de operaciones, se basa principalmente en la aplicación de algoritmos que permiten llegar a una solución óptima, o muy cercana al óptimo en poco tiempo, y su metodología consiste en:

- Definición del problema de datos relevantes
- Formulación de un modelo matemático que describa el problema
- Obtención de soluciones a partir del modelo, es decir, uso de algoritmos de optimización definidos para encontrar soluciones factibles al modelo.

3.1. Programación lineal y Métodos de ruteo

Programación lineal.

La programación lineal cuenta con diversas técnicas matemáticas utilizadas para la asignación de los recursos limitados a distintas demandas u operaciones que compiten entre ellos de manera óptima, en otras palabras la programación lineal es un enfoque de solución de problemas elaborado para obtener el resultado óptimo.

Cabe mencionar que, la programación lineal utiliza un modelo matemático para describir y formular el problema, de manera que está constituido por una función objetivo, ésta define la cantidad que se va a maximizar (beneficios) o minimizar (costos), dependiendo de lo que se requiera hallar. Asimismo, se deben establecer las restricciones las cuales limitan o reducen el grado en que puede perseguirse el objetivo y definir las variables las cuales corresponden a las entradas controlables en el problema. Para resolver un problema de programación lineal es recomendable seguir los pasos siguientes:

Entender el problema a fondo

Describir el objetivo

Describir cada restricción

Definir las variables de decisión

Escribir el objetivo en función de las variables de decisión

Escribir las restricciones en función de las variables de decisión

Agregar las restricciones de no negatividad

Métodos de ruteo

Para el diseño de rutas de recolección es conveniente utilizar métodos determinísticos, esto es por la capacidad que tienen al relacionar todos los factores que se presentan durante la etapa de diseño, con estos métodos se obtienen las rutas más optimas, es decir, las que presentan mayores beneficios en cuanto a la reducción de costos y minimización de tiempo al recolectar la mayor cantidad de residuos sólidos posible. El Problema del *Agente Viajero* y Problema del *Cartero Chino* son los dos métodos determinísticos más usados para el diseño de las microrutas. Y aunque son métodos muy sencillos, se debe mencionar que generalmente sólo sirven para resolver problemas pequeños, debido a que son de naturaleza n-duros, lo que quiere decir que no se pueden resolver en un tiempo pequeño.

Problema del Agente Viajero.

El problema del agente viajero consiste en encontrar el recorrido más corto entre “n” ciudades, teniendo en cuenta que cada ciudad puede ser visitada solo una vez antes de llegar de nuevo al punto de partida. Se puede ampliar la definición del problema para su aplicación en la recolección de residuos, pues se puede determinar lo siguiente: un vehículo recolector durante la jornada de trabajo se propone visitar un número de paradas de carga de desechos, con la condición de pasar una sola vez por ellas, recogiendo basura, al mínimo costo.

Matemáticamente el problema del agente viajero se expresa de la siguiente forma:

Dada una red con costos asociados a cada arco, encontrar un circuito (e_1, e_2, \dots, e_n) que visite cada vértice o nodo por lo menos una vez y que minimice la suma de los costos:

$$\sum_{i=1}^n w(e_i)$$

Dónde:

e_i : es el arco i

$w(e_i)$: distancia que existe al utilizarlo

Una red es un conjunto de nodos, arcos y flujos que pasan de un nodo a otro a través de los arcos.

Arco: son líneas que unen ciertos pares de nodos y en este caso representan las vialidades del área a recolectar. (Arco dirigido se simboliza con una flecha marcando la dirección, por el contrario un arco no dirigido es sólo una línea). Generalmente estos arcos tienen un valor asociado a costos, distancias, capacidad de flujo, etc.

Nodos: son aquellos puntos donde los arcos se conectan. Estos representan las paradas o esquinas en donde el vehículo recolector tiene que pasar para que la gente llegue a depositar su basura.

Criterios de diseño.

Determinar el tiempo estándar para cargar basura y calcular el tiempo que el vehículo debe de permanecer estacionado para recolectar basura. Determinar el tiempo para transitar en ruta y calcular el tiempo que el vehículo consume en transitar entre dos paradas fijas, en función de su longitud. El vehículo de recolección debe partir vacío desde su sitio de encierro e iniciar la recolección en las paradas asignadas de tal modo que se recorran todas sin excepción.

El tiempo necesario del vehículo para llegar de un punto "a" a un punto "b" puede no ser el mismo para ir de "b" a "a", dependiendo si la calle es de doble sentido o de un solo sentido de circulación o si la calle tiene pendiente. Definir la ruta óptima en la cual cada parada de recolección sea visitada al menos una sola vez y el tiempo de recorrido sea mínimo.

Algoritmo del vecino más cercano

Sea $G = (V, E, w)$ una red completa con $|G|=n$ el circuito del vecino más cercano sobre G empezando en v_1 es (v_1, v_2, \dots, v_n)

Dónde:

V es el conjunto de nodos

E es el conjunto de arcos

w es la distancia asociado a cada arco

Aplicar los siguientes pasos:(SEDESOL, 1997)

1. $V_1 = V - \{v_1\}$
2. De $k = 2$ hasta $n-1$ hacer

2.1 v_k = vértice más cercano en V_{k-1} a v_{k-1}

esto es: $w(v_{k-1}, v_k) = \min \{w(v_{k-1}, v) : v \in V_{k-1}\}$

2.2 $V_k = V_{k-1} - \{v_k\}$

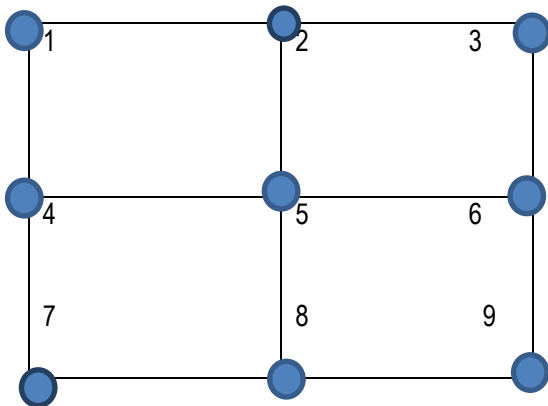
3. v_n = único elemento de V_n

El costo del circuito será:

$$\sum_{k=1}^{n-1} w(v_k, v_{k+1}) + w(v_n, v_1)$$

Analizar como un problema de asignación o de flujo máximo

Suponga la siguiente red:



Fuente: (SEDESOL, 1997)

Si se establece un costo o distancia, el problema se resuelve de la manera siguiente:

Introducir una variable $x_{i,j}$, la cual representara la utilización o no de un arco. Po lo que, si se decide ir del nodo i al nodo j , se le dará un valor de uno si se decide utilizar y un valor de cero si no se utiliza. En el caso de esta red el valor de $x_{i,j}$ será 1

También se asociará a cada arco un costo $w_{i,j}$ que puede representar ya sea el tiempo que se tarda en ir de un nodo al otro, la distancia, o cualquier otro parámetro que se quiera optimizar.

La restricción que se presenta en esta red es la siguiente: estando en cualquier nodo solo se podrá utilizar uno y solamente un arco para ir al siguiente nodo.

Planteamiento del problema:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} X_{1,2} + X_{1,4} &= 1 \\ X_{2,1} + X_{2,3} + X_{2,5} &= 1 \\ X_{3,2} + X_{3,6} &= 1 \\ X_{4,1} + X_{4,5} + X_{4,2} &= 1 \\ X_{5,2} + X_{5,4} + X_{5,6} + X_{5,8} &= 1 \\ X_{6,3} + X_{6,5} + X_{6,9} &= 1 \\ X_{7,4} + X_{7,8} &= 1 \\ X_{8,7} + X_{8,5} + X_{8,9} &= 1 \\ X_{9,6} + X_{9,8} &= 1 \end{aligned}$$

$x_{i,j} = 1$ ó 0 ($i, j = 1, 2, 3, \dots, 9$) es el arco entre los nodos i y j

$w_{i,j}$ = Costo de ir del nodo i al j

Las ecuaciones anteriores representan la restricción de utilizar solamente un arco para ir de un nodo a otro.

Problema del Cartero Chino.

Este problema tiene sus orígenes en Prusia, donde se plantea un escenario de dos ciudades divididas por un río y donde se encuentran dos islas, la conexión de tierra firme se hace mediante siete puentes como se indica en el diagrama

Figura 12. Diagrama de la Ciudad de Königsberg



Fuente: (Méndez, 2014)

El problema es que se desea cruzar por todos los puentes en forma de circuito sin tener que cruzar más de dos veces por el mismo puente.

En este problema es obligatorio que el camión recolector pase por todas las calles a diferencia del agente viajero el cual se utiliza cuando hablamos del método de recolección por esquina y de contenedor estacionario.

Para aplicar el método del cartero chino es necesario determinar lo siguiente:

Comprobar que la red sea par. Una red par es aquella en la que el número de arcos que inciden a todo nodo es par.

Algoritmo

Objetivo: Determinar la ruta de longitud mínima en una red no dirigida donde todos los nodos tienen grado par.

Descripción:

- Sea s el origen de la ruta. Etiquete todos los arcos con “no usados”.
- Sea $t=s$ (t representa el último nodo visitado).
- Sean U y V dos conjuntos vacíos de arcos, que representan la ruta parcialmente completa y la sucesiva mini-ruta respectivamente.
- Encuentre cualquier arco entre t y q (otro nodo) que no ha sido usado. Úselo y agréguelo a U . Haga $t=q$.
- Si t es igual a s , haga el paso 3; de otra manera regrese al paso 1.

- Inserte U en V, en el punto V donde s se toca por primera vez; U se convierte en vacío.

Encuentre un nodo t visitado en V, pero que tiene arcos incidentes no usados. Si no existe este nodo, entonces pare, la ruta está completa; de otra forma, sea $s=t$ y regrese al paso 1. En caso de que se tenga una red no par, entonces se deberá pasar más de una vez por algunos arcos. Lo siguiente será seleccionar los arcos que formen la distancia total mínima recorrida. La longitud de la ruta es la longitud de los arcos que se repiten, más la longitud total (costo fijo) de todos los arcos de la red.

Algoritmo

Objetivo: Determinar la ruta de longitud mínima en una red no dirigida cualesquiera.

Descripción:

- Determine si el orden de cada nodo y de la red (N, A) es par o impar. Sea $S=\{i_1, i_2, \dots, i_{2p}\}$ el conjunto de todos los nodos impares. Si S es vacío, vaya al paso 3.
- Usando la matriz D de longitudes de los arcos calcule la $2P \times 2P$ matriz de distancias más cortas entre los miembros de S, usando una rutina de trayectoria más corta entre los dos nodos.
- Encuentre las parejas de miembros de S que tienen mínima longitud total. Usando este apareamiento, encuentre las trayectorias que corresponden a estas distancias más cortas y agregue los arcos de esta trayectoria A formando el conjunto A^* .
- Encuentre la ruta de Euler en (N, A^*) que es una gráfica no dirigida par.

3.2. Macroruteo

Se llama macroruteo a la asignación de vehículos recolectores hacia diferentes zonas de la ciudad para realizar la recolección de residuos sólidos, éste se puede realizar iniciando de un área de la ciudad, asimismo de la producción de basura en kilogramo por habitante por día y de la frecuencia del servicio, expresado en días por semana. (SEDESOL, 1997)

Por ello, la ciudad es fraccionada en varias zonas específicas con el propósito de facilitar la recolección de basura a los departamentos encargados de brindar éste servicio.

Requerimientos para Diseñar las Macrorutas. (SEDESOL, 1997)

Unos de los problemas que se presentan en el diseño de macrorutas es la determinación del número de vehículos recolectores a emplear de acuerdo a la basura generada, así también la elección del método de recolección y el presupuesto que se designa para esta actividad en el municipio.

La solución a estos problemas se puede obtener modelando mediante algunos métodos matemáticos, los cuales consigan relacionar las capacidades de recolección y la generación de las zonas a recolectar. Algunos de los puntos que se necesitan para el diseño de una macroruta son los siguientes:

- Estudio de generación de residuos sólidos, que determine la generación per cápita domiciliaria, así como la generación que se da en otras fuentes municipales.
- Mapa actualizado y detallado de la ciudad o zona a recolectar
- Localización de las fuentes no domiciliarias de desechos que serán atendidas por el servicio
- Datos de densidad poblacional.
- Determinación del número óptimo de camiones de recolección

Planteamiento del costo horario de los vehículos de recolección por medio de programación lineal.

$$\min Z = \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

Dónde:

c_i = Costo horario del camión tipo i

x_i = número de camiones de tipo i requeridos

n = número total de tipos i de camiones empleados

Sujeto a las siguientes restricciones:

Inventario de basura en el sistema			Basura que queda en la ciudad (domingo)	Basura max. que debe recogerse	Días extra-ordinarios de recolección	Restricción
Frecuencia de Recolección	Basura que queda	Basura que se recoge				
Diariamente	0	S	S	2S	Lunes	$\sum_{i=1}^n w_i x_i N_i \eta_i \geq 2S$
Cada tercer día	S/2	S	3/2 S	3/2 S	Lunes, martes	$\sum_{i=1}^n w_i x_i N_i \eta_i \geq \frac{3S}{2}$
Dos veces/sem	S	S	2S	4/3 S	Lunes, martes y miércoles	$\sum_{i=1}^n w_i x_i N_i \eta_i \geq \frac{4S}{3}$

Fuente: SEDESOL (1997)

Restricción 1.

Dependiendo de la frecuencia de recolección:

Dónde:

$$S = (PG + B)$$

S = Generación diaria de residuos de la ciudad P = Población total servida en habitantes

G = Generación en Kg/hab-día

B = Generación total de otras fuentes en Kg-día.

w_i = Capacidad en kg del camión tipo i

N_i = Número de viajes por día del camión tipo i

η_i = Eficiencia de llenado del camión tipo i SEDESOL

Restricción 2.

$$\sum_{i=1}^n k_i x_i \leq W$$

Dónde:

k_i = Costo diario por mano de obra de operación de cada tipo de camión empleado

W = Costo máximo diario de operación que el municipio presupuesta.

Restricción 3.

$$x_i - y_i = a_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Dónde:

a_i = número actual de camiones de tipo i

Restricción 4.

$$p_i y_i \leq l$$

Dónde:

p_i = Precio de adquisición de un vehículo nuevo de tipo i

y_i = Número de vehículos de recolección nuevos

l = Presupuesto que el municipio puede erogar para adquirir equipo nuevo

Con:

$$x_i \geq 0$$

$$y_i \geq 0$$

Al aplicar este método se obtiene el número de vehículos recolectores.

Características de las áreas a rutear.

La división en “n” áreas de recolección, se requiere considerar los siguientes aspectos:

- Las fronteras naturales como son ferrocarriles, carreteras o calles muy transitadas y los ríos o canales que atraviesan la ciudad.
- Las diferentes densidades de población y tipo de basura de la ciudad

El tiempo y la distancia empleados para un viaje redondo hasta el sitio de disposición final. El diseño de un macroruteo es utilizado específicamente en colonias o barrios enteros, los cuales tienen como propósito el asegurar un recorrido específico del vehículo, el cual cubra la mayor cantidad de viviendas de una manera eficiente en cuanto a la carga de los residuos sólidos.

Es importante señalar que no existe un algoritmo o programa para macrorutear, por lo que el diseñador de las macrorutas, dividirá la ciudad en n áreas -preferentemente iguales-, de tal forma que cada una de éstas produzca aproximadamente la cantidad de basura que llene un camión durante su recorrido.

3.3. Microruteo

Una Microruta recorre específicamente la ruta designada por los organismos encargados de brindar este servicio, la cual debe cumplir diariamente sin ninguna excepción, de manera que se recolecten todos los residuos sólidos producidos por los usuarios de la zona en cuestión.

Existen algunos problemas en cuanto a la distribución de rutas, dado que no es un hecho simple y homogéneo, seleccionar la ruta óptima a seguir entre un origen y un destino, si se consideran algunos factores como el método de recolección, las vialidades existentes, los horarios, entre otros.

Actualmente, se cuenta con muchos métodos y consejos para hallar la ruta más óptima tomando en cuenta los objetivos y restricciones para el problema de interés. Es importante señalar que el diseñador de rutas deberá tomar en consideración lo indicado en diversos métodos y algoritmos utilizados, para facilitar su trabajo y contar con diseños factibles.

Métodos heurísticos.

A continuación se enlistan algunos aspectos que se deben tomar en cuenta para la planeación de rutas de recolección:

- Existencia de políticas y regulaciones relativas a detalles como el punto de recolección y la frecuencia de recolección.

- Características de los vehículos (tamaño del equipo y tipo de camión).
- Las rutas deben ser planeadas para comenzar y terminar cerca de calles arteriales, usando barreras topográficas y físicas como fronteras de las rutas, siempre y cuando sea posible.
- Para las zonas elevadas, es decir, cerros, colinas, etc., las rutas deberán iniciar desde la parte alta y finalizar en la parte baja cercanas a las vías principales, de forma que el vehículo recolector no se encuentre totalmente cargado y evite dificultades al subir.
- Las rutas tienen que ser planeadas de manera que el último contenedor sea el más cercano al sitio de disposición final.
- En zonas donde se presente tráfico congestionado, los desechos deberán ser recolectados lo más temprano que se pueda o en los horarios en donde el tráfico disminuya de modo que afecte en menor medida el recorrido del vehículo.
- Las zonas donde la generación de desechos sea exagerada deberá ser atendida durante la primer parte del día.
- En las localidades donde la generación de desechos es mínima se deberá recorrer en un mismo día y en un solo un viaje.

Para que un servicio de recolección sea eficiente deberá cumplir con los siguientes requisitos:(SEDESOL, 1997)

- Servir de manera frecuente y sanitaria.
- Aprovechar toda la carga de los vehículos recolectores.
- Aprovechar toda la jornada legal del trabajo del personal.
- Evitar recorridos improductivos como por ejemplo no recorrer lugares en donde no haya recolección o pasar doblemente por el mismo sitio.
- Reducción de costos sin afectar el nivel de servicio.
- Contar con vehículos de reserva para la realización del mantenimiento preventivo.

Puntos esenciales para el diseño de rutas de recolección.

- Mapa de localización e información necesaria.
- Análisis de datos.
- Distribución preliminar de rutas.
- Evaluación de las posibles rutas.

Pasos para el diseño de rutas de recolección de acuerdo al tipo de método.

Método de contenedores fijos.

- Mapa de la zona a recolectar, frecuencia de recolección, número de contenedores o casas habitación a las que se les brindará el servicio.
- Tabla con los siguientes datos:
 - ✓ Frecuencia de recolección (veces/semana).
 - ✓ Número de localizaciones de carga.
 - ✓ Número total de contenedores.
 - ✓ Número de viajes (viajes por semana).

Además, determinar el número de puntos que requieren de múltiples cargas durante la semana y establecer las localizaciones que requieren el mayor número de cargas por semana. Asimismo distribuir el número de contenedores con servicio de una vez por semana, para que el número de contenedores vaciados por día este equilibrado por cada día de recolección.

Una vez obtenida la información, diseñar las rutas partiendo desde el lugar de encierro, de tal modo que durante su recorrido cubra en su totalidad los puntos de carga a los que se les proporciona el servicio.

Fijar las rutas posibles y calcular la distancia promedio recorrida entre los contenedores, en caso de que estas sean desproporcionadas, calcular la distancia promedio y rediseñar la ruta utilizando la distancia promedio.

Método de esquina.

- Mapa de la zona a recolectar, frecuencia de recolección, número de contenedores o casas habitación a las que se les brindará el servicio.
- Tabla con los siguientes datos:
 - ✓ Frecuencia de recolección (veces/semana).
 - ✓ Número de localizaciones de carga.
 - ✓ Total de desechos (m^3 /semana).

También se necesita determinar la cantidad de desechos producidos en el área de estudio. Utilizando el volumen efectivo del vehículo de recolección, calcule la cantidad de residuos adicional

que debe ser recolectada cada día de las áreas del servicio. Fraccione la cantidad de desechos recolectados, para que la cantidad recolectada y el número de contenedores vaciados por viaje, este equilibrado por cada ruta de recolección.

Una vez obtenida la información del numeral 2, diseñar las rutas partiendo desde el lugar de encierro, de tal modo que durante su recorrido cubra en su totalidad los puntos de carga a los que se les proporciona el servicio.

Cabe mencionar, que en las áreas grandes las cuales son subdivididas es necesario crear rutas básicas para cada área subdividida.

Fijar las rutas posibles, posteriormente calcular la distancia total recorrida, la cantidad de residuos sólidos que se recolecta y trazar las rutas en un mapa.

Método de acera.

- Mapa de la zona a recolectar, frecuencia de recolección, número de contenedores o casas habitación a las que se les brindara el servicio.
- Determinar la cantidad total de desechos producidos en el área de estudio. Utilizando el volumen efectivo del vehículo de recolección, calcule el número promedio de viviendas a las cuales se les brindara el servicio durante cada viaje que realizara el vehículo recolector.
- Una vez obtenida la información, diseñar las rutas partiendo desde el lugar de encierro, de tal modo que durante su recorrido cubra en su totalidad los puntos de carga a los que se les proporciona el servicio procurando que el último punto de carga sea el más cercano al sitio de disposición final.
- Fijar las rutas posibles y calcular la densidad actual del contenedor junto con la distancia total recorrida.

3.4. Software para ruteo

El diseño de rutas es una de las funciones operativas más analizables en el manejo de los desechos sólidos. El movimiento de este servicio puede representar entre uno y dos tercios del costo logístico total, en este contexto, la selección, adquisición, implementación y evaluación de herramientas informáticas para el diseño de rutas, son actividades relevantes para reducir los costos operativos y aumentar el nivel de servicio del sistema de recolección.

Existen diversos software es para el diseño de rutas como lo son: TORA®, Solver®, TransCad®, WinQSB®, Grafos®, entre otros. Para la resolución de nuestro caso de estudio se utilizó “Grafos”. A continuación una breve explicación de cada uno de ellos.

TORA®

Tora es un software muy sencillo que ayuda solucionar problemas como:

- Solución de ecuaciones lineales simultaneas
- Programación lineal
- Modelos de transporte
- Modelos de redes
- Programación entera
- Modelos de colas
- Teoría de juegos, entre otras.

Éste cuenta con una interfaz muy fácil para el usuario y los datos son procesados por medio de un tabulado. (Martinez, 2014)

Solver®

Excel Solver es una herramienta avanzada dentro del paquete Microsoft específicamente de la hoja de cálculo (Excel). Este se utiliza para resolver problemas de programación lineal, programación entera y programación no lineal, la potencia de procesamiento depende del equipo computación que se utilice, para el análisis de datos donde el problema involucre cada vez más incógnitas se vuelve mucho más difícil y tardado para producir la solución óptima. (Computer Información, 2014)

TransCad®

TransCad es un software en el que se pueden resolver distintos tipos de problemas como:

- Redes de transporte
- Matrices
- Ruteo y sistemas de rutas
- Datos con referencias lineales

TransCad combina en una sola plataforma integrada las propiedades de un SIG y los procesos de modelación del transporte, además de poseer una capacidad de análisis más elevada que los softwares mencionados anteriormente, aunque su plataforma de trabajo sea un poco más difícil de manejar. (Transportation Planning Software, 2014)

WinQSB®

WinQSB es un programa que permite solucionar distintos problemas de optimización. Estos se enlistan a continuación:

- Programación lineal: algoritmo del simplex y programación lineal utilizando procedimiento de ramificación y acotamiento
- Modelos de programación multiobjetivo con restricciones lineales
- Problemas de programación cuadrática
- Problemas del transbordo
- Problemas de transporte y asignación
- Problema de la ruta más corta
- Flujo máximo
- Árbol generador
- Problema del agente viajero

Una de sus características es que se puede manejar la información en forma gráfica o en tabulado de manera que se puede manipular los datos a conveniencia del usuario para facilitar la comprensión de cada situación en específico. (WinQSB, 2014)

Microsoft Streets & Trips 2013®

Microsoft Streets & Trips 2013 es un software el cual está diseñado para ayudar a la creación de rutas, planificación de rutas, optimización de rutas múltiples de parada, la navegación GPS, importación y exportación de datos, e incluye datos como: distancia total de recorrido y tiempo que se lleva en recorrer. (Microsoft Streets & Trips, 2014)

3.4.1. Software Grafos®

Dado que Grafos es la herramienta computacional que más se utilizó para este trabajo, también será al que se le dedique más espacio, para explicar su funcionamiento y no sólo hacer una breve descripción como en los software anteriores.

Grafos es un software que se utiliza para la resolución de problemas reales de transporte a través de un grafo (modelo de una realidad en forma de red).

“Grafos” resuelve los siguientes algoritmos:

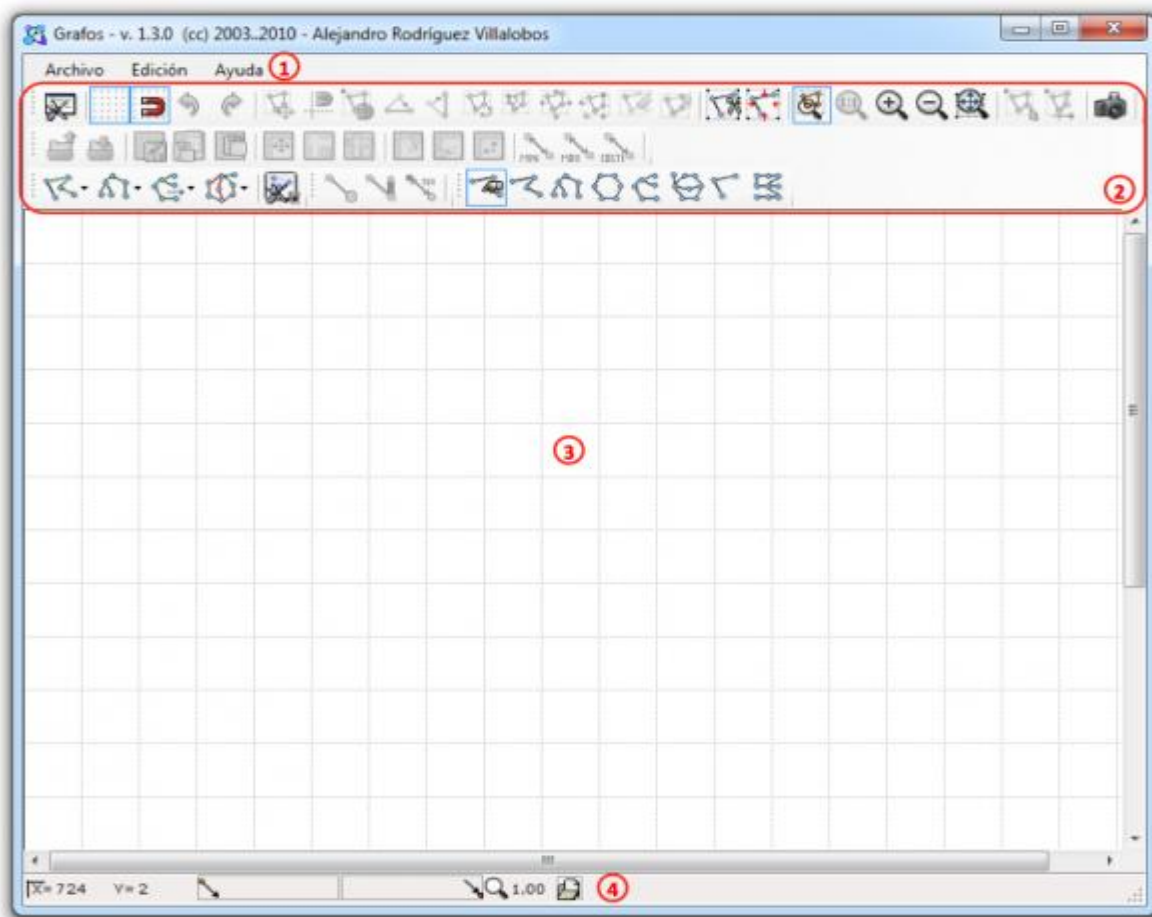
- ❖ Algoritmo de Dijkstra (camino mínimo)
- ❖ Algoritmo de Bellman-Ford (camino mínimo)
- ❖ Algoritmo de Floyd-Warshall (todos los caminos mínimos)
- ❖ Algoritmo de Kruskal (árbol de costo total mínimo)
- ❖ Algoritmo de Prim (árbol de costo total mínimo)
- ❖ Algoritmo de Ford-Fulkerson (flujo máximo)
- ❖ Problema de transbordo/transporte (a costo mínimo)
- ❖ Problema de asignación (a costo mínimo)
- ❖ Problema de localización (a costo mínimo)
- ❖ Circuito euleriano - algoritmo de Hierholzer (próximamente)
- ❖ Problema del viajante de comercio TSP (distancia total mínima)
- ❖ Problema de los m-viajantes de comercio m-TSP (distancia total mínima)
- ❖ Problema de rutas (paso por nodos seleccionados a costo mínimo)
- ❖ Problema de rutas con vehículos capacitados - CVRP (distancia total mínima)

De manera que existen diversas opciones para resolver el o los problemas que se deseen de acuerdo a las necesidades del usuario. En este caso, a través de grafos se digitalizaron las 5 rutas de recolección de basura actuales empleadas en San Luis Tlaxiátemalco, éstas se muestran en el apartado 4.4 y 4.6, en las cuales se indican las esquinas en donde se realiza la recolección de basura representadas por nodos y las vialidades que el vehículo recolector transitase representan por medio de arcos direccionados, así mismo “grafos” y Microsoft Streets & Trips 2013 se utilizaron

para encontrar las rutas más cortas es decir la más óptima, este proceso se realizó para las 5 rutas actuales; también permitió la captura de cada imagen para poder ejemplificar los cambios y analizar los datos arrojados por el software.

Grafos cuenta con una interfaz muy sencilla que se puede utilizar de manera muy fácil. La siguiente figura muestra es aspecto general de la interfaz y sus principales elementos 1) Barra de menús, 2) Barra de herramientas, 3) Tapiz, 4) Barra de estado.

Figura 13 . Aspecto general de la interfaz y sus pincipales elementos.



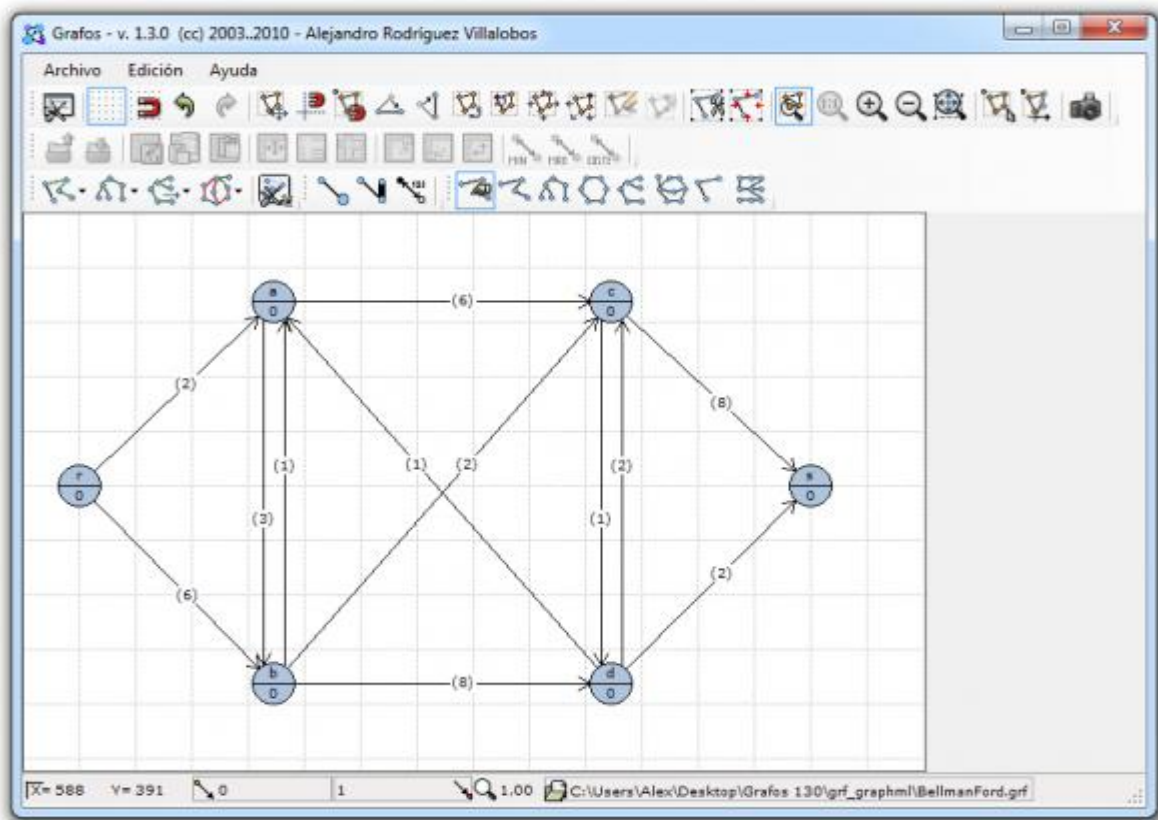
Fuente: (Rodriguez, 2010)

Una de sus principales características se encuentra en el tapiz ya que este se puede cambiar el ancho y alto del tapiz a voluntad (pixeles), también se puede elegir un color sólido personalizado

para el fondo del tapiz o se puede incluir una imagen de mapa de bits como fondo, sobre la cual construir o mostrar el grafo. Por medio del zoom se puede cambiar la escala a la cual se muestra el tapiz y el grafo construido sobre él, siempre y cuando se encuentre en el modo gráfico.

Cabe mencionar que grafos cuenta con dos modos con que se puede trabajar: el modo gráfico y el modo tabular. El modo de edición gráfica, trabaja en un entorno WYSIWYG³. En donde se puede editar o construir un grafo como si estuviera dibujando sobre papel.

Figura 14. Modo de edición gráfica, grafo de una red.

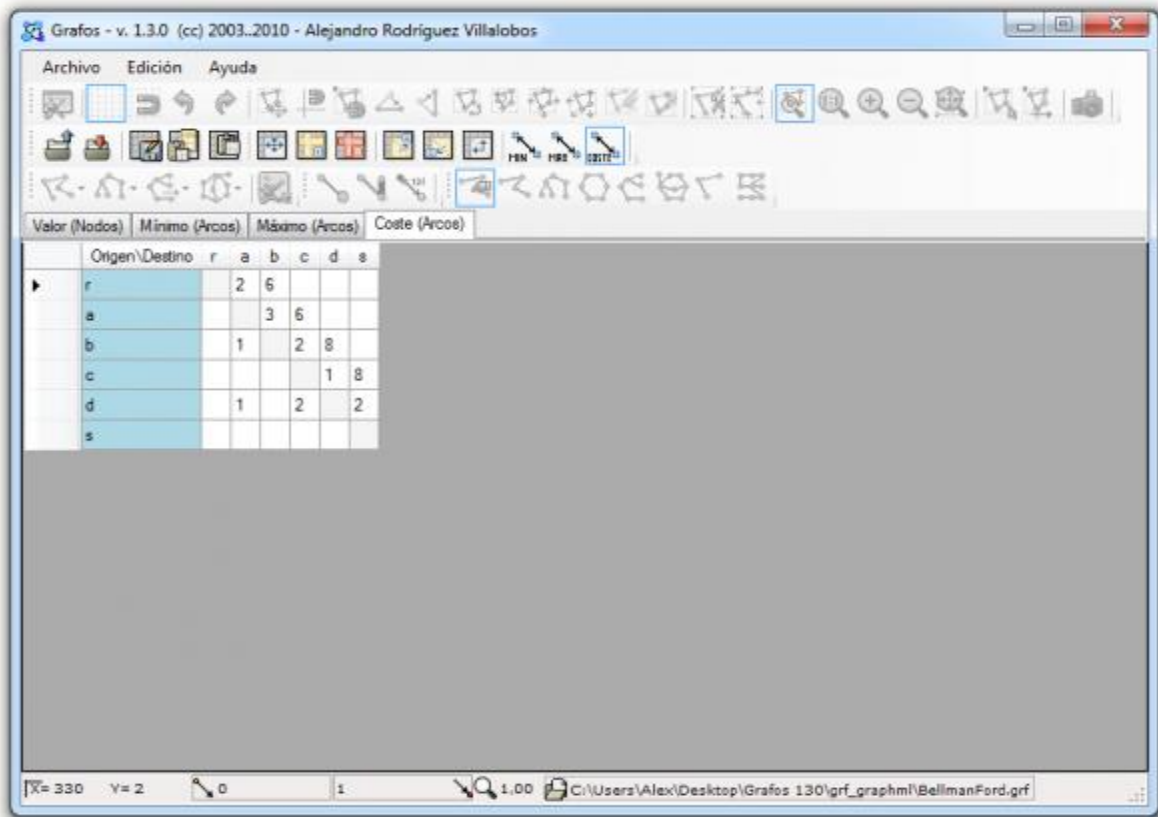


Fuente: (Rodríguez, 2010)

³WYSIWYG es el acrónimo de *What You See Is What You Get* (en español, "lo que ves es lo que obtienes"). Se aplica a los procesadores de texto y otros editores de texto con formato (como los editores de HTML) que permiten escribir un documento viendo directamente el resultado final, frecuentemente el resultado impreso. (Rodríguez, 2010)

El modo de edición tabular en cambio sustituye el entorno de trabajo sobre el tapiz por un entorno en forma de tabla. A diferencia del anterior, aquí se introducen y modifican los datos en las tablas correspondientes a cada matriz (edición matricial).

Figura 15. Modo de edición matricial, matriz de datos de una red.



Fuente: (Rodriguez, 2010)

Hay que subrayar que en realidad Grafos trabaja con 4 matrices de datos. La primera de ellas corresponde a los Nodos y será la encargada de guardar el identificador o nombre de un nodo y un valor numérico asociado. Las otras tres matrices se refieren a los Arcos, y realmente son las responsables de la construcción de grafo propiamente dicho, ya que los arcos son las relaciones entre el conjunto de nodos. Cada arco tiene asociado tres posibles valores numéricos: valor mínimo, valor máximo y costo. Son como tres dimensiones de un mismo arco; es por ello, por lo que existen tres matrices o tablas. Según la tabla que se edite, se estará cambiando o modificando una vista del grafo, aunque las dimensiones del grafo serán las mismas para todas las vistas; es decir, siempre existirán el mismo número de nodos y de arcos, sea cuál sea la vista editada. Si en una vista se

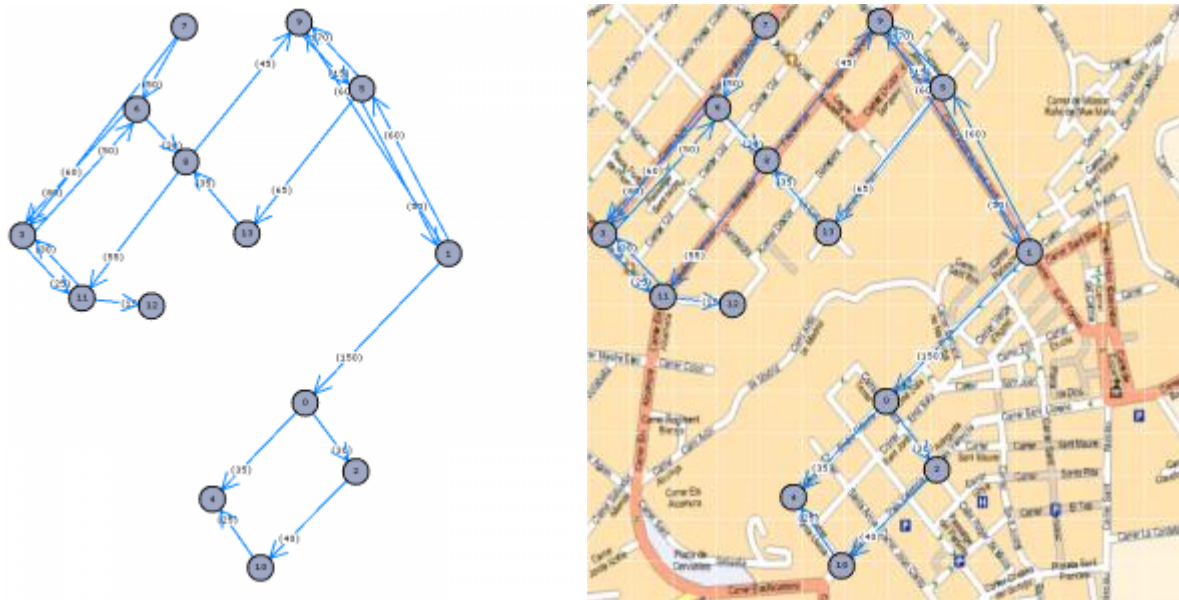
añaden o borran nodos, esto afectará al resto de vistas. Si en una vista se añade un arco, éste aparecerá en el resto aunque con valores cero. (Rodríguez, 2010)

Otra de las diferencias entre ambos modos, es que mientras en el modo gráfico se presta especial atención a la posición de los elementos del grafo y su estilo gráfico, forma, colores, grosor del trazo, localización, etc.; en el modo tabular se favorece la rapidez en la edición de los valores numéricos, dejando de lado la representación gráfica y su estilo. En cualquier caso, las modificaciones de los datos en modo gráfico afectarán a las matrices de datos observadas en modo tabular, y viceversa. (Rodríguez, 2010)

Grafos notifica en caso de no factibilidad o que los datos del grafo sean incoherentes o insuficientes (por ejemplo, nodos no conectados adecuadamente, bucles en su construcción, etc.).

La siguiente figura muestra un ejemplo de un grafo terminado para la resolución y optimización de los Problemas de Rutas o Recorridos.

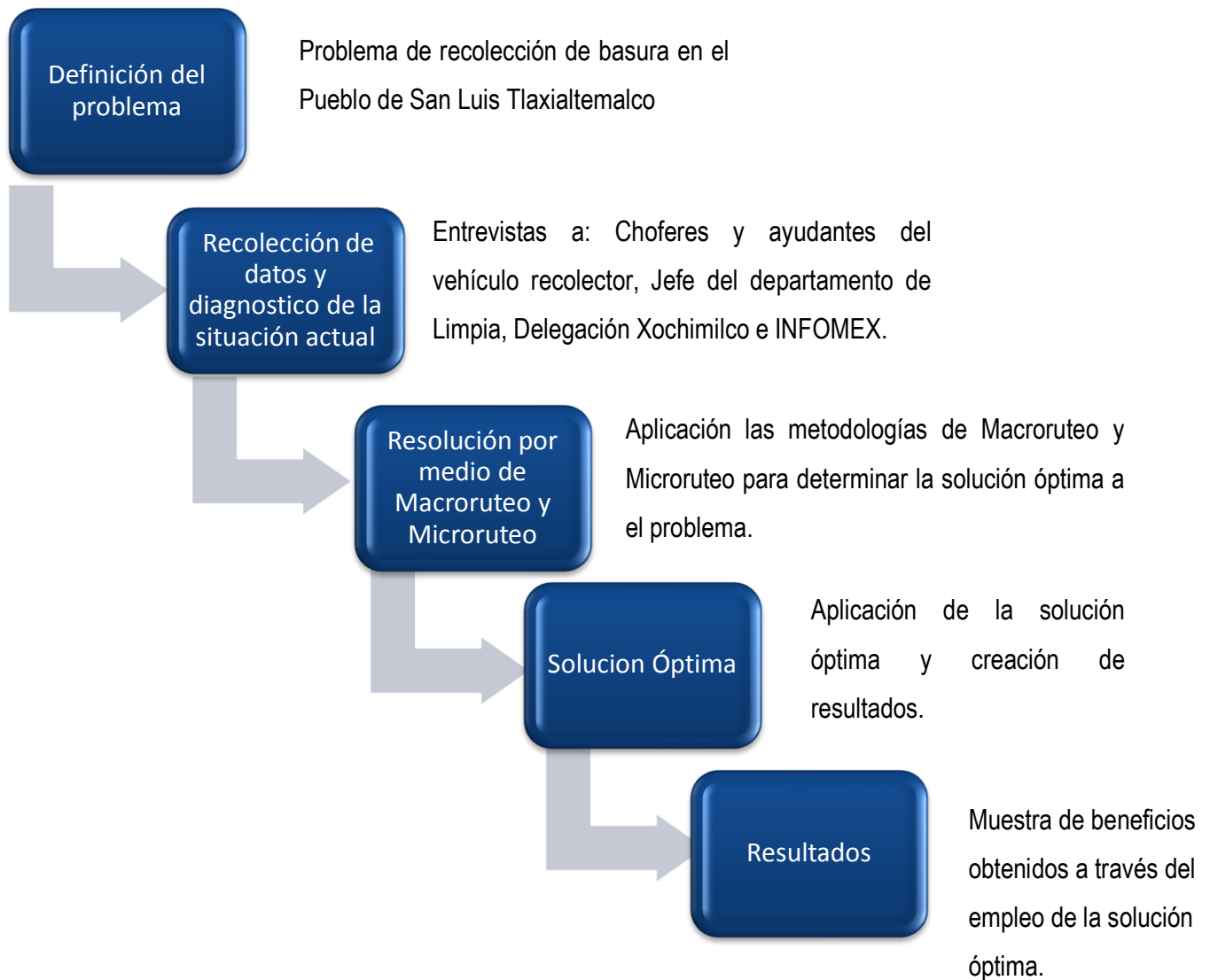
Figura 16 . Ejemplo de un grafo terminado para la resolución y optimización de un problema de rutas o recorridos.



Fuente: (Rodríguez, 2010)

4. Recolección residuos sólidos en el Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco.

Figura 17 . Esquema sistémico de la metodología realizada.



Fuente: Elaboracion propia.

4.1. Descripción del sistema actual.

La delegación Xochimilco cuenta con una flota de 88 vehículos recolectores de basura de los cuales dos son destinados para el pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, el servicio domiciliario de recolección en el pueblo de San Luis Tlaxialtemalco es gratuito, estos vehículos prestan el servicio de recolección de basura acatando las dos rutas asignadas por parte del subdirector de Limpia y transporte, Ruta 15, camino Antiguo Xochimilco-Tulyehualco, en la parte alta y; la ruta 41, Carretera México-Tulyehualco, de Calle Cuacontle a Acuexcomatl.(Fuentes, S., 2014).

En cada camión del Pueblo están asignados un operador que conduce el camión y dos ayudantes que son los encargados de realizar la tarea de recolectar la basura por las calles, además de separar el cartón, el aluminio, y otros materiales que vienen en la basura que se recolecta. Cabe mencionar que sólo el operador es empleado del Gobierno con un sueldo base de 6,000 pesos mensuales, en tanto los ayudantes no son empleados formales de éste por lo que se ayudan con los materiales que se recolectan y las propinas que reciben; el horario de trabajo es de 6:00 am a 2:00 pm, este horario incluye el tiempo para descargar el camión y depositar los desechos en la Estación de Transferencia que se ubica en San Luis Tlaxialtemalco la cual termina sus actividades a las 5:30pm. Adicional los operadores no cumplen con el horario de trabajo establecido (6:00 am a 2:00pm), ya que prefieren continuar trabajando más horas, por lo general terminan hasta las 4:00 pm para poder obtener más dinero generado de las propinas y tener más basura con la que obtienen mayor cantidad de cartón, aluminio, vidrio, y otros desechos que pueden reintegrar a la cadena de valor, viéndose reflejado en sus ingresos (\$1200 a \$1400 quincenal), además del tiempo que consumen en estar formados para entrar a descargar los desechos en la estación de transferencia correspondiente. Existen dos choferes, uno es el titular es decir el encargado del vehículo por lo que trabaja cinco días a la semana (contando con dos días de descanso), el chofer de relevo sólo labora dos días por semana, en cuanto a los ayudantes, son dos por cada camión recolector, ellos descansan una vez por semana, por lo que el vehículo brinda su servicio de lunes a Domingo sin excepción.

Normalmente, a principio de semana (lunes y martes) la cantidad de basura es mayor, por lo tanto, los operadores tardan más tiempo en realizar sus recorridos y cubrir sus rutas. Cuando se trata de

Figura 20: Vehículo recolector de basura con dos compartimientos San Luis Tlaxialtemalco, con número económico 2111, modelo 2008.



Fuente: Propia.

Figura 21: Vehículo recolector de basura con dos compartimientos San Luis Tlaxialtemalco



Fuente: Propia.

Vehículo de un solo compartimiento:

Figura 22: Vehículo recolector de basura de un solo compartimiento San Luis Tlaxialtemalco, con número económico 779, modelo 2001.



Fuente: Propia.

Figura 23: Vehículo recolector de basura de un solo compartimiento San Luis Tlaxialtemalco



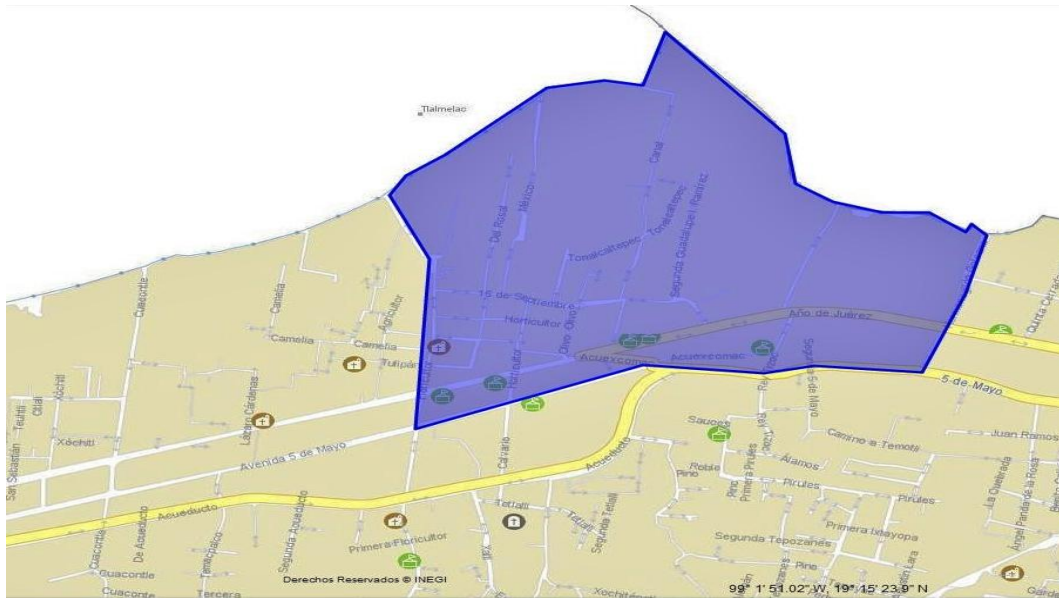
Fuente: Propia.

4.3. Delineación territorial de la zona.

Para la delineación territorial de la zona como ya se mencionó anteriormente el Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco cuenta con dos unidades las cuales brindan el servicio de recolección de basura, el vehículo con número económico 2111 de dos compartimientos recorre la parte alta del pueblo (Camino Antiguo Xochimilco-Tulyehualco) y el vehículo con número económico 779 de un solo compartimiento recorre la parte baja comprendida por Cuacontle hasta Acuexcomatl. Es de gran importancia resaltar que la razón por la cual el pueblo de San Luis Tlaxialtemalco está dividido en dos (parte alta y parte baja) es meramente por políticas establecidas por parte de los organismos encargados de brindar el servicio de recolección en donde las subdivisiones de los pueblos se realiza a través de las avenidas principales para el caso de San Luis Tlaxialtemalco, las avenidas Xochimilco-Tulyehualco y Av. Año de Juárez. A continuación se muestra la distribución de los dos vehículos recolectores asignados a esta zona.

El vehículo 779 realiza su recorrido de la siguiente manera: divide en dos zonas el territorio al cual le corresponde brindar sus servicios, es decir, la recolección de basura, la Zona 1 (Figura 24) es recorrida los días: Lunes y Jueves recolectando exclusivamente basura inorgánica, esto se debe a que el vehículo es de un solo compartimiento y no se permite la mezcla de desechos sólidos; para la Zona 2 (Figura 25) se destinan los días Domingo, Miércoles y Viernes, igualmente sólo basura inorgánica; asimismo los días Martes y Sábados se recorre toda la parte baja (Figura 26) recolectando únicamente la basura orgánica.

Figura 24. Zona 1 está comprendida por el mercado de plantas hasta Floricultura sur.



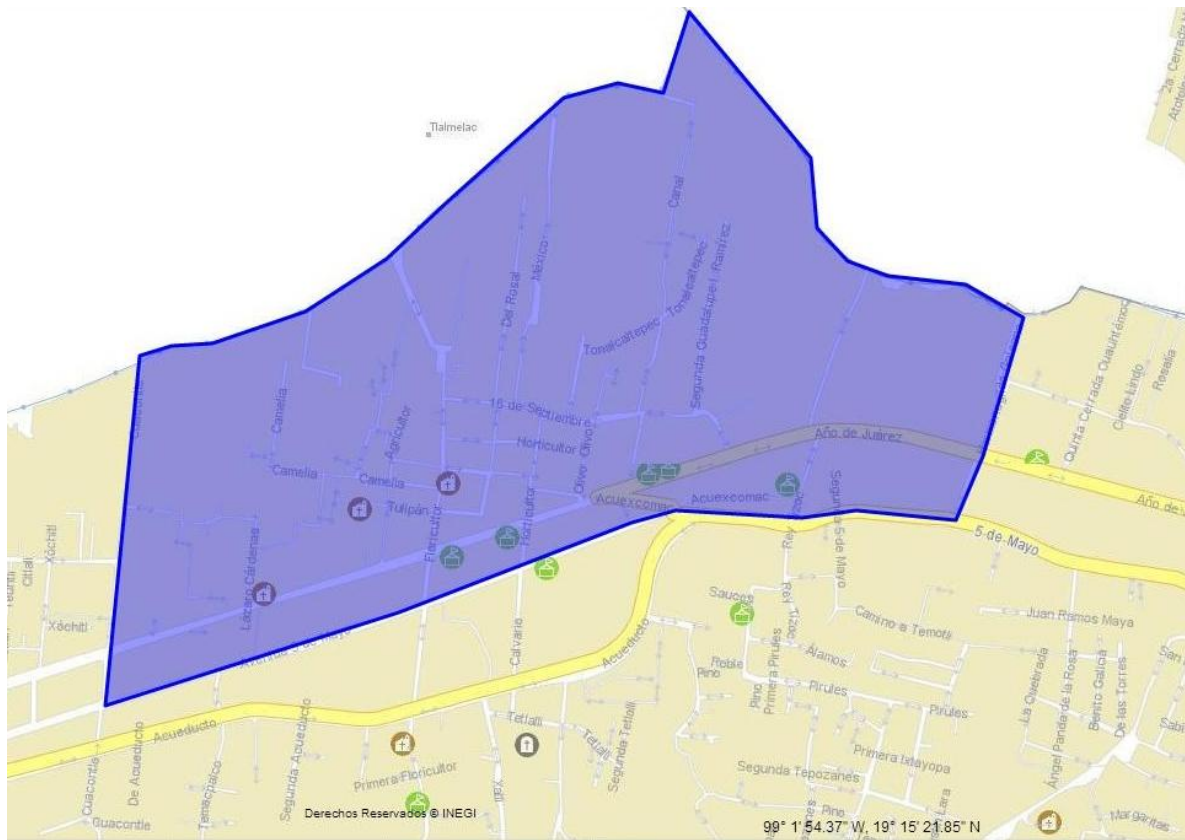
Fuente: Mapa Digital INEGI

Figura 25. Zona 2, está comprendida de Floricultura sur hasta Cuacontle.



Fuente: Mapa Digital INEGI

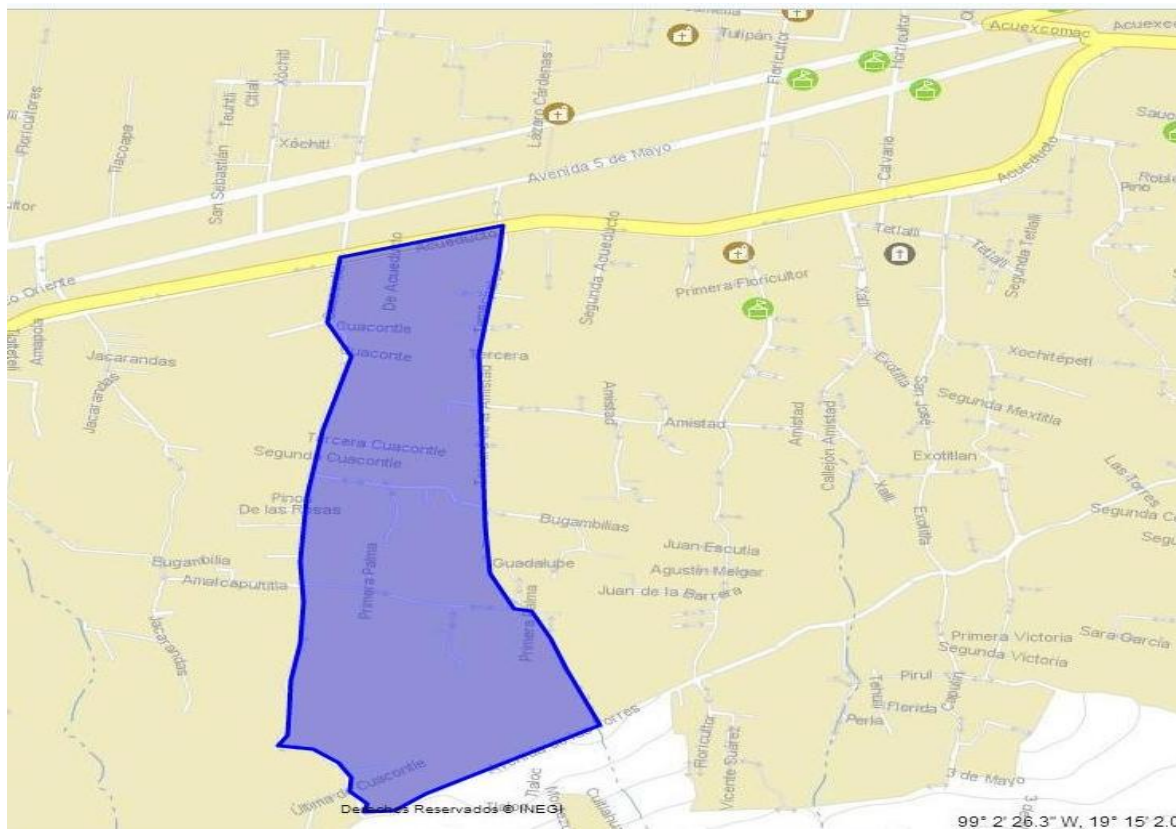
Figura 26. Parte baja de San Luis Tlaxialtemalco abarcada desde Cuacontle hasta Acuexcomatl.



Fuente: Mapa Digital INEGI

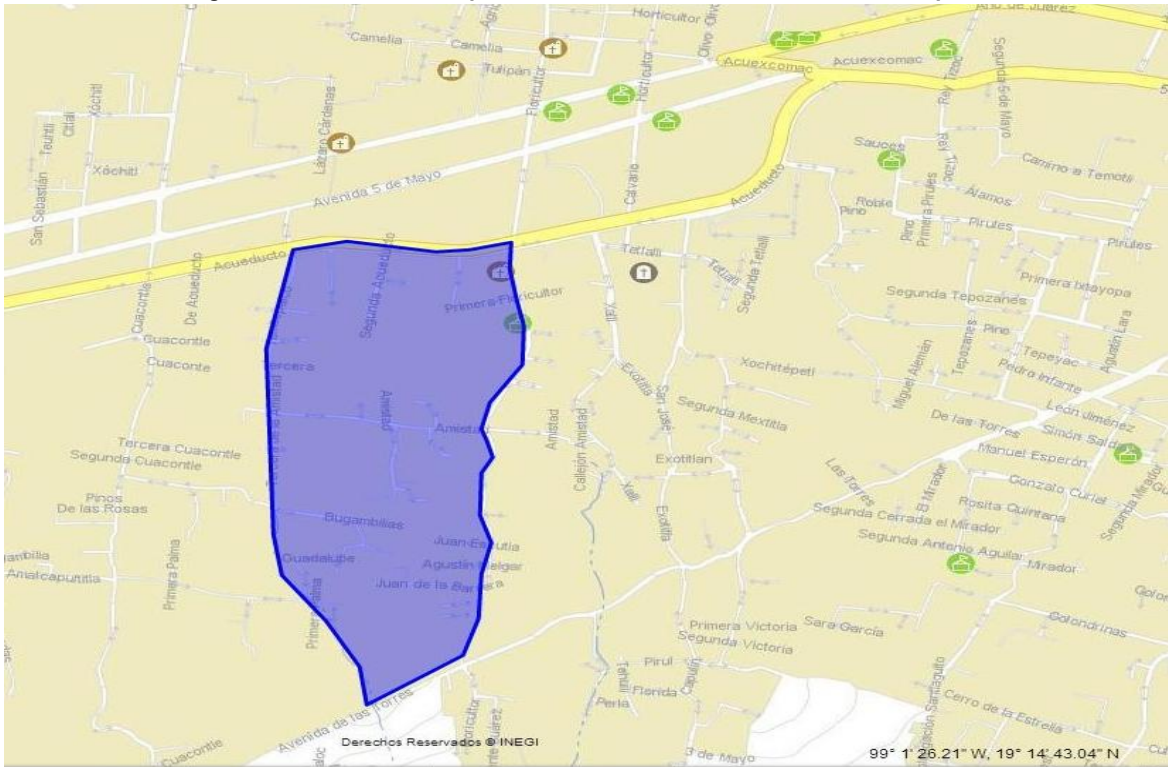
El vehículo 2111 también divide su territorio en dos zonas: la Zona 3 (figura 27) es recorrida los días: Martes, Jueves y Sábados; y para la Zona 4 (figura 28) se destinan los días lunes, miércoles, viernes y Domingo, en el caso del vehículo 2111, debido a su doble compartimiento, realiza la recolección de ambos tipos de basura orgánica e inorgánica todos los días.

Figura 27. Zona 3 está comprendida de Temacpalco hasta Cuacontle.



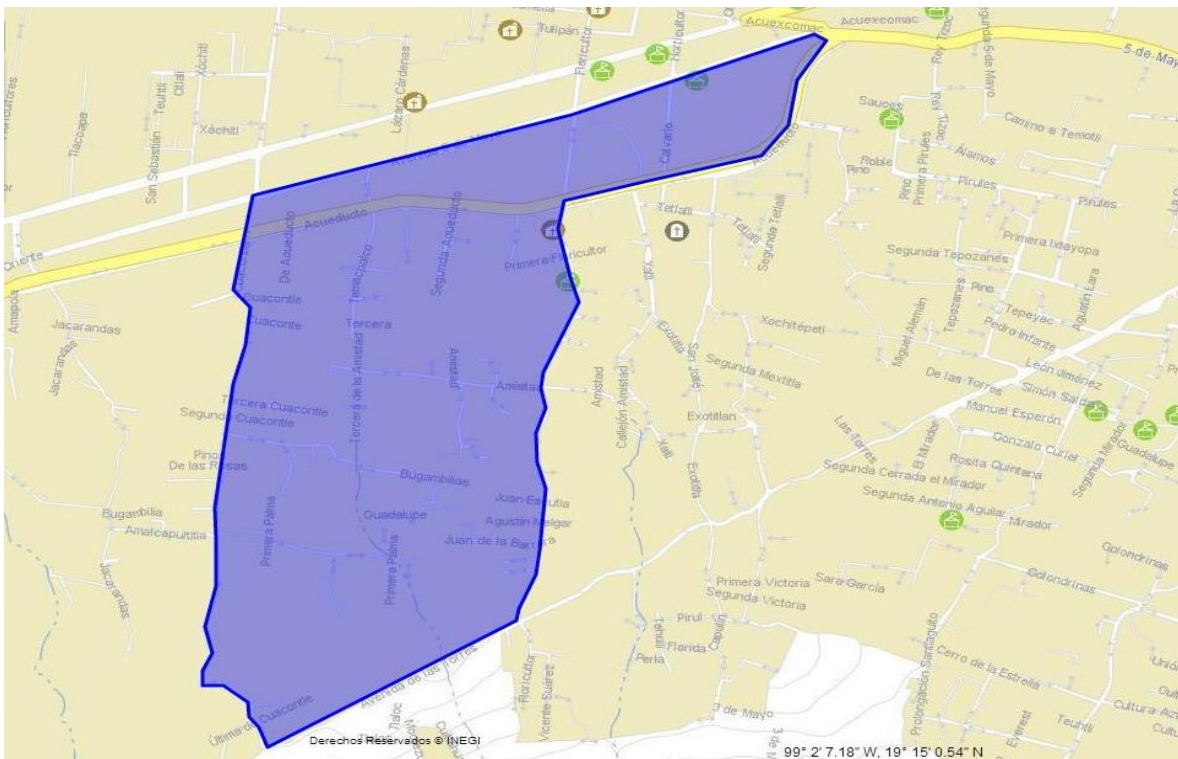
Fuente: Mapa Digital INEGI

Figura 28. Zona 4 está comprendida desde Floricultura sur hasta Temacpalco.



Fuente: Mapa Digital INEGI

Figura 29. Parte Alta de San Luis Tlaxialtemalco abarcada desde Cuacontle hasta Acuexcomatl.



Fuente: Mapa Digital INEGI

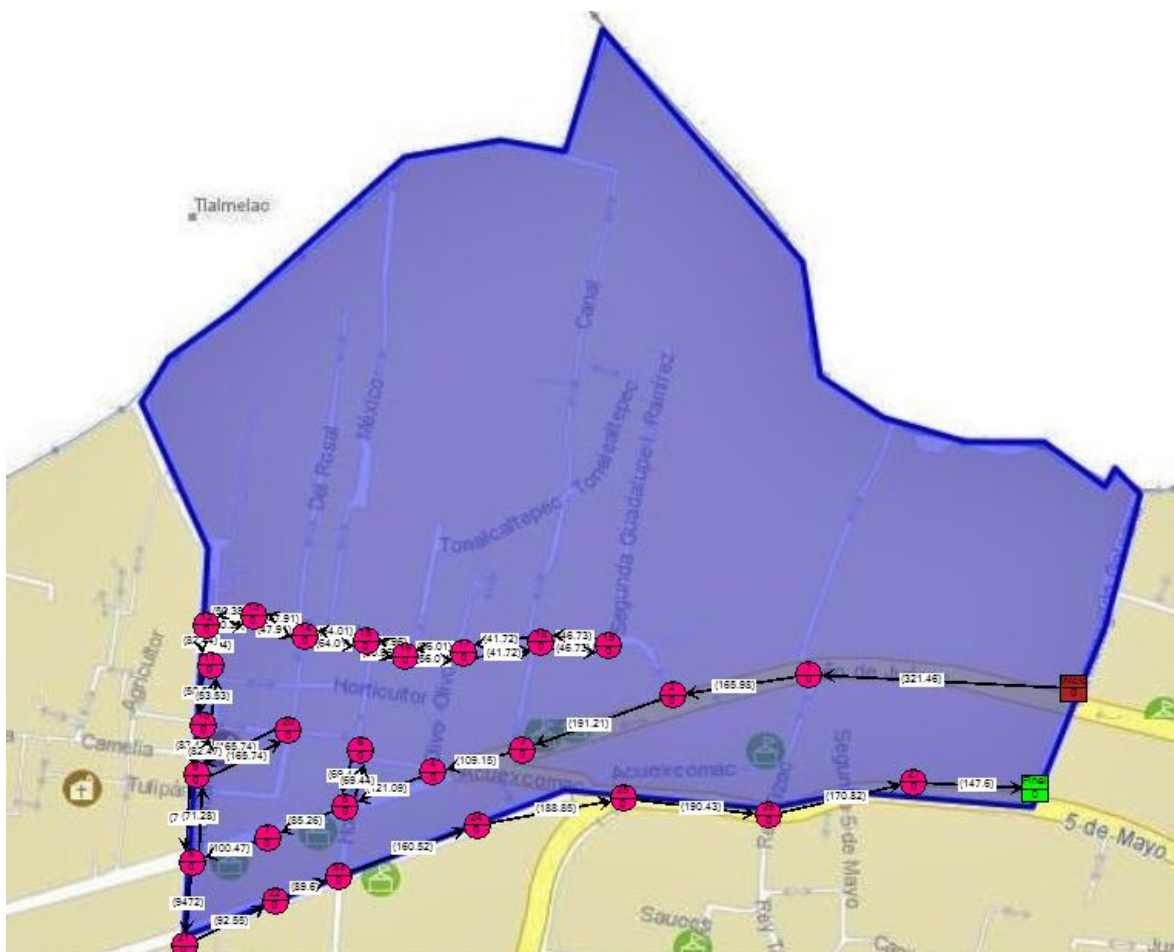
4.4. Rutas actuales aplicadas durante la etapa de recolección de basura en San Luis Tlaxialtemalco

A continuación se muestra las rutas actuales de los vehículos que brindan servicio a la zona de estudio y sus distancias totales. Cabe mencionar que existen calles en las cuales no transitan los vehículos ya que se tratan de callejones, cerradas y/o calles muy angostas por las cuales el vehículo no puede entrar. Asimismo, es necesario mencionar que las rutas presentadas a continuación sólo representan la etapa que corresponde a la recolección de basura, ya que dicho por los propios prestadores del servicio (chofer y ayudantes), no siempre van directamente a la estación de transferencia que les corresponde sino en muchas de las ocasiones asisten a los centros en donde se realiza la compra de materiales como: PET, cartón, aluminio, y otros materiales reciclables, que venden para aumentar sus ingresos, otro tipos de desvíos, son los generados por los alimentos -ir a desayunar o comer- o por motivos personales.

Por último en las siguientes imágenes, se marca la red de estudio, y se muestran los nodos que representan las esquinas o lugares en donde el vehículo se detiene para recibir a los usuarios con su basura y poder recogerla, al mismo tiempo los arcos representan las vías por las cuales transita y su direccionalidad, el número que se encuentra entre los arcos es la distancia que hay de nodo a nodo y está expresada en metros; es preciso señalar que cada nodo tiene un número, el cual representa la secuencia de la ruta.

Rutas de la parte baja de San Luis Tlaxialtemalco.

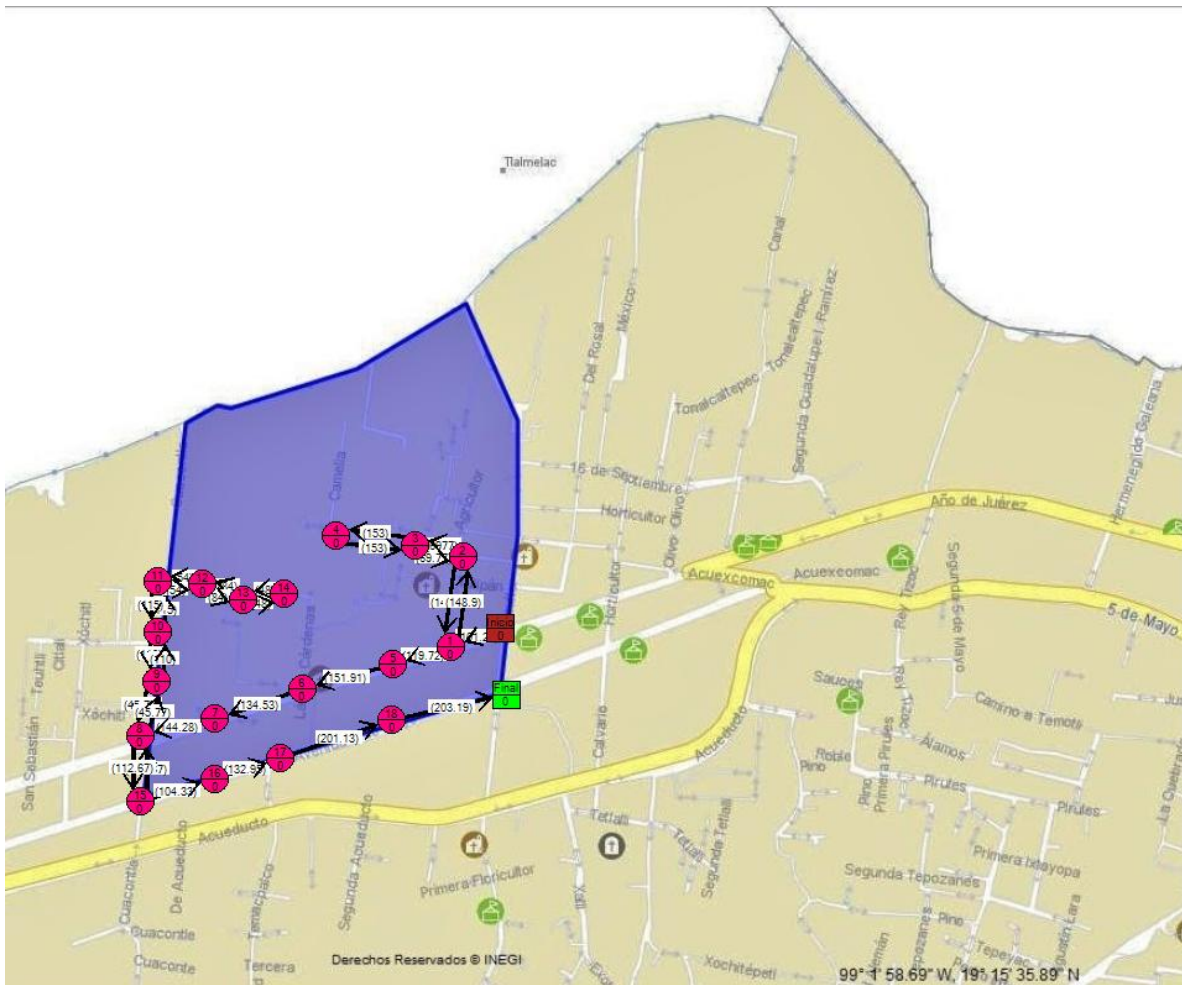
Figura 23. Ruta A. Zona 1, Parte baja del Pueblo San Luis Tlaxialtemalco.



Fuente: Elaboración propia a través del Software "Grafos".

Distancia total recorrida: 4.1 km

Figura 31. Ruta B. Zona 2, Parte baja del Pueblo San Luis Tlaxialtemalco.

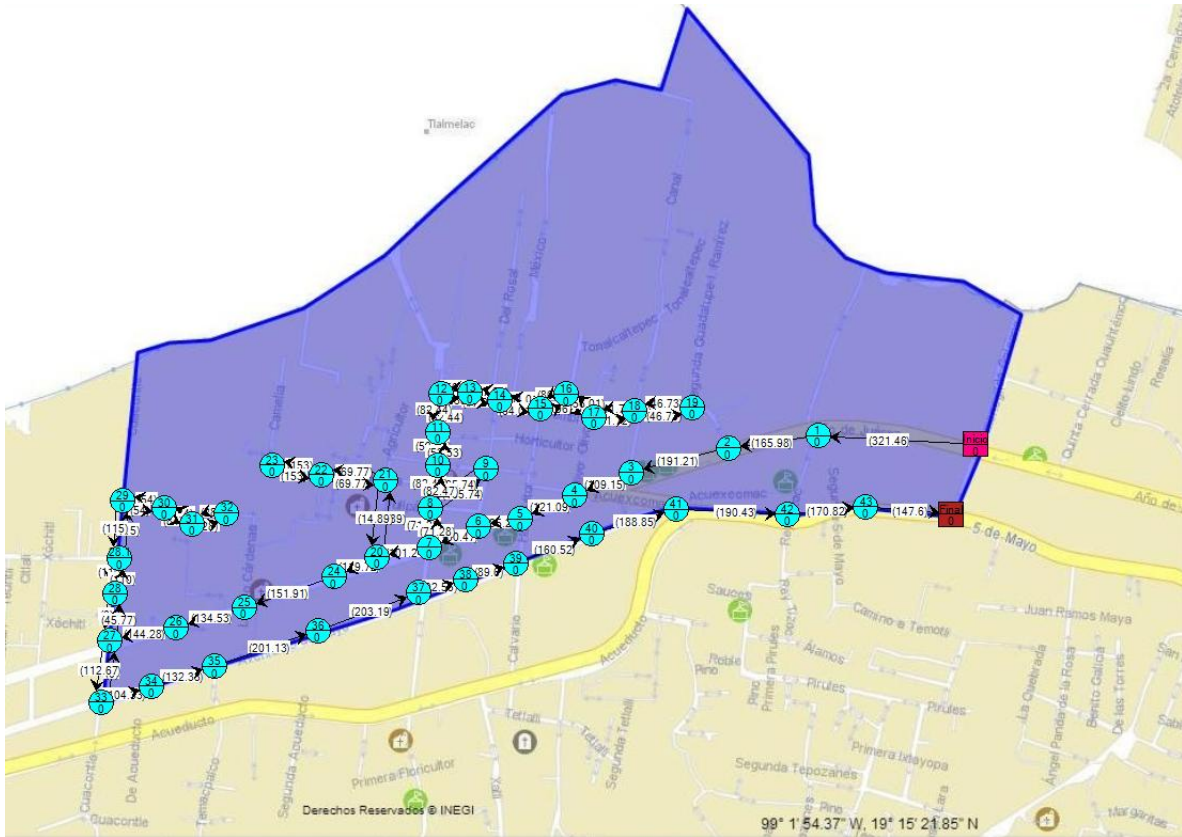


Fuente: Elaboración propia a través del Software "Grafos".

Distancia total recorrida: 3.1 km

Ruta C, distancia total recorrida es de 6.9 km; la ruta c se realiza los días Martes y Sábados.

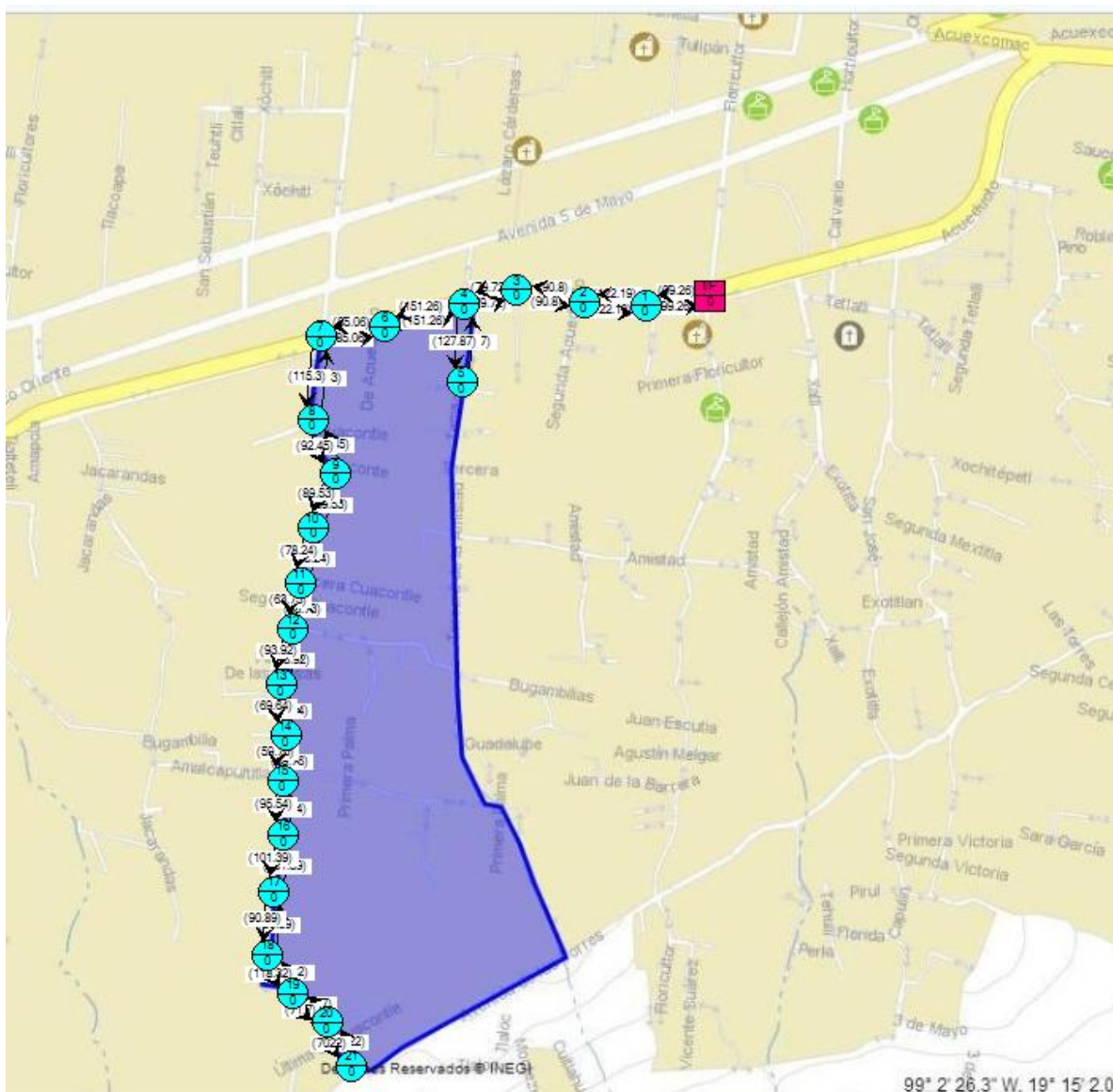
Figura 32. Ruta C. Parte baja completa del Pueblo San Luis Tlaxialtemalco.



Fuente: Elaboración propia a través del Software "Grafos".

Rutas de la parte alta de San Luis Tlaxialtemalco.

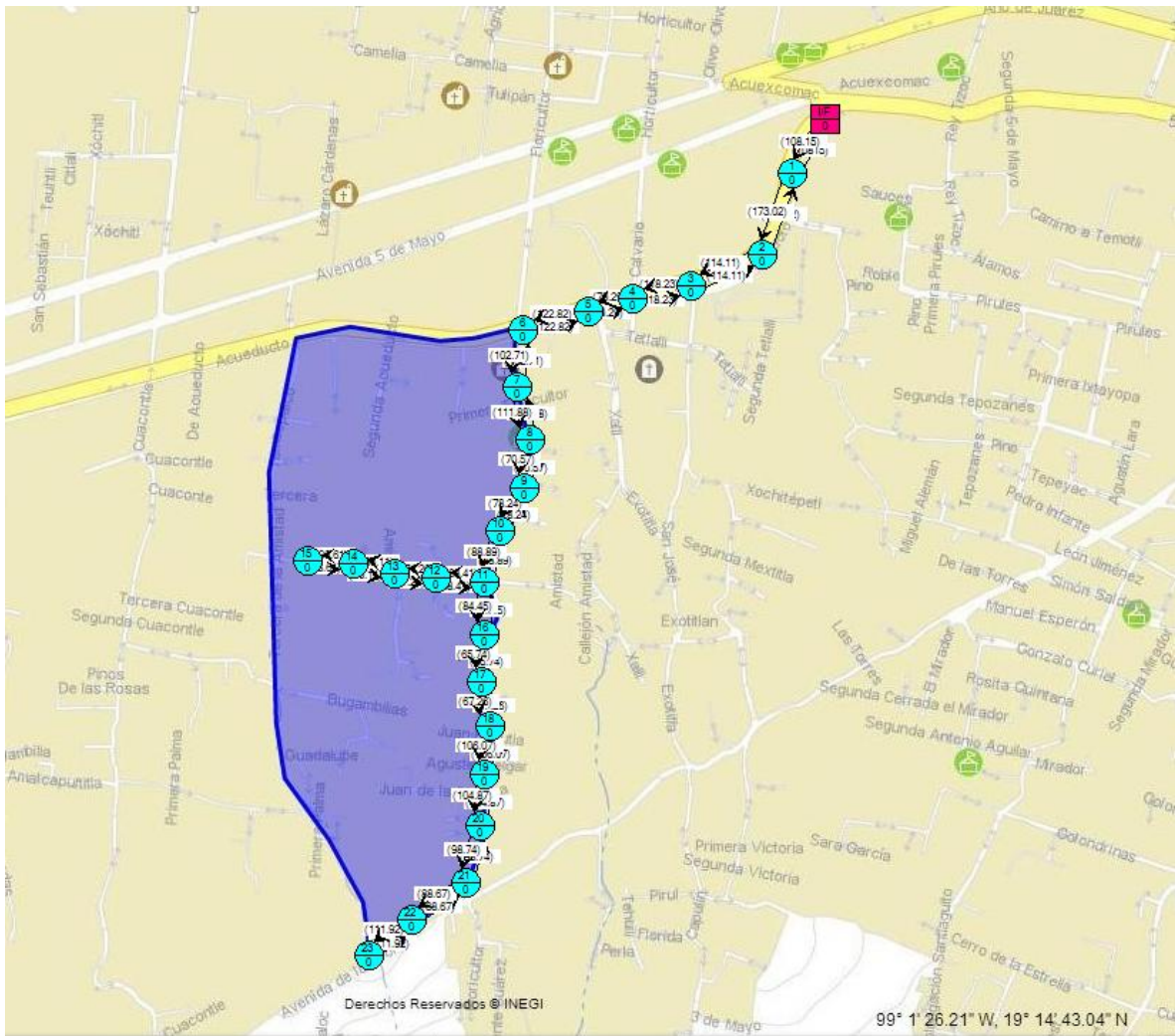
Figura 33. Ruta D. Zona 3, Parte Alta del Pueblo San Luis Tlaxialtemalco.



Fuente: Elaboración propia a través del Software "Grafos".

Distancia total recorrida: 3.9km

Figura 34. Ruta E. Zona 4, Parte Alta del Pueblo San Luis Tlaxialtemalco



Fuente: Elaboración propia a través del Software "Grafos".

Distancia total recorrida: 4.6km

4.5. Macroruteo para la recolección de residuos sólidos para el Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco

El Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco tiene una población de 7,144 habitantes (INEGI, 2010), la producción de residuos por habitante al día es de 1.2kg (González, J. F., 2013), asimismo se estima, que otras fuentes de generación (preparatoria, primaria, Centro Ambiental Acuexcomatl, Centro de salud, etc.), que tienen que ser atendidas por el Servicio de Limpia, generan un total de 2,453 kg/día lo que indica que se tiene que recolectar un total de 11,026 kg de desechos sólidos al día.

Actualmente San Luis Tlaxialtemalco cuenta con dos camiones compactadores para brindar servicio, uno con carga trasera de doble compartimiento modelo 2008 y otro de carga trasera de un sólo compartimiento modelo 2001, con una capacidad de recolección de 7,500kg cada uno. (INFOMEX, 2014).

SEDESOL (2004) estima que el costo horario de los camiones es de \$385.00 para el camión recolector de un solo compartimiento y de \$419.00 para el camión recolector con doble compartimiento⁴, con una eficiencia de 85% cada uno. Adicionalmente se sabe que el presupuesto diario de operación es de \$6,000 (INFOMEX, 2014). Según una cotización proporcionada por Verónica García García del departamento de ventas de SDM Global México empresa líder en el mercado internacional y nacional en la venta, conversión y equipamiento de recolectores de basura, el costo de adquisición de un vehículo de compartimiento doble es de \$364,280.00 y un sólo compartimiento es de \$314,034.00 con IVA incluido. Cada uno de los camiones trabaja 8 horas diarias, tiempo suficiente para realizar dos viajes completos cada uno.

La delegación Xochimilco cuenta con un presupuesto de \$700,000.00 para el servicio de recolección de residuos sólidos para el pueblo de San Luis Tlaxialtemalco para todo el año 2014 (INFOMEX, 2014).

Se quiere conocer cuál es el número óptimo de vehículos y de qué tipo para el servicio en San Luis Tlaxialtemalco, considerando que la frecuencia de recolección es diaria debido a que los dos vehículos laboran los siete días de la semana sin excepción.

⁴ Costo horario calculado con una inflación del 51.54% a partir de Enero de 2004 a Enero de 2014, por medio de la calculadora de inflación del INEGI. www.inegi.org.mx/sistemas/indiceprecios/calculadorainflacion.aspx

En este, el macroruteo se busca la asignación de los camiones a las zonas y se deja un precedente para el caso del reemplazo de los vehículos. De acuerdo al procedimiento de Macroruteo según el Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales del D.F, la Función objetivo se determina de la siguiente manera:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n c_i x_i$$

Dónde:

c_i = Costo horario del camión tipo i (\$385.00, para el camión tipo 1 y \$419.00 para el camión tipo 2).

x_i = número de camiones de tipo i requeridos

n = número total de tipos i de camiones empleados

En este caso y de acuerdo a los datos obtenidos, la función objetivo es la siguiente:

$$\min Z = 385x_1 + 419x_2$$

Para determinar la primera restricción es necesario saber lo siguiente:

Inventario de basura en el sistema			Basura que queda en la ciudad (domingo)	Basura max. que debe recogerse	Días extra-ordinarios de recolección	Restricción
Frecuencia de Recolección	Basura que queda	Basura que se recoge				
Diariamente	0	S	S	2S	Lunes	$\sum_{i=1}^n w_i x_i N_i \eta_i \geq 2S$
Cada tercer día	S/2	S	3/2 S	3/2 S	Lunes, martes	$\sum_{i=1}^n w_i x_i N_i \eta_i \geq \frac{3S}{2}$
Dos veces/sem	S	S	2S	4/3 S	Lunes, martes y miércoles	$\sum_{i=1}^n w_i x_i N_i \eta_i \geq \frac{4S}{3}$

Dependiendo de la frecuencia de recolección:

Dónde:

S = Generación diaria de residuos de la ciudad

$$S = (PG + B)$$

P = Población total servida en habitantes, 7,144 habitantes

G = Generación en Kg/hab-día, 1.2 Kg/hab-día

B = Generación total de otras fuentes en Kg-día. 2,453Kg-día

w_i = Capacidad en kg del camión tipo i , 7,500 kg cada vehículo

N_i = Número de viajes por día del camión tipo i ,

η_i = Eficiencia de llenado del camión tipo i SEDESOL 85%

Restricción 2.

$$\sum_{i=1}^n k_i x_i \leq W$$

Dónde:

k_i = Costo diario por mano de obra de operación de cada tipo de camión empleado

W = Costo máximo diario de operación que el municipio presupuesta.

Restricción 3.

$$x_i - y_i = a_i i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Dónde:

a_i = número actual de camiones de tipo i

Restricción 4.

$$p_i y_i \leq l$$

Dónde:

p_i = Precio de adquisición de un vehículo nuevo de tipo i

y_i = Número de vehículos de recolección nuevos

l = Presupuesto que el municipio puede erogar para adquirir equipo nuevo

Con:

$$x_i \geq 0$$

$$y_i \geq 0$$

Por lo que sustituyendo en cada una de las restricciones los datos que se necesitan para cada una de ellas se obtiene las siguientes condiciones.

Sujeto a:

$$7735 + 7735x_2 \geq 22052$$

$$3,080x_1 + 3352x_2 \leq 6000$$

$$x_1 - y_1 = 1$$

$$x_2 - y_2 = 1$$

$$380,000x_1 + 560,000x_2 \leq 700,000$$

$$x_1, x_2, y_1, y_2 \geq 0$$

Solución obtenida por medio de Solver:

$x_1 = 0$ Vehículos totales necesarios con carga trasera de un solo compartimiento

$x_2 = 2$ Vehículos totales necesarios con carga trasera de doble compartimiento

$y_1 = 0$ Vehículos a comprar con carga trasera de un solo compartimiento

$y_2 = 1$ Vehículos a comprar con carga trasera de un solo compartimiento

Lo que significa que se requieren dos vehículos con carga trasera de doble compartimiento, debido a que sólo hay uno en existencia se requiere comprar uno, no es necesario tener vehículos con carga trasera de un solo compartimiento, ya que el modelo indica que dos vehículos recolectores de doble compartimiento son los óptimos para poder brindar un servicio de recolección eficiente en San Luis Tlaxialtemalco; por lo tanto es preferible prescindir del vehículo de carga trasera de un solo compartimiento que se tiene en existencia, dejando a éste libre para alguna zona perteneciente a la delegación Xochimilco que necesite utilizar una unidad con sus características y puedan utilizarlo de manera que se aprovechen más sus capacidades y ayude a cubrir la demanda de alguna zona que lo requiera o bien ayude a reducir costos operativos o remplazar a una unidad muy vieja que necesite renovar su compartimiento y/o cualquier otra situación. Ahora bien, de acuerdo al modelo de programación lineal el costo horario⁵ de realizar el cambio de vehículo, es decir, contar con dos

⁵Costo horario: este costo se integra con costos fijos, consumos y salarios de operación, calculados por hora efectiva de trabajo. Los cuales son:

-costo horario por piezas especiales: es el correspondiente al consumo por desgaste de las piezas especiales durante la operación del vehículo.

-costo horario por llantas: es el correspondiente al consumo por desgaste de las llantas durante la operación del vehículo.

-costo horario por lubricantes: es el derivado del consumo y de los cambios periódicos de aceites lubricantes del motor del vehículo.

-costo horario por mantenimiento mayor o menor es el originado por todas las erogaciones necesarias para conservar el vehículo en buenas condiciones durante toda su vida económica.

-costo horario por la inversión es el costo equivalente a los intereses del capital invertido en el vehículo, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica

-costo horario por seguros es el que cubre los riesgos a que está sujeta al vehículo por los siniestros que sufra

-costo horario por depreciación es el que resulta por la disminución del valor original del vehículo, como consecuencia de su uso, durante el tiempo de su vida económica

-costo horario por salarios de operación: es el que resulta por concepto de pago del o los salarios del personal encargado de la operación del vehículo por hora efectiva

- costo directo por equipo de seguridad: corresponde al valor del equipo necesario para la protección personal del trabajador para ejecutar el concepto de trabajo

-costo horario por combustibles es el derivado de todas las erogaciones originadas por los consumos de diésel para el funcionamiento de los motores de combustión interna del vehículo. Fuente: SCT.

vehículos con doble compartimiento anual sería de \$1, 944,720.00, mientras que si se mantiene el escenario actual (un camión con doble compartimiento y un camión con un solo compartimiento) el costo horario es de \$2, 248,400.00, por lo que al realizar el cambio se obtendría un ahorro de \$253,680.00 anuales.

Aunado a lo anterior, si se ejecuta la solución obtenida por el modelo de programación lineal, se conseguirán grandes beneficios estos son: la eliminación de la ruta C ya que, por contar con un compartimiento doble la recolección de basura orgánica e inorgánica se realizara al mismo tiempo y no será necesario efectuar el recorrido de la ruta C que se realiza los días Martes y Sábados en donde el vehículo 779 (camión con un solo compartimiento) se dedica exclusivamente a recoger los desechos orgánicos, dando paso a una recolección más frecuente en la parte baja de San Luis Tlaxiátemalco evitando con esto la acumulación mayor de desechos orgánicos en los domicilios a los que se les brinda el servicio, lo cual ayuda a mitigarla creación de plagas como cucarachas, moscas y ratas, disminuyendo la vulnerabilidad de enfermedades producidas por estos focos de infección, así también, al eliminar el recorrido de la ruta C, se reduce la distancia recorrida por el camión recolector, lo que permite moderar la producción de emisiones contaminantes, aminorar el consumo de combustible, y disminuir el desgaste de neumáticos.

Posteriormente se muestra el impacto que se obtiene al realizar el cambio que el modelo propone al utilizar dos vehículos con doble compartimiento.

4.6. Microruteo la recolección de residuos sólidos del Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco

El microruteo ayudará a evaluar las cinco rutas actuales de San Luis Tlaxialtemalco y de ser el caso, se propondrán las nuevas alternativas, las características más relevantes para el microruteo son:

Escenario actual:

Ruta A.

Número habitantes: 2154 hab.

Razón de recolección de residuos sólidos: 1.2 kg/hab-día

Frecuencia de recolección: dos días a la semana

Tipo de servicio de recolección: método de esquina

Número de personas para la recolección: 2

Capacidad de recolección del vehículo que se utiliza actualmente: 16m³

Peso específico de los residuos compactados: 320 kg/m³

Volumen compactado de residuos sólidos a ser recolectados por semana:

$$vol/sem = (2154hab * 1.2 kg/hab - dia * 7 dias/sem)/(320 kg/m^3) = 57 m^3/sem$$

Determinación del número de viajes requeridos por semana:

$$viajes/semana = \frac{(57 m^3/sem)}{16m^3} = 4$$

Para la ruta **A** el vehículo recolector realiza un recorrido de 4.1 km

Ruta B.

Número habitantes: 2046 hab.

Razón de recolección de residuos sólidos: 1.2 kg/hab-día

Frecuencia de recolección: tres días a la semana

Tipo de servicio de recolección: método de esquina

Número de personas para la recolección: 2

Capacidad de recolección del vehículo: 16m³

Peso específico de los residuos compactados: 320 kg/m³

Volumen compactado de residuos sólidos a ser recolectados por semana:

$$vol/sem = (2046hab * 1.2 kg/hab - dia * 7 dias/sem)/(320 kg/m^3) = 54 m^3/sem$$

Determinación del número de viajes requeridos por semana:

$$viajes/semana = \frac{(54 m^3/sem)}{16m^3} = 3$$

Actualmente, esta ruta recorre 3.1 km

Ruta C.

Número habitantes: 4200 hab.

Razón de recolección de residuos sólidos: 1.2 kg/hab-día

Frecuencia de recolección: dos días a la semana

Tipo de servicio de recolección: método de esquina

Número de personas para la recolección: 2

Capacidad de recolección del vehículo: 16m³

Peso específico de los residuos compactados: 320 kg/m³

Volumen compactado de residuos sólidos a ser recolectados por semana:

$$vol/sem = (4200hab * 1.2 kg/hab - dia * 7 dias/sem)/(320 kg/m^3) \\ = 110 m^3/sem$$

Determinación del número de viajes requeridos por semana:

$$viajes/semana = \frac{(110 m^3/sem)}{16m^3} = 7$$

El vehículo recolector realiza un recorrido de 6.9 km

Ruta D.

Número habitantes: 1378 hab.

Razón de recolección de residuos sólidos: 1.2 kg/hab-día

Frecuencia de recolección: tres días a la semana

Tipo de servicio de recolección: método de esquina

Número de personas para la recolección: 2

Capacidad de recolección del vehículo: 16m³

Peso específico de los residuos compactados: 320 kg/m³

Volumen compactado de residuos sólidos a ser recolectados por semana:

$$vol/sem = (1378hab * 1.2 kg/hab - dia * 7 dias/sem)/(320 kg/m^3) = 36 m^3/sem$$

Determinación del número de viajes requeridos por semana:

$$viajes/semana = \frac{(36 m^3/sem)}{16m^3} = 2$$

En esta ruta se recorren 3.9km

Ruta E.

Número habitantes: 1566 hab.

Razón de recolección de residuos sólidos: 1.2 kg/hab-día

Frecuencia de recolección: cuatro días a la semana

Tipo de servicio de recolección: método de esquina

Número de personas para la recolección: 2

Capacidad de recolección del vehículo: 16m³

Peso específico de los residuos compactados: 320 kg/m³

Volumen compactado de residuos sólidos a ser recolectados por semana:

$$vol/sem = (1566hab * 1.2 kg/hab - dia * 4 dias/sem)/(320 kg/m^3) = 41 m^3/sem$$

Determinación del número de viajes requeridos por semana:

$$\text{viajes/semana} = \frac{(41 \text{ m}^3/\text{sem})}{16 \text{ m}^3} = 3$$

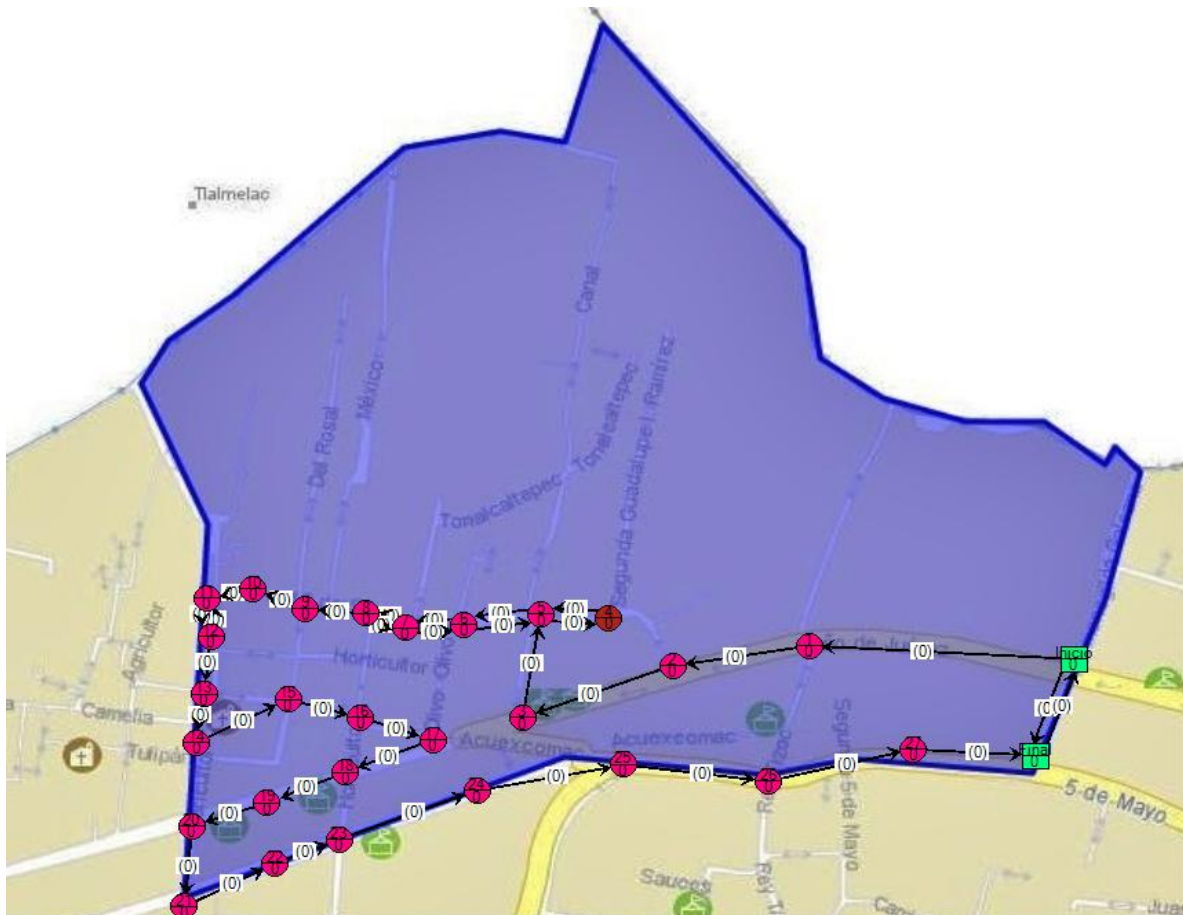
Actualmente, esta ruta recorre 4.6 km

Escenario propuesto:

Ruta A.

De acuerdo a los resultados del software utilizado se determinó que la ruta más corta y que cubre en su totalidad todos los puntos definidos para cubrir toda la zona asignada es la siguiente (ver figura 35), ésta cuenta con una distancia total recorrida de 3.3 km y la forma en que se realizará se muestra por medio de la numeración asignada a cada uno de los nodos que la conforma. Debido a la eliminación de la ruta C ésta ruta contará con una frecuencia de recolección de cuatro días a la semana.

Figura 35. Ruta A propuesta.

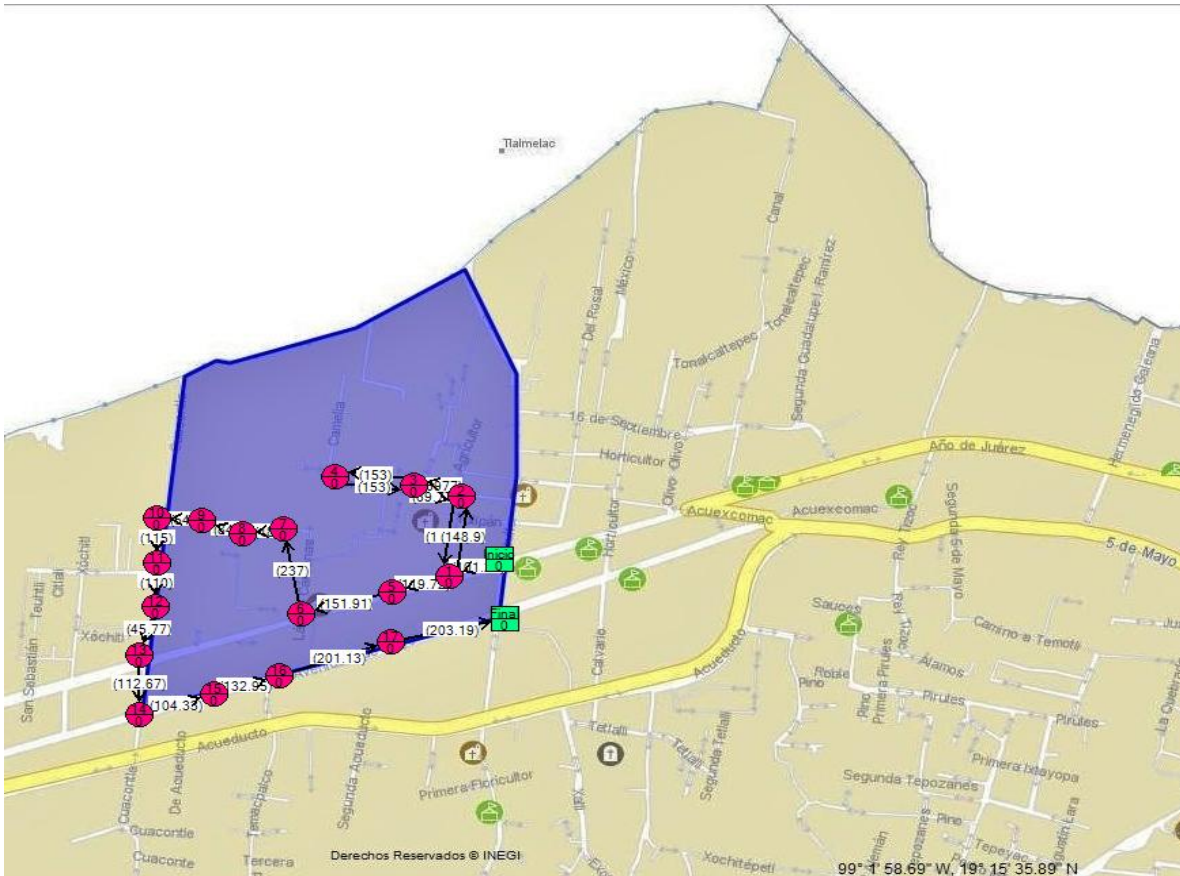


Elaboración propia.

Ruta B.

Esta ruta cuenta con una distancia total de recorrido de 2.6 km y la secuencia de recorrido se muestra en la siguiente figura, con una frecuencia de recolección de 3 días por semana.

Figura 36. Ruta B propuesta.



Elaboración propia.

Ruta D.

La ruta D propuesta recorre 3.6 km de distancia, para el diseño de rutas o modificación de las mismas durante el proceso de microruteo se recomienda evitar que el vehículo entre a las calles cerradas es por ello que se optó por eliminar una parada la cual se ubicaba dentro de una calle cerrada.

También es deseable que el vehículo recolector suba sin iniciar la recolección, sino hasta cuando éste se encuentre en la zona más elevada. De tal modo que la recolección se haga de forma descendente para que el vehículo no tenga dificultades para subir y que al momento de bajar el vehículo este totalmente cargado. No hay cambios en la frecuencia de recolección.

Figura 37. Ruta D propuesta.

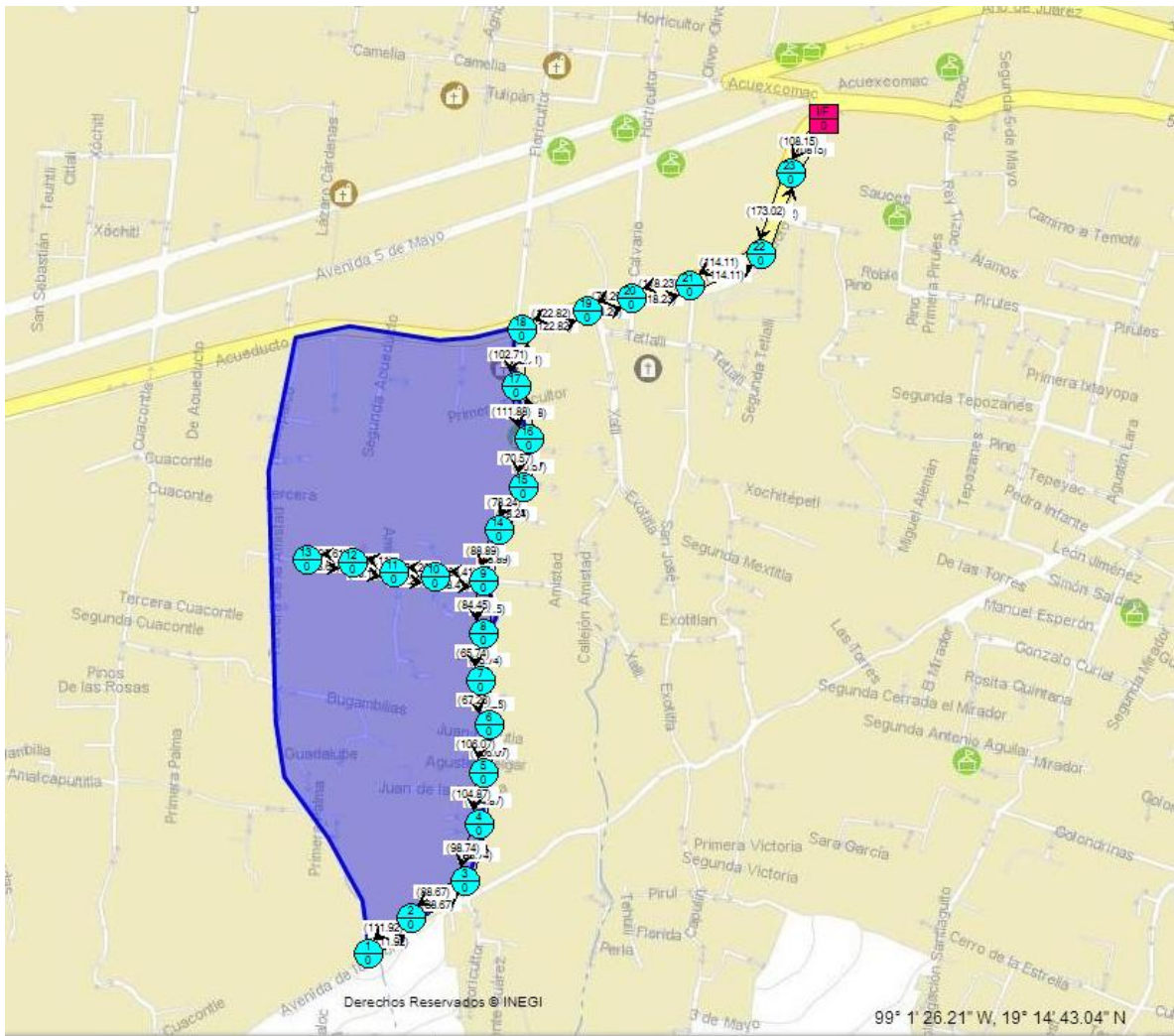


Elaboración propia.

Ruta E.

Para este caso sólo se modificó el orden de recolección el cual se iniciará desde punto más alto de carga, por ser una zona elevada. De tal modo que el vehículo recolector realizará su recorrido de forma descendente para que no presente dificultades para subir y que al momento de bajar se encuentre totalmente cargado.

Figura 38. Ruta E.



Elaboración propia.

5. Resultados

De acuerdo a las rutas óptimas propuestas en el microruteo, la reducción de kilómetros por año de cada ruta es la siguiente:

Actualmente la ruta **A** recorre 852.8km al año, si se utilizar la ruta propuesta, con un recorrido de 686.4 km al año lo que significa que se ahorrarían 166.4 km si se empleara. Para la ruta **B** se recorren 483.6km al año, si se hace uso de la ruta presentada, se transitarían 405.6km al año provocando un ahorro de 78km. Mientras que la eliminación de la ruta **C** provocaría un ahorro de 2511.6km, por lo el vehículo 779 (ahora de doble compartimiento) recorrería un total de 1091.6 km anuales reduciendo 2756 km.

Mientras que el vehículo 2111 con doble compartimiento tiene asignadas la ruta **D** que recorre 405.6km al año, si se hace uso de la ruta planeada, se disminuirían 31.2 km de distancia por lo que ésta transitaría 374.4 km al año, para la ruta **E** no hay reducción de distancia recorrida, por lo que sólo se obtendrá un ahorro total de 31.2km para este vehículo.

En conjunto suman 4,971.2 km recorridos al año por las cinco rutas (ejecución del sistema actual).

Tabla3. Tabla de ahorros de distancia.

<u>Vehículo 779 kilómetros/año</u>			
RUTA	ACTUAL (con un compartimiento)	PROPUESTO (con doble compartimiento)	Ahorro
A	852.8	686.4	166.4
B	483.6	405.6	78.0
C	2,511.6	-----	2,511.6
Total	3,848.0	1,092	2,755.4

<u>Vehículo 2111 kilómetros/año</u>			
D	405.6	374.4	31.2
E	717.6	717.6	0
Total	1123.2	1,092	31.2

Fuente: elaboración propia

Escenario Actual.

Luego entonces, tomando en cuenta que el precio del diésel es de \$13.28 por litro (PEMEX, 2014) y el rendimiento para cada uno de los vehículos de acuerdo a su ficha técnica, se determinó lo siguiente:

Rendimiento:

Vehículo 779: 2.50 km/lt

Vehículo 2111: 2.00 km/lt

$$\text{litros consumidos al año del vehiculo 779} = \frac{3848\text{km}}{2.50\text{ km/lt}} = 1,539.2\text{lt}$$

$$\text{litros consumidos al año del vehiculo 2111} = \frac{1123.2\text{km}}{2\text{ km/lt}} = 561.6\text{lt}$$

Sumando los litros consumidos de los dos camiones se tiene que:

$$\text{Costo total de operacion al año} = 2,100.8\text{ lt} * 13.28 = \$27.898.62$$

Para el cálculo de la energía consumida se utilizaron los siguientes datos fijos, por tratarse de vehículos que ocupan diésel se usó el PCI (Poder Calorífico Inferior) del diésel el cual es 40,600kj/kg y su densidad que corresponde a 0.78 kg/l. Asimismo es necesario calcular la energía consumida de los dos vehículos. Por lo que se determinó lo siguiente:

Energía consumida

$$\text{Energía consumida}^6 = (\text{PCI})(\text{litros consumidos al año})(\text{densidad})$$

$$\text{Energía consumida} = (40600\text{ kj/kg})(2100.8\text{lt})(0.78\text{ kg/lt})$$

$$\text{Energía consumida} = 66,528,134.4\text{kj} = 0.066\text{Tj}$$

⁶ De acuerdo con Sheinbaum, P.C., 2009.

Ahora bien, para calcular las emisiones contaminantes de bióxido de carbono (CO₂) producidas por el sistema de recolección actual de San Luis Tlaxialtemalco se utilizó la siguiente fórmula donde:

$$ECO_2 = (\text{energía consumida } j) * (\text{factor de emisión } j) * (\text{fracción oxidada } j) * \frac{44}{12}$$

Donde j es el tipo de combustible.

Los factores de oxidación se presentan en la tabla 3. Por su parte, los factores de emisión, se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Factor de oxidación.

Carbón	0.98
Petróleo y productos	0.99
Gas	0.995
Peat para generación eléctrica	0.99

Fuente: (Sheinbaum, P.C., 2009)

Tabla 5. Factor de emisión (tonCO₂/TJ)

GLP	62.436
Gasolinas	68.607
Diesel	73.326
Gas natural	55.820

Fuente: (Sheinbaum, P.C., 2009)

De acuerdo a la siguiente tabla se utilizó los factores marcados con rojo, esto debido a que los dos vehículos utilizan diésel.

$$ECO_2 = (0.066Tj) * \left(73.326 \text{ ton} \frac{CO_2}{Tj}\right) * (0.99) \left(\frac{44}{12}\right)$$

$$ECO_2 = 17.57 \text{ TonCO}_2$$

Para el cálculo de emisiones de CH₄ y N₂O:

$$CH_4 = (\text{kilometros recorridos al año}) * (\text{factor de emisión k en g/km})$$

$$N_2O = (\text{kilometros recorridos al año}) * (\text{factor de emisión k en g/km})$$

Luego entonces:

$$CH_4 = (4971.2\text{km}) * \left(\frac{0.075\text{g}}{\text{km}}\right) = 372.84\text{g} = 0.00037\text{ton}$$

$$N_2O = (4971.2\text{km}) * \left(0.606\frac{\text{g}}{\text{km}}\right) = 3012.54\text{g} = 0.00301\text{ton}$$

A continuación se realiza el cálculo de emisiones contaminantes de bióxido de carbono equivalentes al año:

Emisiones de CO_{2eq}

$$= (\text{emisiones de } CO_2) + (\text{emisiones de } CH_4 * 21) + (\text{emisiones de } N_2O * 310)$$

$$Emisiones de CO_{2eq} = 17.57 + (0.00037 * 21) + (0.00301 * 310)$$

$$Emisiones de CO_{2eq} = 18.51 \text{ ton}CO_{2eq}$$

Escenario propuesto.

Aplicando las rutas propuestas para mejorar el sistema de recolección de basura actual y utilizando dos vehículos recolectores de carga trasera de doble compartimiento, las nuevas cifras quedarían de la siguiente manera:

Las cuatro rutas recorrerían 2, 184km al año colectivamente, asimismo tomando en cuenta el precio del diésel de \$13.28 por litro (PEMEX, 2014) y el rendimiento de 2.5km/lt para los dos vehículos, se determinó lo siguiente:

$$\text{litros consumidos al año} = \frac{2,184 \text{ km}}{2.5 \text{ km/lt}} = 873.6 \text{ lt}$$

$$\text{Costo de operación al año} = 873.6 \text{ lt} * 13.28 = \$11,688.77$$

Energía Consumida:

$$\text{Energía consumida} = (40600 \text{ kJ/kg})(873.6 \text{ lt})(0.78 \text{ kg/lt})$$

$$\text{Energía consumida} = 27,665,164.8 \text{ kJ} = 0.027 \text{ Tj}$$

Las emisiones contaminantes de bióxido de carbono CO₂ producidas con el sistema de recolección de San Luis Tlaxiátemalco propuesto son:

$$E_{CO_2} = (0.027 \text{ Tj}) * \left(73.326 \text{ ton} \frac{CO_2}{Tj} \right) * (0.99) \left(\frac{44}{12} \right)$$

$$E_{CO_2} = 7.18 \text{ Ton} CO_2$$

Calculo de emisiones de CH₄ y N₂O:

$$CH_4 = (2184 \text{ km}) * \left(\frac{0.075 \text{ g}}{\text{km}} \right) = 163.80 \text{ g} = 0.00016 \text{ on}$$

$$N_2O = (2184\text{km}) * \left(0.606 \frac{\text{g}}{\text{km}}\right) = 1323.50\text{g} = 0.00132\text{ton}$$

Emisiones contaminantes de bióxido de carbono equivalentes:

$$Emisiones\ de\ CO_{2eq} = 7.18 + (0.00016 * 21) + (0.00132 * 310)$$

$$Emisiones\ de\ CO_{2eq} = 7.59\text{tonCO}_{2eq}$$

Así mismo se sabe que cada vehículo consume tres litros de aceite por semana marca Rroshfrans con un costo de \$55.00 el litro, y realizan el cambio de balatas (12 balatas por camión) cada año éstas tienen un costo de \$10,944 por cada vehículo (datos proporcionados por el chofer), también el cambio de neumáticos se realiza cada cuatro años, cada vehículo utiliza 6 neumáticos marca continental R22.5 (INFOMEX, 2014) los cuales tienen un costo de \$2,392.00 cada neumático, la siguiente tabla muestra los gastos anuales para los dos vehículos en los dos tipos de escenarios el actual (un vehículo con doble compartimiento y un vehículo con un solo compartimiento) y el propuesto (dos vehículos de doble compartimiento). Cabe mencionar que no existe ahorro en el uso de aceite y balatas ya que es importante realizar periódicamente el mantenimiento menor, es decir, ajustes rutinarios como lo es el uso de aceite (lubricantes) y balatas, todo esto con la finalidad de mantener el funcionamiento de los vehículos en las mejores condiciones.

Tabla 6. Tabla de ahorros en costos de neumáticos y combustible.

Gastos anuales	sistema actual	sistema propuesto	Ahorro
Costo de neumáticos	\$ 7,176	\$ 3,152.60	\$4,023.40
Balatas	\$ 21,888.00	\$ 21,888.00	\$0
Aceite	\$ 17,160.00	\$ 17,160.00	\$0
Combustible	\$27,898.624	\$11,601.41	\$16,297.21
Totales	\$ 74,122.60	\$ 53,802.01	\$20,320.61

Tabla 7. Tabla de resumen del sistema actual y propuesto

Indicadores	Escenario actual	Escenario propuesto
Kilómetros recorridos [km al año]	4971.2	2184
Combustible [litros al año]	2100.8	873.6
Gastos de operación: combustible y desgaste de neumáticos [\$]	74,122.60	53,802.01
Energía consumida [Tj]	0.066	0.034
Emisiones de bióxido de carbono equivalentes [ton CO2]	18.51	7.59
Reducción de costos operativos [\$]	20,320.61	
Reducción de emisiones contaminantes de bióxido de carbono [ton CO2]	10.92	
Reducción de kilómetros recorridos [km al año]	2,787.2	

6. Conclusiones

En el Distrito Federal se estima que cada habitante produce 1.2 kilogramos de basura por día. O sea que una familia de cinco personas genera en un mes 168 kilogramos de basura. Actualmente se recolecta un poco más de 70% del total de la generación de desechos sólidos, casi 28% se deposita en rellenos sanitarios lo que significa que el restante se va a lugares a cielo abierto sin ningún control ocasionando daños al medio ambiente y a la salud humana.

Dentro de la Ciudad de México no existe precisamente una labor buena o aceptable en el manejo de la basura debido al desconocimiento de herramientas metodológicas, matemáticas y tecnológicas (*softwares* especializados), además de la falta de voluntad de las organizaciones encargadas de esta labor (equipo de recolección inadecuado, rutas de recolección inconvenientes, entre otras) sumado al desinterés de la población en conjunto estas situaciones provocan una deficiencia en la calidad del servicio y un descontrol en cuanto al manejo de desechos sólidos se refiere.

El que no exista una efectividad dentro del servicio de Limpia provoca diversos daños como: contaminación del agua, a la atmosfera y suelo, además de daños a la salud del ser humano, imagen urbana pésima y costos de operación mayores y/o innecesarios que podrían destinarse en otras áreas.

Dentro de las cuatro etapas del manejo de desechos sólidos esta investigación se enfocó en la optimización de una en específico la **recolección de basura** principalmente en el Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco, la cual trajo consigo varios beneficios que se explican en el contenido de la tesis y se resumen a continuación, que bien podría ser aplicable para varios Municipios o Delegaciones.

Durante el desarrollo de esta investigación se encontraron varios inconvenientes en primer lugar la dificultad para obtener la información necesaria para realizar el análisis de marcoruteo y microruteo, debido a los papeleos que se debían elaborar para la obtención de los datos de operación del proceso de recolección de basura en San Luis Tlaxialtemalco; el lapso de entrega de información hilaba entre los 15 y 20 días después de solicitarla, y la respuesta no siempre era adecuada, por lo que en muchas ocasiones se prolongaba más tiempo. Por otro lado, en la secretaría de Obras y Servicios, en la dirección de servicios urbanos y en las instalaciones en que intervienen los camiones de basura, existe cierto hermetismo para proporcionar información, y en muchos casos, lo

más efectivo fue la entrevista directa con el señor Fuentes *Jefe de la unidad departamental de Limpia (chofer)*.

Respecto a la elección del *software*, fue porque ya se tenía disponible de su previa utilización en el proyecto **PI2011-37R** UACM-SECITI de la que soy parte, sino que se eligieron por la capacidad del manejo de datos y la amigable presentación de los resultados, es importante reiterar la importancia del uso de *software* y métodos matemáticos para la resolución de problemas de ruteo, ya que facilitan la visualización de las rutas de manera más fácil, así como la manipulación de los datos. En el caso de nuestra zona de estudio una vez seleccionada la solución más óptima y provechosa se determinó que al utilizar dos camiones recolectores con doble compartimiento se obtiene un ahorro en el costo horario de \$253,680.00 en un año, también se pueden reducir 2787.2km lo que permite disminuir 10.92 toneladas de emisiones de bióxido de carbono (CO_{2eq}) al año, asimismo se ahorrarían \$16,297.22 pesos al año en los costos de operación (uso de combustible) y con eso se permitiría reducir el desgaste en los neumáticos de los vehículos recolectores que traducido en pesos permite ahorrar \$4,023.40 anuales. Además gracias a las recomendaciones del *Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales* aplicadas en el rediseño de las cinco rutas actuales, la eficiencia del servicio de recolección de basura que se brinda en San Luis Tlaxialtemalco sería mayor, aumentando éste notablemente, en la frecuencia de servicio, rapidez, y en la satisfacción de los usuarios; esta solución también está dirigida a la reducción en el consumo de combustible y utilizar de manera efectiva los recursos como por ejemplo el uso de vías más cortas las cuales permitan cubrir toda la demanda pasando por todas las paradas determinadas por la delegación Xochimilco sin excepción alguna. Tomando en cuenta todos éstos beneficios es recomendable aplicar este análisis a nivel macro es decir en todo el Distrito Federal para cada una de sus Delegaciones, Municipios, pueblos y localidades, ya que si se suma cada uno de los beneficios cuantitativos que se obtendrían al implantar esta solución por delegación se conseguiría reducir cantidades considerables de CO_{2eq} y ahorros en costos de operación.

Se demostró que con la solución más óptima, adecuada y conveniente para el caso de estudio se obtuvo una reducción de 10.92 ton de CO_{2eq} al año y se ahorra \$16,297.22 pesos en uso de combustible y \$4,023.40 en el desgaste de neumáticos. En un análisis más amplio si se aplica para las 1,633 colonias pertenecientes a las 16 delegaciones que conforman el Distrito Federal, y que se comportaran de manera lineal y se obtuvieran resultados semejantes, se conseguirían los siguientes

beneficios en cuanto al medio ambiente se refiere se reducirían aproximadamente 12,558 toneladas de CO₂ al año por los 2,300 vehículos recolectores con los que se cuenta en todo el Distrito Federal esto suponiendo que en cada Colonia se reduce la misma cantidad de emisión de CO₂ que en el caso de estudio, es necesario aclarar que para cada colonia y/o delegación la solución que se obtenga depende de la estructura urbana, el área territorial de la colonia o pueblos ya que esta varía mucho por lo que los kilómetros recorridos para sus rutas son muy diferentes, los recursos, del método de recolección, el número, tipo y modelo de los vehículos recolectores, el personal, la frecuencia del servicio, etcétera, esta variación se verá reflejada en los beneficios específicamente en los costos de operación, reducción de kilómetros recorridos y la disminución de emisiones contaminantes de CO_{2eq}.

Al reducir 12,558 toneladas de CO_{2eq} al año se está contribuyendo a disminuir los daños al medio ambiente, ya que el CO₂, CH₄ y N₂O son gases de efecto invernadero que representan un potencial daño a nivel global debido a que contribuyen al calentamiento global.

Ahora bien, de acuerdo con el Instituto de Ecología y Cambio Climático (INECC) no existe un valor “oficial” sobre el precio de una tonelada de CO₂ reducida o no emitida. Aunque algunas agencias multilaterales han establecido ciertos precios para los proyectos de reducción de emisiones financiados por estas mismas (por ejemplo, el Banco Mundial emplea un precio de \$5 dólares (\$USD 68.0225) por tonelada de CO₂ equivalente no emitida, el precio de la tonelada está sujeto a oferta y demanda de bonos de carbono en el mercado. Tomando en cuenta los datos anteriores, al reducir 12,558 toneladas de CO_{2eq} se podría obtener un bono de carbono de \$854,226.55 pesos.

Comparado con el sistema Metrobús, por ejemplo el corredor insurgentes que cuenta con 160 vehículos en operación y reducen al año 12,223 toneladas de CO_{2eq}, mientras que si los comparamos con las emisiones que se reducirían con 160 vehículos recolectores, éstos tan sólo reducirían 873.6 toneladas de CO_{2eq} al año, esto se debe que aunque los dos ocupan diésel, la tecnología que utilizan los Buses de Tránsito rápido (BRT por sus siglas en inglés) es mucho más elevada que los camiones recolectores de basura que circulan dentro del D.F., además de que los modelos son más actuales y nuevos, a comparación de los camiones recolectores es su mayoría son modelos viejos, por lo que valdría la pena pensar en el reemplazo de los vehículos.

Asimismo, el ahorro en costos de operación (neumáticos y combustible) sería aproximadamente de \$20,320.61 pesos al año tomando en cuenta los 2,300 camiones recolectores que están activos en todo el Distrito Federal, por lo que se podrían destinar estos fondos para la renovación de la flota vehicular, el mantenimiento preventivo, costos de mantenimiento para los rellenos sanitarios y procesos de tratamientos a los desechos, entre otros. Aunado a lo anterior, el proceso de recolección de basura será más ordenado y eficiente; mitigando los problemas que la sociedad enfrenta actualmente como por ejemplo la contaminación del suelo y agua (mantos acuíferos) por causa de la filtración de lixiviados, creación de plagas como cucarachas, moscas y ratas, enfermedades, y ayudara a mejorar la imagen urbana de la zona esto es porque entre más frecuente sea el servicio y efectivo, no habrá acumulación de basura en las calles ni en las casas manteniendo la ciudad limpia, por ende se disminuye los focos de infección, y la propagación de plagas de animales provocando que la población este satisfecha con la calidad del servicio que se ofrece.

Para sumar mayores beneficios es necesario concientizar a la sociedad sobre la acción de reciclaje de basura, de esta manera, a partir de la separación que se debe realizar desde los hogares se podrá mejorar el tratamiento de los residuos inorgánicos para pasar a la producción de composta.

También es necesario regular las actividades de los pepenadores para que se integren a los equipos productivos mejorando con esto las condiciones de vida y de trabajo de estos grupos sociales que son de gran importancia para la manejo de desechos sólidos en la Ciudad.

Es así, que la aplicación de modelos de redes, de investigación de operaciones y herramientas de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Transporte Urbano se ven plasmadas en esta propuesta de reconfiguración de las rutas de recolección de basura y residuos sólidos en la ciudad de México, para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Tabla 8. Tabla de resumen de análisis a nivel macro para el Distrito Federal.

BENEFICIOS OBTENIDOS A TRAVÉS DE LA OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE BASURA EN EL DISTRITO FEDERAL.	
<i>Indicadores.</i>	<i>Ahorro</i>
Reducción de emisiones contaminantes	12,558 toneladas de CO _{2eq} al año
ahorro en costos de operación (neumáticos y combustible)	\$20,320.61 pesos
bonos de carbono	\$854,226.55 pesos

7. Bibliografía

Diccionario de la Real Academia Española. (2001). Madrid: España.

Hernández, A. R. (2009). *Gestión Integral de los Residuos Sólidos*. Tesis de Ingeniería no publicada, IPN, Distrito Federal, México.

Lieberman, G.H., y Hillier, F.S. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México: McGRAW-HILL.

Rodríguez, V. A. (2010). *Manual de usuario de Grafos*. España

Taha, H. A. (2004). *Investigación de Operaciones*. México: Pearson.

8. Referencias Electrónicas

Aguapedia. (15 de Febrero de 2014). *Lixiviados*. Recuperado de http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/3470/mod_resource/content/0/LIXIVIADOS.pdf

Amparán, F. J. (28 de Octubre de 2007). *Breve historia de la evolución de la basura*. Recuperado de <http://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/307180.html>

ASECA. (15 de Junio de 2014). *Recolectores de residuos sólidos*. Recuperado de <http://www.aseca.com/maquinaria/recolectores>

Cámara de diputados LXII LEGISLATURA. (19 de Marzo de 2014). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_040614.pdf

Computer Información. (14 de Septiembre de 2014). *Excel Solver*. Recuperado de <http://ordenador.wingwit.com/software/microsoft-access/138614.html#.VBsBTZR5OSp>

Consejería Jurídica y de Servicios Legales (13 de Septiembre de 2010). *Gaceta oficial del Distrito Federal*. Recuperado de <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/03/local/03clave.pdf>

Ciudadanos en red. (15 de Junio de 2014). *Ciudadanos en Red*. Recuperado de <http://ciudadanosenred.com.mx/envozalta/tema/los-barrenderos-somos-los-mas-olvidados-en-coyoacan/>

Floribela Dos Santos , A. L., & Wehenpo, G. (20 de Septiembre de 2014). *De pepenadores y triadores* Recuperado de: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/341/pepena.html>

Gonzalez, J. F. (05 de Diciembre de 2013). *Basura, problema que día a día daña nuestra salud.* Recuperado de <http://www.saludymedicinas.com.mx/centros-de-salud/alergias/articulos-relacionados/basura-problema-que-dia-a-dia-dana-nuestra-salud.html>

García, A. H. (24 de Octubre de 2013). *Recolección, Transferencia, Selección y Disposición Final.* Obtenido de Secretaria de Obras y Servicios: http://www.obras.df.gob.mx/?page_id=85

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC (2014). *Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas.* Recuperado de <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/105.pdf>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático INECC (2014). *Mercado de bonos de carbono.* Recuperado de <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/sectprivcc/mercadobonoscarbono.html>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI (2014). *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.* Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/>

Martínez, A. (14 de Septiembre de 2014). *Tora. Manual de usuario.* Recuperado de http://www.ejie.euskadi.net/y7903/es/contenidos/informacion/herramientas_ejie/es_0213/adjuntos/Tora.%20Manual%20de%20usuario%20v1.0.pdf

Méndez, B. V. (22 de Marzo de 2014). *Problema del Cartero Chino.* Recuperado de <http://www.educabarrie.org/palabrario/problemas-de-flujo-en-redes>

Metrobús (05 de junio de 2014). *Emisión de contaminantes por actividad de fuentes móviles.* Recuperado de http://www.metrobus.df.gob.mx/docs/documentos_L4/Anexos/Anexo_Diez.pdf

MICROSOFT STREETS & TRIPS (14 de Septiembre de 2014). *Microsoft Streets & Trips* Recuperado de <http://www.laptopgpsworld.com/2380-review-microsoft-streets-trips>

Orden Jurídico (21 de Marzo de 2014). *Reglamento para la Prestación del Servicio de Aseo Público.* Recuperado de

<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Jalisco/Todos%20los%20Municipios/wo80159.pdf>

PEMEX, (2014). *Precio al público de productos petrolíferos*. Recuperado de http://www.ri.pemex.com/files/dcpe/petro/epublico_esp.pdf

Peña, A. R. (2011). *Habitar construyendo*. Recuperado de http://www.usjt.br/arq.urb/numero_06/arqurb6_07_em_formacao_03_alma_rodriguez.pdf

Rosroca. (15 de Junio de 2014). *Vehículo de carga lateral*. Recuperado de http://www.rosroca.com/media/paginas/03010102_lateral.html

Salud, S. d. (6 de Diciembre de 2013). *CONAPRA Seguridad Vial* Recuperado de http://www.cenapra.salud.gob.mx/interior/seguridad_vial.html

Secretaria de Comunicaciones y Transporte SCT (2000). *Problemas de ruteo vehicular en la recoleccion y distribucion optimas de carga*. Recuperado de <http://imt.mx/SitioIMT/Publicaciones/publicaciones.aspx?LsPagina=144,143,142,141,140&LiPagina=5&LsPalabra=&LbPalabra=0&LiAutor=0&LiCategoria=0&LiTipoPublicacion=0&LsRango=0&LdAnio=0&LiSecuencia=144>

Secretaria de Desarrollo Social SEDESOL (1997). *Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales*. México, D.F.:Human.

Secretaría de Obras Y Servicios SOBSE, (2013). *Recolección, Transferencia, Selección y Disposición Final*. Recuperado de <http://www.obras.df.gob.mx/recoleccion-transferencia-seleccion-y-disposicion-final/>

Secretaría de Obras Y Servicios SOBSE (2013). *Separacion de Residuos sólidos D.F.* Recuperado de <http://www.obras.df.gob.mx/wp-content/uploads/2013/09/cuadernillo.swf>

Transportation Planning Software. (14 de Septiembre de 2014). *TransCAD*. Recuperado de <http://www.saip.com.co/admin/modules/transcad/view/files/pdf/TransCAD%20Brochure%20ES1345818362.pdf>

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT (2014). *Guía de Diseño para la Identificación Gráfica del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos*. Recuperado de <http://web2.semarnat.gob.mx/temas/residuos/solidos/Documents/guia-diseno.pdf>

Sheinbaum, P.C. (Agosto 2009). *Escenarios de consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero*. Recuperado de: <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/BancoDeInformacion/Entrevistas/Paginas/ClaudiaSheinbaumPardo.aspx>

WINQSB (14 de Septiembre de 2014). *WinQSB*. Recuperado de <http://www.dia.fi.upm.es/~jafernan/teaching/operational-research/WinQSB2.0.pdf>

Zepeda, K. (2013). *Gestión Integral de Residuos*. Recuperado de <http://semadet.jalisco.gob.mx/medio-ambiente/residuos/gestion-integral-de-residuos>

9. Entrevistas Realizadas

Fuentes, S. (6 de Marzo de 2014). *Jefe de la unidad departamental de limpia*. (O. J. Karla, Entrevistador)

González Monzón, U. A. (6 de Marzo de 2014). *Dirección General de Servicios Urbanos*. (O. J. Karla, Entrevistador)

10. Siglas y Abreviaturas

INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

SCT Secretaria de Comunicaciones y Transporte

SEDESOL Secretaria de Desarrollo Social

SEMARNAT Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales

SOBSE Secretaría de Obras Y Servicios

IO Investigación de Operaciones