



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – TRANSPORTE

PROPUESTA PARA LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL
ÁREA ORIENTE DE LA ZONA NORTE DEL MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. JOSÉ GUADALUPE CRUZ ALANIS

TUTOR
Dr. RICARDO ACEVES GARCÍA

MÉXICO, CD. MX. AGOSTO 2017

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. en I. Zuñiga Barrera Sergio
Secretario: M.I. Rivera Colmenero José Antonio
Vocal: Dr. Ricardo Aceves García
1^{er.} Suplente: Dr. Del Moral Dávila Manuel
2^{d o.} Suplente: M.I. Reséndiz López Héctor Daniel

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ingeniería, Cd. Mx., México

TUTOR DE TESIS:

Dr. Ricardo Aceves García

FIRMA

Agradecimientos:

A Dios por acompañarme y guiarme en este proceso, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y apoyarme siempre en todo momento.

A Irma, por ser una parte muy importante de mi vida, por apoyar siempre en mis decisiones y motivarme a realizar esta meta, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Al Dr. Ricardo Aceves García por brindarme su tiempo, dedicación y conocimientos para dirigir esta investigación.

A mis amigos y compañeros del posgrado Brenda, Pablo, Raúl y Rubén por brindarme su amistad y todas esas buenas experiencias durante estos dos años.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme los recursos para mi desarrollo profesional.

A la Facultad de Ingeniería por brindarme la oportunidad nuevamente de seguir teniendo un crecimiento profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización y conclusión de mis estudios de maestría.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Antecedentes	2
Problemática	2
Justificación	7
Objetivos	8
General	8
Particulares	8
Capítulo 2. Marco teórico	9
2.1 Residuos sólidos	9
2.1.1 Clasificación	9
De acuerdo a su origen y composición	10
De acuerdo con el tiempo que tardan en degradarse	10
2.1.2 Gestión de residuos sólidos	11
2.2 Métodos de recolección	13
2.2.1 Método de parada fija o de esquina	13
2.2.2 Método de acera	14
2.2.3 Método de contenedores	14
2.3 Estimación de la generación de RSU	15
2.3.1 Procedimientos para la estimación de la generación de residuos.	15
Recopilación de la información histórica de la cantidad de residuos generados.	15
Estimación de acuerdo con la capacidad actual del sistema de recolección.	16
Estimación con visita de campo a los sitios de disposición de RSU.	16
2.4 Microruteo	17
2.4.1 Métodos heurísticos	17
2.4.2 Problema del cartero chino	18
Algoritmo para arcos no dirigidos	19
Algoritmo para arcos dirigidos	20
2.4.3 Problema del agente viajero (TSP)	21
Métodos de solución	22
2.5 Sistemas de Información Geográfica (SIG)	22
Capítulo 3. Caso de estudio	24
3.1 Ubicación y características geográficas del municipio	24
3.1.1 Población	25
3.1.2 Marginación y desarrollo humano	26
3.1.3 Recolección de residuos sólidos urbanos	27
3.2 Diagnóstico de la situación actual	28
3.2.1 Aspectos institucionales	28

3.2.2 Generación	28
Generación de RSU	29
3.2.3 Recolección	30
3.2.4 Recolección domiciliaria	33
Zona de operación poniente centro	35
Zona de operación poniente B	35
Zona de operación norte	36
Grupos de organizaciones privadas	36
Área oriente de la zona norte	37
3.2.5 Seguimiento de rutas de recolección	39
Zona de operación oriente	40
Zona de operación poniente centro	41
Zona de operación poniente B	42
Zona de operación norte	43
Capítulo 4. Desarrollo de la propuesta y Resultados	44
4.1 Aspectos generales	44
4.2 Asignación de ruta de recolección para el método de acera	44
4.2.1 Procedimiento	45
4.3 Asignación de ruta para la recolección con contenedores	53
4.3.1 ¿Qué es un contenedor soterrado?	54
4.3.2 Procedimiento	55
4.4 Resultados	65
Descripción de resultados	68
Capítulo 5. Conclusiones	91
Referencias	93
Anexo A	96

Indice de Figuras

Figura 1	Generación de RSU por región	2
Figura 2	Generación per cápita de RSU por región	3
Figura 3	Contribución al PIB y a la generación de RSU por entidad federativa	4
Figura 4	Etapas de la gestión de RSU	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5	Ubicación del municipio de neahualcóyotl	24
Figura 6	Curvas de nivel y corrientes de agua en Nezahualcóyotl	25
Figura 7	Generación de RSU por AGEB	29
Figura 8	Generación de RSU por manzana	30
Figura 9	Zonas de recolección para el municipio de Nezahualcóyotl.....	31
Figura 10	Recolección con carretas y triciclos.....	32
Figura 11	Zonas de operación y agrupaciones privadas	33
Figura 12	Zonas de operación y agrupaciones privadas	37
Figura 13	Generación de RSU por AGEB en el área de la zona norte de Nezahualcóyotl	38
Figura 14	Generación de RSU por manzana en el área de la zona norte de Nezahualcóyotl.....	38
Figura 15	Calles no ortogonales en el área oriente de la zona norte de Nezahualcóyotl	39
Figura 16	Rutas 2 y 24 de zona oriente.....	40
Figura 17	Rutas 1 y 13 de zona poniente centro.....	41
Figura 18	Rutas 5 y 3 de zona poniente B.....	42
Figura 19	Rutas 19 y 31 de zona norte.....	43
Figura 20	Sentido de las calles en el área oriente de la zona norte de Nezahualcóyotl..	45
Figura 21	11 Áreas para el método de acera	46
Figura 22	Arcos y Nodos del área 3	47
Figura 23	Ruta 3	49
Figura 24	Áreas de ubicación de contenedores	54
Figura 25	Contenedores soterrados.....	55
Figura 26	Nodos de contenedores y cobertura	56
Figura 27	Distancia entre nodos de la ruta 13 en metros	57
Figura 28	Proceso de resolución en WINQSB	59
Figura 29	trazo de Ruta 13	60
Figura 30	Utilización de camiones en el área de estudio	67
Figura 31	Recolección por acera Ruta 1.....	69
Figura 32	Recolección por acera Ruta 2.....	70
Figura 33	Recolección por acera Ruta 3.....	71
Figura 34	Recolección por acera Ruta 4.....	72
Figura 35	Recolección por acera Ruta 5.....	73

Índice de Figuras (continuación)

Figura 36 Recolección por acera Ruta 6.....	74
Figura 37 Recolección por acera Ruta 7.....	75
Figura 38 Recolección por acera Ruta 8.....	76
Figura 39 Recolección por acera Ruta 9.....	77
Figura 40 Recolección por acera Ruta 10.....	78
Figura 41 Recolección por acera Ruta 11.....	79
Figura 42 Recolección por contenedores Ruta 12.....	80
Figura 43 Recolección por contenedores Ruta 13.....	81
Figura 44 Recolección por contenedores Ruta 14.....	82
Figura 45 Recolección por contenedores Ruta 15.....	83
Figura 46 Recolección por contenedores Ruta 16.....	84
Figura 47 Recolección por contenedores Ruta 17.....	85
Figura 48 Recolección por contenedores Ruta 18.....	86
Figura 49 Recolección por contenedores Ruta 19.....	87
Figura 50 Recolección por contenedores Ruta 20.....	88
Figura 51 Recolección por contenedores Ruta 21.....	89
Figura 52 Recolección por contenedores Ruta 22.....	90

Índice de tablas

Tabla 1 Definiciones de residuos sólidos	9
Tabla 2 Población histórica y proyectada de Nezahualcóyotl, México y República Mexicana	26
Tabla 3 Pirámide Poblacional de Nezahualcóyotl, 2010	26
Tabla 4 Número de localidades y población según su grado de marginación, 2010	27
Tabla 5 Métodos de eliminación de basura en el municipio de Nezahualcóyotl.....	27
Tabla 6. Proyecciones de población y generación de residuos sólidos urbanos.....	28
Tabla 7. Tipo de cajas y capacidad de carga.....	34
Tabla 8. Características de las zonas de Nezahualcóyotl	34
Tabla 9. Infraestructura para recolección por zona	35
Tabla 10. Rutas 2 y 24 de zona oriente	40
Tabla 11. Rutas 1 y 13 de zona poniente centro.	41
Tabla 12. Rutas 5 y 3 de zona poniente B.	42
Tabla 13. Rutas 5 y 3 de zona poniente B.	43
Tabla 14 Total de Residuos sólidos por área.....	50
Tabla 15. Peso volumétrico in-situ.	51
Tabla 16 Total de Residuos sólidos por área en kg y m ³	52
Tabla 17. Total de Residuos sólidos por área en kg y m ³ y capacidad del camión recolector.....	52
Tabla 18. Longitud y tiempo de recorrido en cada ruta.	53
Tabla 19 Numero de nodos por área y capacidad.....	57
Tabla 20. Total de Residuos sólidos por área.....	61
Tabla 21. Peso volumétrico in-situ.	62
Tabla 22. Total de Residuos sólidos por área en kg y m ³	63
Tabla 23. Total de Residuos sólidos por área en kg y m ³ , capacidad de contenedores y del camión recolector.	63
Tabla 24. Longitud, tiempo de recorrido y carga de contenedores en cada ruta.	64
Tabla 25 Distribución de Rutas y grupos de trabajo.	66
Tabla 26 Costo de implementación de contenedores.....	67

Introducción

El tema que se trata en esta investigación está relacionado con uno de los problemas que afectan al medio ambiente que año tras año están aumentando debido al incremento de la población mundial, teniendo este un comportamiento único de acuerdo a los usos y costumbres de cada región.

Los residuos sólidos urbanos han sido estudiados y abordados desde diferentes enfoques científicos, no obstante, el problema con ellos aún está presente en nuestra sociedad generando diferentes problemáticas.

En este estudio en particular se enfoca en la recolección de residuos sólidos específicamente dentro del municipio de Nezahualcóyotl, en el Estado de México.

La investigación permitió determinar que la recolección de residuos sólidos urbanos es solo un componente de un sistema más grande, de tal forma que, en el primer capítulo se realiza una descripción sobre las condiciones iniciales y se presentan conceptos y diversos métodos de estudio sobre este tema, posteriormente, se define la metodología empleada dependiendo de las condiciones del caso además de las posibles mejoras a las deficiencias detectadas, por último se presentan los resultados hallados.

En resumen, con base en la información arrojada por la investigación, podrá considerarse que el problema del manejo de los residuos sólidos urbanos es complejo, que puede ser tratado bajo un enfoque sistémico.

Capítulo 1. Antecedentes

Problemática

México al igual que otros países enfrenta grandes retos en el manejo de sus residuos sólidos, fundamentalmente por su incremento debido al aumento generalizado de la población. Lo cual se hace más evidente en la zona centro del país. Una de las consecuencias que trae consigo este fenómeno de crecimiento demográfico e industrial en México, es la contaminación por residuos sólidos. En particular la ocasionada por un subgrupo de éstos, los denominados residuos sólidos urbanos (RSU), los cuales se generan como resultado de las diferentes actividades sociales, comerciales y productivas que desarrollan las sociedades en las zonas urbanas y las costumbres de la población, orientadas al consumo de artículos desechables, así como la tendencia de la población a abandonar las zonas rurales para concentrarse en los centros urbanos. (SEMARNAT, 2010).

El aumento en la generación total de RSU en el país en los últimos años ha sido considerable, tan sólo entre 2003 y 2011 creció un 25% (SEMARNAT, 2012).

En el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México de 2012, la distribución geográfica en la generación de RSU fue la siguiente: el 51% de la generación total se produjo en la región centro, seguida de la frontera norte con 16%, en el sur registró el 10%, el norte un 11% y finalmente en el Distrito Federal tuvo un 12% (Ver Figura 1).

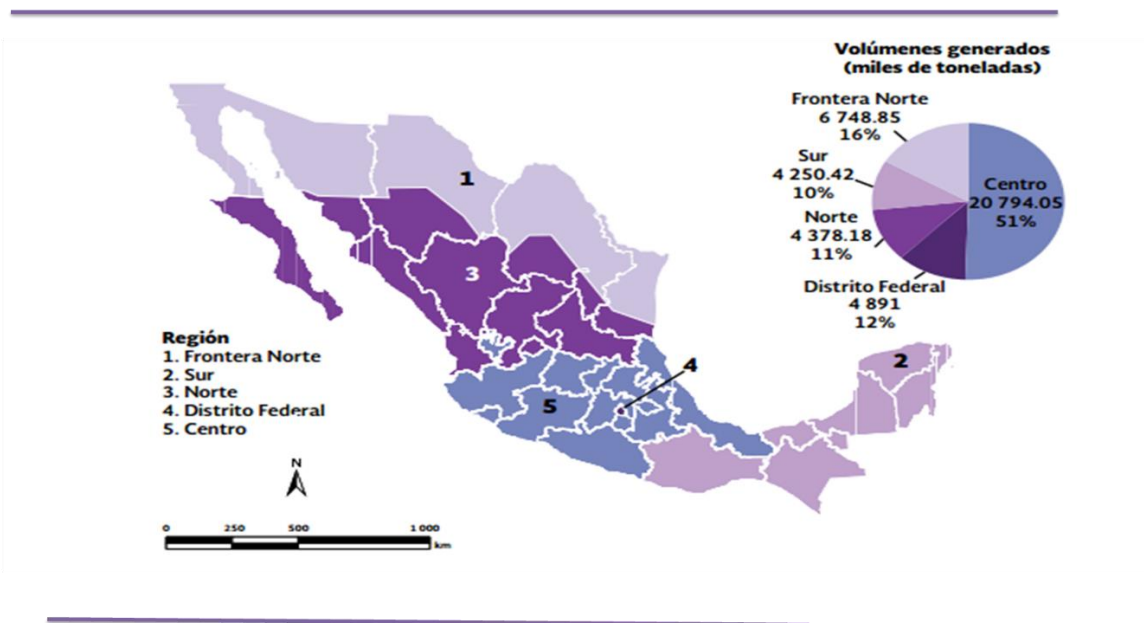


Figura 1 Generación de RSU por región

Fuente: Dirección general de equipamiento e infraestructura en Zonas urbano-marginadas, Sedesol. México 2012

Se ha observado durante la última década, un incremento en la generación de RSU, tan solo durante el periodo 1997-2011, la zona centro, la frontera norte y la zona sur elevaron de manera significativa su generación de residuos (207%, 49%, 44% y respectivamente).

Si se calcula la generación de RSU per cápita, se observa que ésta ha aumentado significativamente en el periodo de tiempo comprendido de 1950 a 2011, durante el cual el volumen de generación diario per cápita aumentó más de tres veces, pasando de 300 a 990 gramos en promedio. Si se evalúa anualmente la generación por habitante, ésta pasó de 306 a 360 kilogramos de 1997 a 2011, es decir, se incrementó en promedio 3.9 kilogramos por año

Entre las entidades y regiones del país, la generación per cápita muestra diferencias, resultado básicamente de la influencia de factores culturales, niveles de ingreso y grado de urbanismo, entre otros. En 2011 la generación per cápita fue la que se muestra en la figura 2

Haciendo el análisis y los cálculos correspondientes, podemos decir que hasta 2011 la media nacional de generación per cápita, es aproximadamente de casi un 1 Kg/día, excluyendo al D.F.

Además, si se analiza la contribución relativa de las entidades al producto interno bruto nacional, puede observarse que guarda una relación lineal positiva con su participación en la generación nacional de RSU (Figura 3). No obstante, la contribución a la producción total nacional de RSU de entidades como el Estado de México y el Distrito Federal, se aparta significativamente de la tendencia que siguen el resto de las entidades del país, lo cual nos indica que, el problema se incrementa en las ciudades con mayor población y poder

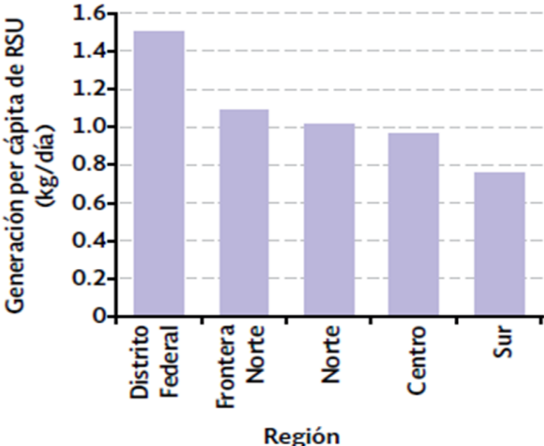


Figura 2 Generación per cápita de RSU por región

Fuente: Dirección general de equipamiento e infraestructura en Zonas urbano-marginadas, Sedesol. México 2012

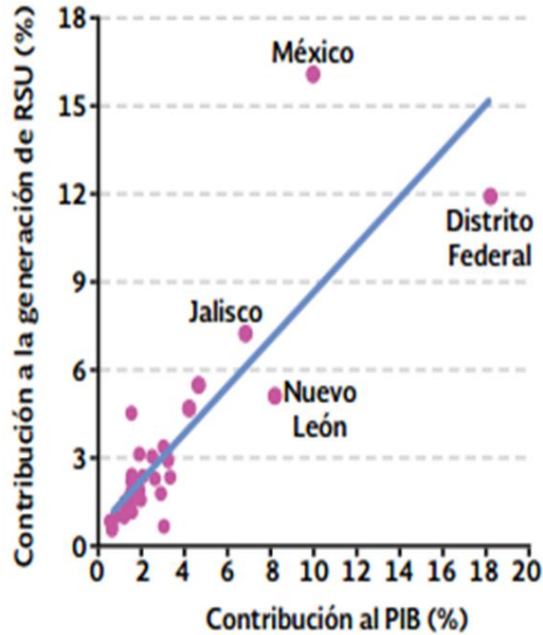


Figura 3 Contribución al PIB y a la generación de RSU por entidad federativa

Fuente: INEGI. Sistemas de cuentas nacionales de México. México 2013. Dirección general de equipamiento e infraestructura en Zonas urbano-marginadas, Sedesol. México 2012

adquisitivo, puesto que a mayor capacidad de compra de productos, la generación de residuos será mayor.

Si aunado a lo anterior, se tiene que las entidades o dependencias encargadas de realizarla la recolección no tienen la capacidad para recoger los residuos, esto conlleva a situaciones como: la aparición de tiraderos clandestinos, tiraderos en vialidades y lotes baldíos, lo que se convierte en potenciales focos de insalubridad, generando contaminación visual, del suelo y ambiental, así como la generación de fauna nociva. Además de originarse grupos de particulares que ven una oportunidad de negocio y con ello, crean más dificultades y problemas para el servicio de recolección.

Los factores que contribuyen a que el servicio de recolección no cumpla con las expectativas son diversos, entre éstos se tienen: el nulo conocimiento y formación del personal directivo de las dependencias sobre las que recae esta actividad, así como la pésima organización que tienen, la insuficiente capacidad en recursos económicos, equipo y personal asignado a esta labor y el constante crecimiento de poblacional.

El manejo integral de RSU incluye actividades como: la reducción de la fuente, recolección, separación, reciclaje, almacenamiento, transporte y disposición final (LGPGIR, 2003).

Para tener este manejo integral, una de las primeras decisiones que debe tomarse, es sobre la recolección de los residuos, iniciando por seleccionar el método a utilizar en la recolección (“de parada fija”, “de acera”, “de contenedores”, entre otros), la frecuencia, el equipo, los vehículos y el personal ; esta es una decisión es muy importante porque incide directamente en las otras etapas del manejo integral porque si no se realiza un buena recolección la etapa de separación será más tardada porque los residuos sólidos llegan en lapsos de tiempo muy distantes, el almacenamiento realizar eficientemente por la misma causa y en ocasiones puede llegar a estar sub o sobre utilizado y el transporte al tener el mismo problema tendrá que hacer más viajes para llevar todos los residuos a la disposición final .

Esta decisión debe considerarse en cuanto a su impacto en los costos. Dado que el costo de la recolección constituye de entre el 70 y el 85 por ciento del costo total del manejo de los residuos sólidos (SEDESOL) por lo cual si se incrementa la productividad de la recolección mediante un buen diseño de rutas de recolección se puede reducir significativamente los costos globales del manejo integral de RSU.

Actualmente sólo el 43% de las ciudades medias del país realiza un diseño de rutas a través de un método técnico para llevar a cabo la recolección, además a nivel nacional solo el 27% de las ciudades disponen de rutas eficientes de recolección y un 73 % no (SEDESOL).

Casi en todos los casos, las rutas se diseñan de forma intuitiva. En vez de diseñarlas a partir de un estudio técnico, por lo que generalmente no tienen la capacidad adecuada, son redundantes, se intersectan o dejan de cubrir todas las zonas de demanda. Otro aspecto importante es, la poca o nula conciencia que tienen los habitantes quienes también contribuyen con este problema, al depositar en cualquier lugar sus residuos entorpeciendo el sistema de recolección y obligando a los vehículos a detenerse en más puntos o recorrer más distancias de su ruta original de recolección.

El artículo 115 constitucional en su párrafo tercero (constitución mexicana), delega a los municipios la responsabilidad de administrar y otorgar a la población servicios públicos y en el inciso C de dicho párrafo se define concretamente la obligación de los servicios de limpia.

Así también la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos (Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003), en su artículo 10 ratifica las funciones de los municipios sobre el manejo integral de residuos sólidos urbanos.

Por lo cual, la limpieza de las ciudades, así como el manejo de los residuos sólidos, es una obligación del municipio que debe llevar a cabo, sin importar el tamaño de su población y la extensión territorial por lo que las deficiencias anteriores se ven aunadas a esta falta de compromiso de los municipios con la población para brindarles este servicio público.

Para los gobiernos municipales los aumentos anuales en la cantidad de generación de RSU representan una preocupación importante, porque aparte de no contar con los suficientes recursos económicos, tampoco disponen de una buena planeación para ampliar su cobertura adecuadamente y con menores costos además ellos son los responsables del manejo integral de RSU, que incluye actividades como la reducción de la fuente, separación, reciclaje, almacenamiento, transporte y disposición final (LGPGIR, 2003).

Un ejemplo de esto es el municipio de Nezahualcóyotl en el cual se estima que actualmente se generan 1200 toneladas de residuos sólidos diariamente (dato del sitio oficial del municipio), los cuales son recolectados por el servicio de recolección a cargo del municipio, así como por concesionarios particulares.

Ante tal situación el municipio realizó en los últimos años una sectorización del municipio, con el fin de brindar un servicio a la ciudadanía más eficiente, asegurando que la distribución de éstas sea equitativa pero también viable desde el punto de vista económico sin embargo en algunos puntos del municipio la eficiencia no ha llegado hacer la suficiente

Se eligió como zona de estudio este municipio porque está ubicado en la zona centro del país y en uno de los estados con mayor producción de RSU, que de acuerdo con el Informe de la Situación del Medio Ambiente en México de 2012, el Estado de México ocupa el primer lugar a nivel nacional de producción de RSU con un 16%, además Nezahualcóyotl es el segundo municipio con mayor población de este estado, después de Ecatepec de Morelos, con un total de 1,110,565 habitantes con base en datos del censo de población 2010, además según índices del INEGI en su reporte de 2011 sobre recolección de residuos sólidos urbanos, Nezahualcóyotl generaba 829 toneladas diarias, pero en el sitio oficial del municipio en 2014, reportan un promedio de 1,200 toneladas: Lo que indica un índice per cápita de 1.08 kg/día, el cual se encuentra por encima de la media nacional mencionada anteriormente.

También cabe mencionar que de acuerdo con datos de INEGI y CONAPO, se espera que para el año 2030 se generen aproximadamente 1,853 toneladas diarias, lo que representa 676,474 toneladas anuales, de las cuales se dispondrán 516,749 lo que corresponde a un volumen total anual de 966,392 m³ .

Además el análisis se centra en área oriente de la zona norte de Nezahualcóyotl porque en esta zona la presencia de triciclos y particulares en la recolección es aproximadamente de un 100% lo cual no permite hacer una recolección eficiente, además de que la ocupación de algunas calles en esta zona por parte de los triciclos, para la separación de reciclables así como el congestionamiento que provoca su circulación por las vialidades principales, aunado a esto el descontento de la población en esta zona es mayor en comparación con las otras, además esta zona es la más alejada de los tiraderos por lo cual se infiere que el traslado de residuos es mayor y si le sumamos el mal diseño de rutas la eficiencia del sistema estaría por debajo de un 50%.

Justificación

En las últimas décadas han generado grandes cambios en México en el tema de los residuos sólidos puesto que de 1950 a 2011 la generación per cápita se triplicó pasando de 300 g a 900 g y en nuestros días casi de 1 kg promedio diario.

Pero este problema es más frecuente en zonas urbanas donde la tasa de población es muy alta y el poder adquisitivo también y esto asociado a una alta producción económica de bienes y servicios, productos entre otras cosas provocó que la “basura” fuera un problema al por que los municipios no tienen la capacidad para recolectarla toda de forma eficiente como vemos actualmente sólo el 43% de las ciudades medias del país realiza un diseño de rutas a través de un método técnico para llevar a cabo la recolección

Aunado a esto en nuestro país es cada vez más frecuente observar la acumulación de basura alrededor de ciudades, carreteras, caminos rurales y cuerpos de agua superficiales, a tal grado que se ha calculado que una persona contamina hasta 4 veces más el ambiente por los residuos que genera, que por las aguas negras que desecha (SEDESOL).

Siendo la recolección de los residuos sólidos urbanos, la principal etapa en el manejo integral de los RSU, enfrenta grandes retos para tener un eficiente desempeño y algo que lo limita es, el desconocimiento por parte de los encargados del sistema de limpia, sobre el conocimiento de alternativas y estrategias para la elaboración de rutas de recolección y formas de disposición de la basura que se genera en zonas urbanas.

En México el sistema más usado para el diseño de rutas ha sido con base al juicio y experiencia del jefe de limpia o de los chóferes de los vehículos recolectores. Es claro que este método, no es siempre el mejor, por lo cual la mayoría de las rutas de recolección diseñadas de esta forma, tienen un bajo desempeño en su operación y funcionamiento.

Este mal diseño de rutas trae graves daños al sistema de recolección, entre los que se pueden citar los siguientes: (SEDESOL 1999)

- Deficiente operación y funcionamiento del equipo.
- Baja eficiencia del personal.
- Reducción de las coberturas del servicio de limpia.
- La proliferación de tiraderos clandestinos a cielo abierto en diferentes puntos de la ciudad.
- Enfermedades por contaminación de aire y suelo
- Creación de grupos de particulares que recolectan los residuos
- Proliferación de fauna nociva
- Entre otros

Objetivos

General

- Diseñar una propuesta para las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos en el área oriente de la zona norte de Nezahualcóyotl, que permita una mayor cobertura de limpia y un óptimo desempeño maximizando los beneficios para la población.

Particulares

- Identificar la problemática del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos
- Conocer el tratamiento que se le da al sistema de recolección de residuos sólidos urbanos
- Realizar un diagnóstico del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en la zona de estudio del municipio de Nezahualcóyotl.
- Estimar el volumen de generación de residuos sólidos urbanos en el municipio de Nezahualcóyotl.
- Analizar la distribución de la generación de residuos sólidos del área oriente de la zona norte de Nezahualcóyotl empleando un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- Diseñar rutas de recolección de residuos sólidos urbanos mediante el uso de herramientas y métodos.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Residuos sólidos

En la literatura existen diferentes definiciones para el término Residuo Sólido (RS), (tabla 1). Algunas fuentes concuerdan en que son materiales sobrantes de un proceso, susceptibles o no de convertirse en basura.

<i>Fuente</i>	<i>Definición</i>
LGEEPA, 2012 ¹	Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.
LGPGIR, 2012 ²	Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.
LRSDF, 2003 ³	El material, producto o subproducto que se descarte o deseche y que sea susceptible de ser aprovechado sujetándose a métodos de tratamiento o disposición final.

Tabla 1 Definiciones de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia con definiciones de LGEEPA (2012), Ley General de Equilibrio Ecológico y Proyección al Ambiente, México. LGPGIR. (2012). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Cámara de Diputados. México. LRSDF. (2012). Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Asamblea legislativa del Distrito Federal III legislatura, México

En México se generan 102,895 ton/día de residuos sólidos (INECC/SEMARNAT, 2013), más de 34 millones de ton/año, lo que se ha convertido en un problema por el manejo deficiente, tratamiento escaso e inadecuada disposición final.

2.1.1 Clasificación

Los residuos sólidos están clasificados con diferentes criterios:

- Su origen
- Composición
- tiempo que tardan en degradarse

¹ Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente

² Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos

³ Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal

De acuerdo a su origen y composición

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2012), los clasifica en:

Residuos peligrosos (RP). Son residuos que tienen alguna de las características CRETI-B (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o agentes biológico-infecciosos) que les atribuyen peligrosidad; así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan estado expuestos a contaminarse con estos residuos al ser transferidos a otro sitio en los términos dispuestos en la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2006 (SEMARNAT, 2006).

Dependiendo a la cantidad que generan los residuos peligrosos la LGPGIR, 2012 los clasifica en:

Micro generador: Establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta 400 kg de residuos peligrosos al año. **Pequeño generador:** Persona física o moral que genere una cantidad igual o mayor a 400 kg y menor a 10 Ton en masa total de residuos al año. **Gran generador:** Persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a 10 Ton en masa total de residuos al año.

Residuos sólidos urbanos (RSU). Son aquellos generados en las casas habitación que se derivan de la eliminación de residuos utilizados en las actividades domésticas, provenientes de envases o embalajes principalmente de productos de consumo. Los procedentes de alguna actividad en la vía pública o algún establecimiento que genere residuos con características domiciliarias, incluyendo los de limpieza de vías públicas.

Residuos de manejo especial (RME). Son aquéllos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como residuos sólidos urbanos o peligrosos. Los residuos que son considerados de manejo especial son los producidos en cualquier actividad relacionada con la extracción, transformación, utilización o procesamiento de materiales para brindar servicios o bienes y que no reúnan características de peligrosidad

De acuerdo con el tiempo que tardan en degradarse

Los residuos relacionados con su tiempo de degradación se clasifican de la siguiente forma:

Orgánicos. Residuos de origen biológico que se degradan entre 3 a 4 semanas (SEMARNAT, 2012). Por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras, residuos de la fabricación de alimentos, etc. (Deffis, 1994).

Inorgánicos. Sustancias o productos que se desintegran lentamente. Por ejemplo: el vidrio que tarda 4,000 años; plástico, de 100 a 1,000 años; latas de aluminio, 10 años, el chicle, aproximadamente 5 años (SEMARNAT, 2012), incluyendo algunos orgánicos como la madera o el hueso que tardan más de 4 semanas en degradarse.

2.1.2 Gestión de residuos sólidos

La gestión actual de residuos sólidos, contempla las etapas de generación, en algunos casos separación (orgánica e inorgánica), almacenamiento, recolección y transporte, transferencia, tratamientos y disposición final (figura 4).

A continuación se presenta una descripción breve de cada una de las etapas

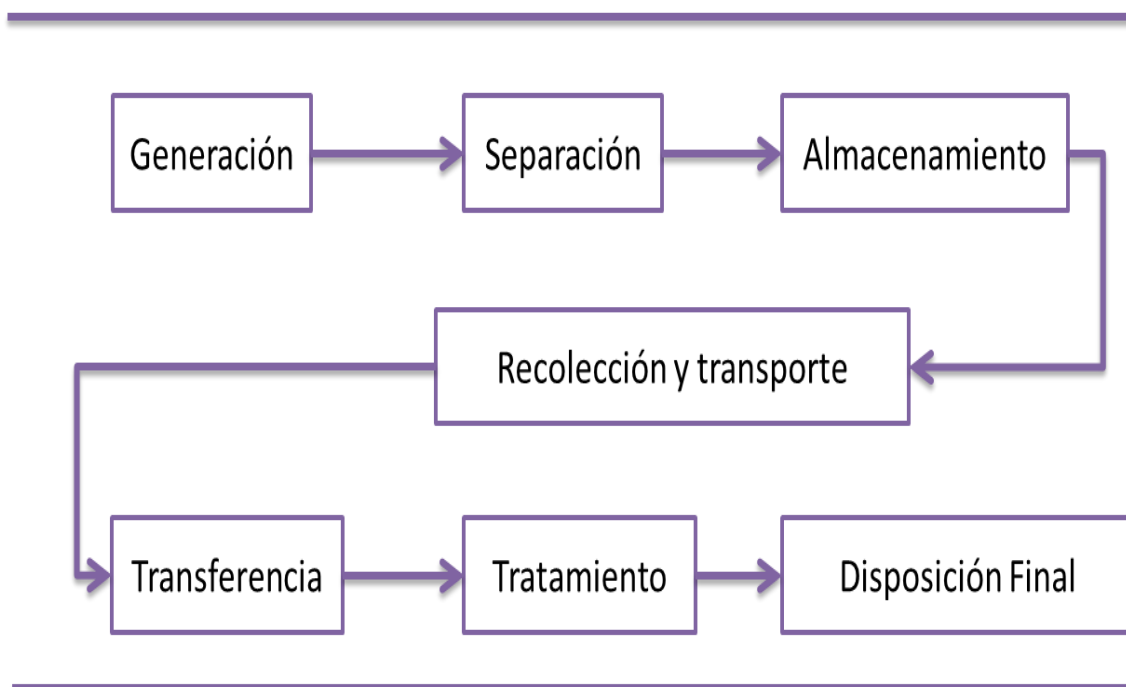


Figura 4 Etapas de la gestión de RSU

Fuente: elaboración propia

Generación

Es la acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo (LGPGIR, 2012). La generación de residuos está presente en todas nuestras actividades diarias (el hogar, la industria, el comercio), empieza con el uso de un producto y termina cuando ese producto lo consideramos sin valor y lo desecharmos.

Separación

Se refiere a la clasificación de los residuos dependiendo del tipo que sean, la separación primaria es la acción de segregar los residuos en orgánicos e inorgánicos y la separación secundaria en la acción de segregar entre los inorgánicos y realizar la valorización adecuada (LGPGIR, 2012).

Almacenamiento

La acción de retener temporalmente los residuos en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección o se dispone de ellos.

Debido a que los residuos que se producen no se pueden eliminar de inmediato, se requiere de un tiempo, un depósito y un lugar adecuados para mantenerlos mientras se espera que sean evacuados o retirados.⁴

Recolección y transporte

Tiene como objeto primordial preservar la salud pública mediante la recolección de los residuos en todos los centros de generación y transportarlos al sitio de tratamiento y/o disposición final, de la manera más sanitaria posible, eficientemente y con el mínimo costo.

La recolección se realiza de forma selectiva (residuos orgánicos e inorgánicos) o en forma mixta (residuos revueltos), a nivel nacional se realiza el 9.11% de recolección selectiva y el 74.82% de recolección mixta; el porcentaje restante no se colecta. En el Censo Nacional del INEGI del 2012, se menciona que la recolección selectiva de la zona centro sólo equivale al 14.68% (INECC/SEMARNAT, 2013).

Transferencia

Se aplica el término estación de transferencia a las instalaciones en donde se hace el traslado de desechos de un vehículo recolector a otro vehículo con mucha mayor capacidad de carga. Este segundo vehículo, o transporte suplementario, es el que transporta los desechos hasta su destino final.⁵

Tratamiento

Se enfoca en el aprovechamiento de los residuos sólidos antes de que sean contaminados y pierdan su valor, los tratamientos se realizan para obtener beneficios económicos o energéticos mediante métodos físicos, químicos o biológicos de transformación.

Los métodos físicos de transformación son los que no presentan cambio de fase (por ejemplo de sólido a gas), buscan la separación o la reducción del volumen, la transformación química presenta cambio de fase para poder reducir el volumen y recuperar energía; los de transformación biológica buscan la reducción del volumen y la masa del material, los organismos implicados son bacterias, hongos y levaduras (Tchobanoglous, 1994).

⁴ SEDESÓL (2001). Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales D.F. México

⁵SEDESÓL (2001). Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales D.F. México

La aplicación de un tratamiento en particular dependerá de la zona, la cantidad y el tipo de residuos que se genere. Se puede aplicar un tratamiento o la combinación de varios de ellos para el mejor aprovechamiento.

Disposición final

Es un lugar destinado para depositar los residuos que no tuvieron ningún valor, evitando daños a los ecosistemas y propiciando su integración al ambiente. En México los sitios de disposición final regulados por normatividad son los rellenos sanitarios⁶, ubicados en lugares en donde no provocan riesgos ni molestias a la población.

El 78.54% del total de residuos generados en México son destinados a disposición final, el 60.54% se depositaron en rellenos sanitarios y sitios controlados y el 15.93% se llevó a tiraderos de cielo abierto o sitios sin ningún control (INECC/SEMARNAT, 2013).

2.2 Métodos de recolección⁷

Los métodos de recolección pueden variar de región a región, no se tienen parámetros que determinen cuál es el mejor en términos de hacer más eficiente las actividades de recolección. Entre los más comunes se tiene “de parada fija”, “de acera” y “de contenedores”

Las características de cada uno de estos métodos se describen con más detalle a continuación.

2.2.1 Método de parada fija o de esquina

Este método consiste en recoger los residuos en las esquinas de las calles, en donde previamente por medio de una campana se comunica la llegada del camión y los usuarios acuden a entregar sus residuos. Este método debe tener un horario y una frecuencia cumplida, y los residentes deben estar informados de ello, para sacar sus bolsas con residuos en el momento adecuado.

La cuadrilla del vehículo debe estar integrada por al menos un chofer y dos peones, los cuales se encargarán de ir recogiendo las bolsas plásticas con los residuos y depositarlas en el vehículo

⁶ Un relleno sanitario es un método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo, de tal manera que proteja el ambiente, mediante el extendido de los residuos en capas delgadas, compactándolas y cubriéndolas con tierra diariamente (Pérez, 2008).

⁷ SEDESÓL (2001). Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales D.F. México

El chofer de cada camión tiene como obligaciones cumplir con las rutas, horarios y frecuencias que se le hayan asignado, así como accionar el mecanismo de compactación cada vez que sea necesario.

El método de parada fija es de los más comunes y económicos, sin embargo cuando no hay quien tire la basura, ésta puede acumularse en exceso y ser arrojada clandestinamente.

2.2.2 Método de acera

Consiste en que simultáneamente al recorrido del camión por su ruta, los “peones” de la cuadrilla van recogiendo los residuos, previamente colocados por los residentes en el frente de sus casas. Este método debe tener un horario y una frecuencia cumplida, y los residentes deben estar informados de ello, para sacar sus bolsas con residuos en el momento adecuado evitando así que los perros u otros animales rompan las bolsas y derramen los residuos cuando se colocan con demasiada anticipación al paso del vehículo.

Con este fin, pueden instalarse soportes con canastillas metálicas para colocar las bolsas lejos del alcance de los animales. La cuadrilla del vehículo debe estar integrada por al menos un chofer y dos peones, los cuales se encargarán de ir recogiendo las bolsas plásticas con los residuos y depositarlas en el vehículo, cada peón tendrá a su cargo una acera. El chofer de cada camión tiene como obligaciones cumplir con las rutas, horarios y frecuencias que se le hayan asignado, así como accionar el mecanismo de compactación cada vez que sea necesario.

Los residentes de la vivienda tienen como única obligación el colocar sus residuos en el frente de su casa, preferentemente protegidos en la forma ya indicada.

2.2.3 Método de contenedores

La recolección mediante contenedores, requiere de empleo de camiones especiales y que los contenedores estén ubicados en forma accesible al vehículo recolector.

Es un método ideal para centros de gran generación de basura; hoteles mercados, hospitales, industrias, tiendas de autoservicio, entre otros, exige que la recolección se haga con la debida oportunidad, ya que de lo contrario puede ocasionar focos de contaminación, al mantener almacenados grandes cantidades de residuos, en diferentes sitios de la ciudad.

2.3 Estimación de la generación de RSU⁸

En el desarrollo de rutas de recolección es determinante conocer la generación de residuos en la zona de estudio, estos datos serán la demanda del servicio.

Además existen otros factores importantes que determinan el nivel de generación de residuos de una región⁹

- I. Ingreso: Se ha observado en la práctica que ha mayor ingreso, mayor es la tasa de producción per cápita de RSU.
- II. Crecimiento poblacional: A mayor tasa de crecimiento, mayor será la generación.
- III. Composición de los RSU: Con los cambios en los hábitos de consumo y producción, la composición de los materiales desechados varía a través del tiempo.
- IV. Estacionalidad: es común encontrar una mayor o menor generación de residuos, dependiendo de la época del año, por ejemplo en ciudades turísticas existirá mayor generación durante periodos vacacionales.

2.3.1 Procedimientos para la estimación de la generación de residuos.

En relación a lo comentado anteriormente, el CEPEP propone tres procedimientos para estimar la generación de residuos, el uso de cada uno dependerá de la información disponible:

Recopilación de la información histórica de la cantidad de residuos generados.

A partir del histórico de datos sobre generación de residuos es posible estimar la cantidad de éstos, mediante la siguiente expresión:

$$GPRSt \left(\frac{\text{kg}}{\text{persona-día}} \right) = \frac{TA \text{ (toneladas/ año)} * 1000 \text{ (kg/ tonelada)}}{Pt(\text{personas}) * 365 \text{ (días/ año)}}$$

dónde:

TA = Toneladas generadas por año

Pt = Número habitantes para el año en cuestión

⁸ Omar Rivas Martínez (2015). Tesis de Maestría en Ingeniería (Transporte) titulada: "Propuesta de mejora para la recolección de residuos sólidos urbanos (RSU), en la delegación la Magdalena Contreras", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México

⁹ Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación de Socioeconómica de Proyectos CEPEP, 2008

Estimación de acuerdo con la capacidad actual del sistema de recolección.

Cuando no existe registro sobre la generación de residuos, es posible utilizar la capacidad del sistema de recolección para la estimación. Por lo anterior resulta necesario efectuar algunas observaciones en campo a fin de reunir la siguiente información:

$$GPRSt \left(\frac{\text{kg}}{\text{persona-día}} \right) = \frac{\sum V (\text{viajes / año}) * C (\text{tonelada / viaje}) * O (\%) * 1000 (\text{kg / tonelada})}{P (\text{personas}) * 365 (\text{días / año})}$$

Número de viajes (V). Número de viajes realizados por camión en determinado periodo (semana, mes, año).

Capacidad de los camiones (C). Se debe conocer el volumen de carga del camión (m^3), así como la compactación promedio que éste tenga ($\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$).

Ocupación promedio del camión (O). Corresponde al porcentaje de capacidad utilizado en un periodo de tiempo. Este porcentaje depende del periodo de tiempo empleado, puede ser semanal, mensual o anual. Es recomendable considerar el fenómeno de estacionalidad.

Personas (P). Número de personas con el servicio de recolección.

Considerando una estimación anual, la información anterior se integra en la siguiente fórmula:

Estimación con visita de campo a los sitios de disposición de RSU.

Cuando no se cuenta con registros sobre la generación de residuos y tampoco existen sistemas de recolección, ninguno de los procedimientos anteriores puede utilizarse. En este caso, se debe realizar un trabajo de campo en el que se visite a hogares, comercios y servicios con la finalidad de verificar la cantidad de RSU que generan.

Lo que se recomienda es consultar la norma "NMX-AA-061-1985: determinación de la generación de residuos sólidos municipales", en ella se plantea un proceso para determinar la generación de RSU por habitante y por día.

2.4 Microruteo¹⁰

Se denomina microruteo al recorrido específico que deben realizar diariamente los vehículos recolectores de residuos sólidos, en los sectores de la ciudad donde han sido asignados.

En general la distribución de rutas involucra una serie de dificultades dado que no es un hecho trivial, el designar la ruta óptima a seguir entre dos puntos determinados, considerando las restricciones que esto conlleva, si se toma en cuenta el método de recolección, las vialidades existentes, los horarios, entre otros.

En la actualidad existen diversos métodos y consejos para tratar de encontrar la mejor ruta posible, que cumpla con los objetivos y las restricciones de cada caso.

En general los métodos determinísticos son los más recomendables para el diseño de microrutas. Dos de los más importantes métodos determinísticos son:

- Algoritmo para resolver el problema del agente viajero.
- Algoritmo del cartero chino.

El primero se aplica en los casos en que la demanda es discreta; el segundo, es ideal para los casos en que la demanda es continua o semicontinua.

El del agente viajero suele ser utilizado cuando el método de recolección de residuos sólidos es exclusivamente de esquina o parada fija; mientras que con el algoritmo del cartero chino cuando la ciudad cuente con un método de recolección tipo acera o intradomiciliaria.

2.4.1 Métodos heurísticos¹¹

Algunos lineamientos heurísticos que deberían ser tomados en consideración cuando se planean las rutas de recolección, son las siguientes:

- Existencia de políticas y regulaciones relativas a detalles como el punto de recolección y la frecuencia de recolección.
- Características de los vehículos como son el tamaño del equipo y el tipo de camión que deben ser coordinados.
- Cuando sea posible, las rutas deben ser planeadas para comenzar y terminar cerca de calles arteriales, usando barreras topográficas y físicas como fronteras de las rutas.
- En áreas de colina, las rutas deben comenzar en la parte alta y continuar colina abajo, de tal manera que, cuando el camión esté totalmente cargado no tenga necesidad de ir cuesta arriba.

¹⁰ SEDESÓL (1999). Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales D.F. México

¹¹ SEDESÓL (1999). Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales D.F. México

- Las rutas deben ser planeadas para que el último contenedor a ser recolectado en la ruta esté localizado lo más cerca del sitio de disposición final.
- Los desechos generados en las localidades de tráfico congestionado, deberían ser recolectados lo más temprano del día que sea posible, o en un horario en el que el tráfico afecte lo menos posible el recorrido del vehículo.
- Las fuentes en las cuales cantidades extremadamente grandes de desechos sean generados, deben ser servidas durante la primera parte del día.
- En puntos dispersos, en donde pequeñas cantidades de desechos sólidos son generados y que reciben la misma frecuencia de recolección, deberán, si es posible, ser servidos durante un viaje o en el mismo día.

2.4.2 Problema del cartero chino

El problema del cartero chino, también conocido con otros nombres como problema del circuito del cartero, es el primer problema de rutas por arcos el cual plantea un circuito euleriano con coste óptimo.

El matemático chino Kwan Mei-Ko fue el primero en plantearlo en un artículo de un diario chino en 1960 y traducido al inglés en 1962. Debido a su autor, Alan Goldman sugirió llamarlo "problema del cartero chino". Lo que Mei-Ko planteaba era el problema al que se enfrenta el cartero para repartir la correspondencia recorriendo la menor distancia posible, que matemáticamente consiste en encontrar una ruta en el grafo de longitud mínima, sin embargo, el problema original dio lugar a multitud de variantes.

Una de las primeras soluciones fue la que Edmonds y Johnson dieron los cuales probaron que si el grafo asociado al problema es dirigido o no dirigido, puede ser resuelto en tiempo polinomial.

Este problema se utiliza cuando el método de recolección exige pasar por todas las calles.

El primer paso para determinar una ruta en una red no dirigida es especificar si la red es o no par; una red par es aquella en la que el número de arcos que inciden a todo nodo es par. Si alguno de los nodos tiene un número de arcos incidentes impar, entonces se dice que la red no es par.

En una red par se puede encontrar una ruta por la que se transite una sola vez en cada arco. Dicha ruta se denomina ruta Euleriana o de Euler.

Para encontrar en una red par la ruta de Euler: los arcos se dividen en dos conjuntos, aquellos que no han sido usados y el resto. Una ruta se construye transfiriendo arcos del último conjunto al primero. Inicialmente, todos los arcos están en el segundo. Empezando con el origen de la ruta deseada, cualquier arco no usado a este nodo incidente se selecciona. Este arco se convierte en usado; el proceso se repite, encontrando un arco que no ha sido usado en el nodo terminal que une el arco usado y el proceso continúa, hasta que el origen se alcanza. ¹²

^{12 13} SEDESÓL (1999). Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales D.F. México

Algoritmo para arcos no dirigidos¹³

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.

1. Encuentre cualquier arco entre t y q (otro nodo) que no ha sido usado. Úselo y agréguelo a U . Haga $t=q$.
2. Si t es igual a s , haga el paso 3; de otra manera regrese al paso 1.
3. 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.

Cuando tenemos una red que no es par, entonces algunos arcos deben transitarse más de una vez. El objetivo es seleccionar aquellos que hagan la distancia total recorrida mínima. 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.

Para encontrar el mejor de estos conjuntos, pongamos primero la atención en los nodos de orden impar. Puesto que cada visita a un nodo requiere el uso de dos arcos es evidente que al menos uno de los arcos que terminan en un nodo impar deberá usarse dos veces. De modo que la primera parte del método es encontrar todos los nodos de orden impar y entonces encontrar la distancia más corta entre ellos.

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.

1. Usando la matriz D de longitudes de los arcos las distancias más cortas entre los miembros de S , usando un método de ruta más corta entre los dos nodos.
2. 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^* .
3. Encuentre la ruta de Euler en (N, A^*) que es una gráfica no dirigida par.

Algoritmo para arcos dirigidos¹⁴

En una gráfica con arcos dirigidos existen dos situaciones que sus nodos sean pares o impares si son pares se dice que es simétrica y la forma de resolverlo es con el mismo algoritmo con arcos no dirigidos. Cuando la gráfica no es simétrica se tendrá que repetir algunos arcos para realizar una ruta y por lo cual será necesario realizar el cálculo de cuantas veces se debe usar cada arco.

Para determinar la ruta de longitud mínima en una gráfica dirigida cualquiera

1. Para cada nodo i de la red (N,A) , calcule $Y_{(i)}$ = al número de arcos que salen de i – el número de arcos que entra a i . si $Y_{(i)} = 0$ para todo i , vaya a paso 3
2. Para cada arco (i,j) en A , haga la cota inferior $l_{(i,j)}=0$ y la cota superior $u_{(i,j)}= \infty$ y el costo $C_{(i,j)}$ igual a longitud del arco. Agregue un nodo r y los siguientes arcos: para todo nodo i con $Y_{(i)}>0$, haga un arco (r,i) con $l_{(r,i)}= u_{(r,i)}= Y_{(i)}$ y $C_{(r,i)}=0$. Para todo i con $Y_{(i)}<0$, haga un arco (r,i) con $l_{(r,i)}= u_{(r,i)}= |Y_{(i)}|$ y $C_{(r,i)}=0$. Resuelva el problema de flujo a costo mínimo en esta grafica asociada, con los costos y restricciones dados arriba, con flujos resultantes $X_{(i,j)}$ en el arco (i,j) . agregue $X_{(i,j)}$ copias del arco (i,j) a la Red aumentada (N,A^*) .
3. Encuentre una ruta a la red dirigida (N,A^*) con el algoritmo para arcos no dirigidos considerando en el primer paso el arco seleccionado vaya de t a q .

Suposiciones en que se basan estos algoritmos.

- a) Los costos unitarios de transportación son independientes de la cantidad de residuos sólidos transportados.
- b) Se cuenta con un número óptimo de sitios de disposición final o de estaciones de transferencia.
- c) La generación de residuos sólido es fija, no variable y siempre fijada en un sitio.
- d) No existen restricciones de capacidad en el sitio de disposición final o estación de transferencia al aceptar los residuos sólidos recolectados.
- e) El tiempo en que la solución óptima es aplicable es limitado (o en otras palabras no está incluido el factor tiempo en la formación del algoritmo).

¹⁴ Miguel Ángel Gutiérrez Andrade (1988) Tesis de Maestría en Ingeniería (Investigación de operaciones) titulada: " El problema del cartero chino y sus extensiones", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México

2.4.3 Problema del agente viajero (TSP)¹⁵

El modelo consiste en visitar “n” ciudades en un sólo recorrido, comenzando y terminando en la misma ciudad, visitando solamente una vez cada una de éstas, teniendo un recorrido con costo mínimo, este costo puede estar expresado en tiempo, distancia, combustible entre otros. El problema del agente viajero se puede modelar fácilmente mediante un grafo completo en donde los nodos representan las ciudades y los arcos son los caminos, dichos arcos deben tener una ponderación o valor atribuido.

El modelo matemático del TSP es el que se muestra a continuación:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se visita a la ciudad } j \text{ después de visitar la ciudad } i \\ 0 & \text{si no se visita a la ciudad } j \text{ después de visitar la ciudad } i \end{cases}$$

c_{ij} = el costo asociado a la visita de la ciudad j después de visitar la ciudad i

El modelo se representa de la siguiente manera:

$$\min Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a

$$\sum_{i=1} x_{ij} , \quad \forall i \quad i \neq j \quad (1)$$

$$\sum_{i=1} x_{ij} , \quad \forall j \quad j \neq i \quad (2)$$

$$\sum_{(ij) \in A} x_{ij} \geq 1 , \quad S \subset V , \quad i \in S , \quad j \in \frac{V}{S} \quad (3)$$

La función objetivo (1) indica que el costo total de la solución es la suma de los costos de todos los arcos utilizados. Las restricciones (2) y (3) indican que se debe visitar cada nodo una sola vez, y la última en particular, llamada restricción de eliminación de subrecorridos, indica que todo subconjunto de nodos S debe ser visitado al menos una vez.

¹⁵ Omar Rivas Martínez (2015). Tesis de Maestría en Ingeniería (Transporte) titulada: “Propuesta de mejora para la recolección de residuos sólidos urbanos (RSU), en la delegación la Magdalena Contreras”, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México

Métodos de solución

Para el cálculo del problema del agente viajero se han desarrollado múltiples formas de resolución para mejorar la eficiencia en el cálculo de rutas. El método básico es el conocido con el nombre de fuerza bruta, que consiste en el cálculo de todos los posibles recorridos, lo cual es demasiado ineficiente y en redes de gran tamaño tiende a hacer casi imposible.

También existen métodos heurísticos que se han desarrollado para el cálculo de soluciones óptimas en redes robustas, es por ello que existen métodos como el vecino más cercano, la inserción más barata y el doble sentido.

Por último existen los algoritmos que proporcionan soluciones óptimas, como el método de branch and bound (ramificación y poda), que trabaja el problema como un algoritmo de asignación y lo resuelve por medio del método simplex.

2.5 Sistemas de Información Geográfica (SIG) ¹⁶

Actualmente existen definiciones que pretenden explicar a los Sistemas de Información Geográfica. Sin embargo, dado que en el presente trabajo serán éstos una herramienta que facilite algunas acciones, bastará con recurrir a aquellas que orienten de manera muy general sobre la tecnología que implican los SIG.

Un SIG es un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de toda la información geográfica y sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Mena, 2007).

Otra definición es que un SIG es un sistema de hardware, software, y procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelación, y representación de datos georreferenciados espacialmente para la resolución de problemas de planificación y gestión (Gutiérrez, 2000)¹⁷.

En diversas ocasiones se confunde a un SIG como un sistema de computadoras para crear mapas, o una herramienta para almacenarlos en forma de imágenes o algunos otros formatos y en parte es cierto la diferencia es que lo hace de manera que se permita un análisis sobre los mismos además un SIG más que almacenar mapas, almacena datos para

¹⁶ Omar Rivas Martínez (2015). Tesis de Maestría en Ingeniería (Transporte) titulada: "Propuesta de mejora para la recolección de residuos sólidos urbanos (RSU), en la delegación la Magdalena Contreras", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México

¹⁷ Gutiérrez, hace referencia a la definición del "National Center for Geographic Information and Analysis",

combinarlos de manera metodológica y generar una solución a un problema que implique dichos datos.

En la descripción hecha por David Rhind sobre este tema, aclara que los Sistemas de Información Geográfica son herramientas que auxilian determinantemente en los siguientes aspectos:

Ubicación

Selección de un lugar en específico, representación espacial y descripción de éste.

Condición

Introducción de restricciones o condiciones que delimitan el espacio de estudio, establecimiento de características específicas.

Tendencia

Conocer los cambios suscitados como consecuencia del transcurrir del tiempo en el lugar.

Ruteo

De ser necesario, el camino más corto puede hallarse bajo la exigencia de simples operaciones.

Pautas

Es posible, bajo esta cualidad, detectar algunos patrones dentro de zonas de estudio, patrones relacionados con eventos de interés por parte del profesionalista.

Modelado

Se halla en relación directa con la formulación de escenarios y para conocer los posibles comportamientos que podrían esperarse en una región. Responde a la pregunta ¿qué pasaría si? (Rhind, 87).

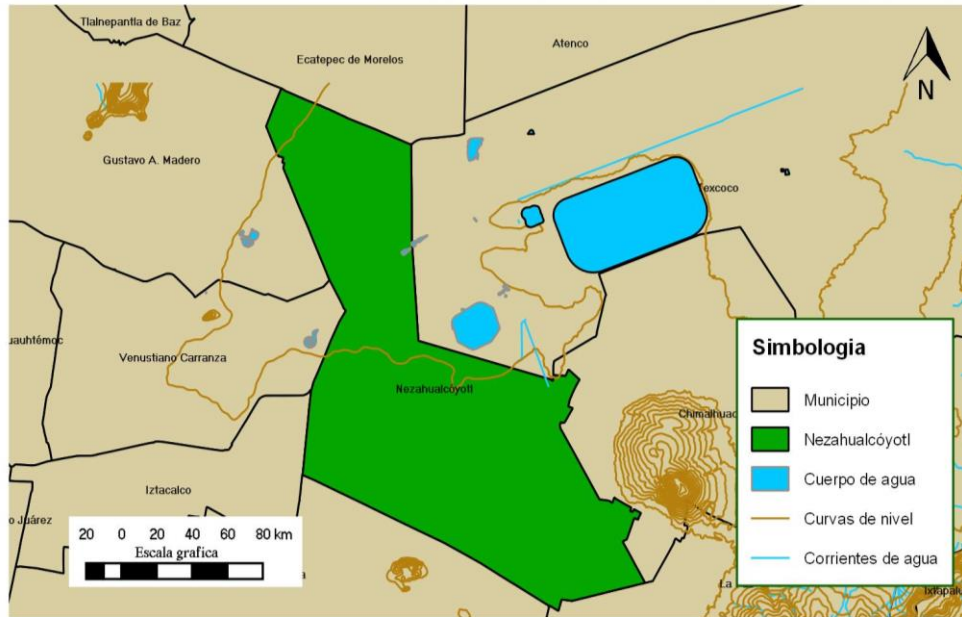


Figura 6 Curvas de nivel y corrientes de agua en Nezahualcóyotl

Fuente: INEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México

3.1.1 Población

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su último Censo de Población y Vivienda de 2010, reportó que el municipio de Nezahualcóyotl cuenta con 1,110,565 habitantes distribuidos en 7 localidades. Asimismo, el número de viviendas particulares habitadas asciende a 285,027 con un promedio de 3.9 habitantes por vivienda. La zona urbana está creciendo sobre terrenos previamente ocupados por pastizales y áreas sin vegetación.

De acuerdo con los datos históricos y las proyecciones realizadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), la población de Nezahualcóyotl ha mostrado, de 1990 a 2010, una tasa promedio anual de crecimiento del -0.6%. Asimismo, las proyecciones sugieren que del año 2010 al 2030, el municipio tendrá una tendencia de crecimiento de su población a una tasa promedio anual de 0.8 %

	1990	2000	2010 ^P	2020 ^P	2030 ^P
Nezahualcóyotl	1,256,115	1,225,972	1,139,517	1,231,478	1,334,201
México	3,210,496	3,920,892	15,571,679	18,075,065	20,167,433
República Mexicana	81,249,645	97,483,412	114,255,555	127,091,642	137,481,336

Tabla 2 Población histórica y proyectada de Nezahualcóyotl, México y República Mexicana

Fuente: Elaborada con datos del INEGI y CONAPO / P Proyectada

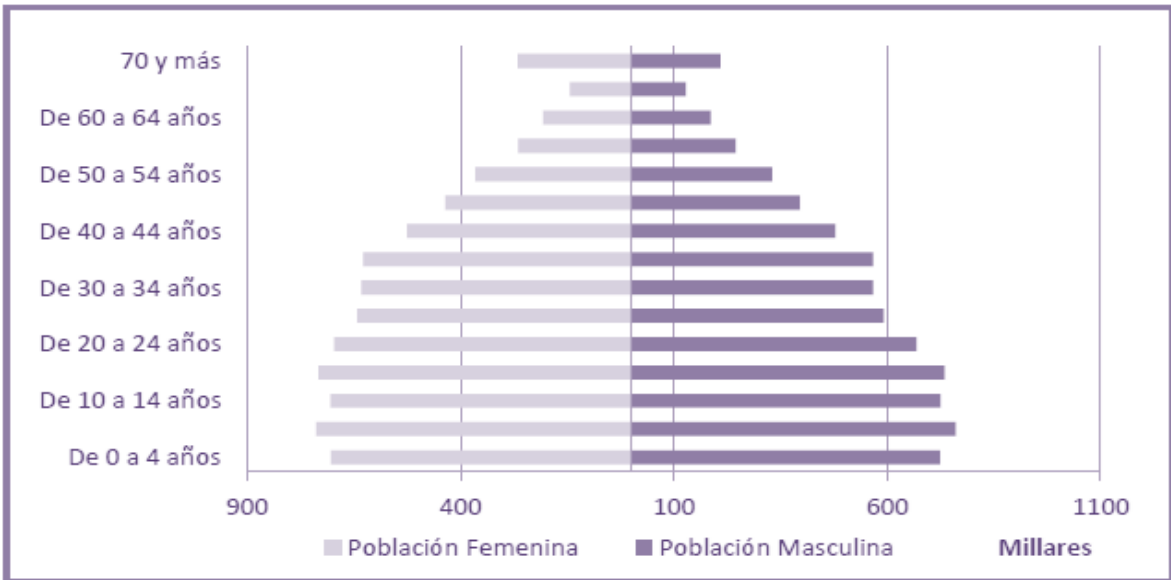


Tabla 3 Pirámide Poblacional de Nezahualcóyotl, 2010

Fuente: Elaborada con datos del Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI

En lo que respecta a la distribución de la población por grupos de edades, se puede apreciar, que la población del municipio es predominantemente joven, puesto que en el año 2010 las personas de entre 0 y 24 años de edad representaron el 47.3 % del total de la población del municipio de Nezahualcóyotl.

3.1.2 Marginación y desarrollo humano

La población del municipio tiene un índice de marginación (IM) de -1.66096 que equivale a 8.90422 en una escala de 0 a 100, donde valores inferiores del índice son reflejo de una menor marginación y los superiores de una mayor presencia de marginación. En este sentido, Nezahualcóyotl posee un grado de marginación muy bajo, que lo coloca en el lugar 114 de 125 a nivel estatal y en el 2,375 de 2,456 a nivel nacional.

Grado de Marginación	Número de localidades	Población	Índice de Población
Muy Bajo	1	1,104,585	0.995
Alto	2	2,573	0.002
Muy Alto	1	64	0
No especificado	3	3,327	0.003
Total	7	1,110,549	1

Tabla 4 Número de localidades y población según su grado de marginación, 2010

Fuente: datos del INEGI y CONAPO / P Proyectada

Al realizar un análisis a nivel de las localidades, se puede apreciar que el 99.5% de la población habitan en una localidad donde el grado de marginación es catalogado como muy bajo

3.1.3 Recolección de residuos sólidos urbanos

De acuerdo con los datos del cuestionario ampliado del Censo de Población y Vivienda 2010, el principal método para la eliminación de basura en Nezahualcóyotl en dicho año fue la recolección domiciliaria con el 96.93% y el resto de las opciones representaban 2.97%

Método de Eliminación	Proporción de Viviendas
La recoge un camión o carrito de basura	96.9%
La tiran en el basurero público	0.6%
La tiran en un contenedor o depósito	0.1%
La queman	1.5%
La entierran	0.3%
La tiran en un terreno baldío o calle	0.0%
La tiran a la barranca o grieta	0.0%
La tiran al río, lago o mar	0.0%
No especificado	0.5%
Blanco por base	0.1%

Tabla 5 Métodos de eliminación de basura en el municipio de Nezahualcóyotl

Fuente: Elaborada con datos del Censo de Población y Vivienda 2010, INEGI

3.2 Diagnóstico de la situación actual

En el siguiente apartado se describe de manera general los aspectos relacionados con el tema de la basura en el gobierno municipal de Nezahualcóyotl.

3.2.1 Aspectos institucionales

En el municipio de Nezahualcóyotl, el manejo y gestión de residuos sólidos en sus diferentes etapas, la recolección, el sitio de disposición final entre otros, están a cargo de la Dirección de Servicios Públicos del Municipio, la cual cuenta con cinco Subdirecciones para realizar sus actividades, siendo la Subdirección de Disposición Final, encargada de coordinar la operación y actividades relacionadas con el sitio de disposición final, la Subdirección de Limpia y Transporte encargada de coordinar las operaciones y actividades de la Zona Oriente, Zona Poniente Centro y Zona Poniente B, y la Subdirección Zona Norte, encargada de coordinar los trabajos que se realizan en la Zona Norte.

En cuanto a la recolección de los residuos peligrosos, ésta se encuentra concesionada por las dependencias gubernamentales (IMSS, ISEM, ISSSTE, PEMEX) a las empresas privadas Medam y Garbage Service SA de CV.

3.2.2 Generación

La generación de residuos sólidos es una consecuencia directa de cualquier actividad productiva y/o comercial que se desarrolla en las localidades, así como los resultantes por la eliminación de materiales (envases y empaques) de productos que se consumen en la actividad doméstica, por lo que es necesario determinar la cantidad de residuos que se produce; así como los establecimientos comerciales o de servicios, que puedan ser considerados como grandes generadores de residuos y aquellos considerados como servicios especiales.

Por la magnitud de su población y la cantidad de desechos sólidos urbanos que generan, el municipio se ha dividido en cuatro zonas de operación: Oriente, Poniente Centro, Poniente B y Norte Figura 9.

Año	Generación (kg/hab/día)	Población	Generación total (ton/día)	Generación anual (ton/año)	Disposición anual (ton/año)	Volumen para disposición anual (m ³)
2000	0.83	1,225,972	1,022	372,875	301,085	532,679
2005	0.93	1,188,801	1,105	403,431	335,944	576,330
2010	1.03	1,110,565	1,141	416,553	372,010	595,075
2015	1.13	1,155,232	1,305	476,475	409,768	679,118
2020	1.15	1,201,695	1,476	538,692	445,265	769,560
2025	1.23	1,250,027	1,654	602,665	479,677	862,379
2030	1.33	1,200,303	1,853	676,474	516,749	966,392

Tabla 6. Proyecciones de población y generación de residuos sólidos urbanos.

Fuente: Elaborada a partir de los datos obtenidos en campo, INEGI, CONAPO, SEMARNAT y SEDESOL

Tomando como base el año 2015, donde se considera una generación promedio de 1.13 kg/hab/día, se tienen en promedio 1,305ton/día, lo que corresponde a aproximadamente a 500,000toneladas al final del año 2015. Considerando que en las viviendas se realiza una selección de materiales reciclables para su venta y que los recolectores también realizan una separación durante la ruta, se dispone de aproximadamente del 86 % de lo que se genera, por lo que al final del año 2015, se habrán dispuesto aproximadamente más de 400,000, toneladas, mismas que requieren un volumen de 679,118 m³ para su disposición final. Cifras que para el 2030 se incrementarán en 31.2%, generando aproximadamente 1,853 toneladas diarias, que representarán 676,474 toneladas al año, de las cuales se dispondrán 516,749 que corresponden a un volumen total anual de 966,392 m³.

Generación de RSU

Mediante la información consultada en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) sobre Censo de Población y Vivienda 2010, así como las capas correspondientes a áreas geoestadísticas básicas (AGEBs)¹⁹ se integró la figura 7.

En la figura 7 se muestra la cantidad de residuos sólidos urbanos generados por AGEB. La mayor concentración de residuos está ubicada en la zona oriente y poniente, donde la generación es más de 8 toneladas diarias de residuos. El territorio restante genera entre 1 kg y 5 toneladas diarias.



Figura 7. Generación de RSU por AGEB

Fuente: INEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México

¹⁹ INEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México

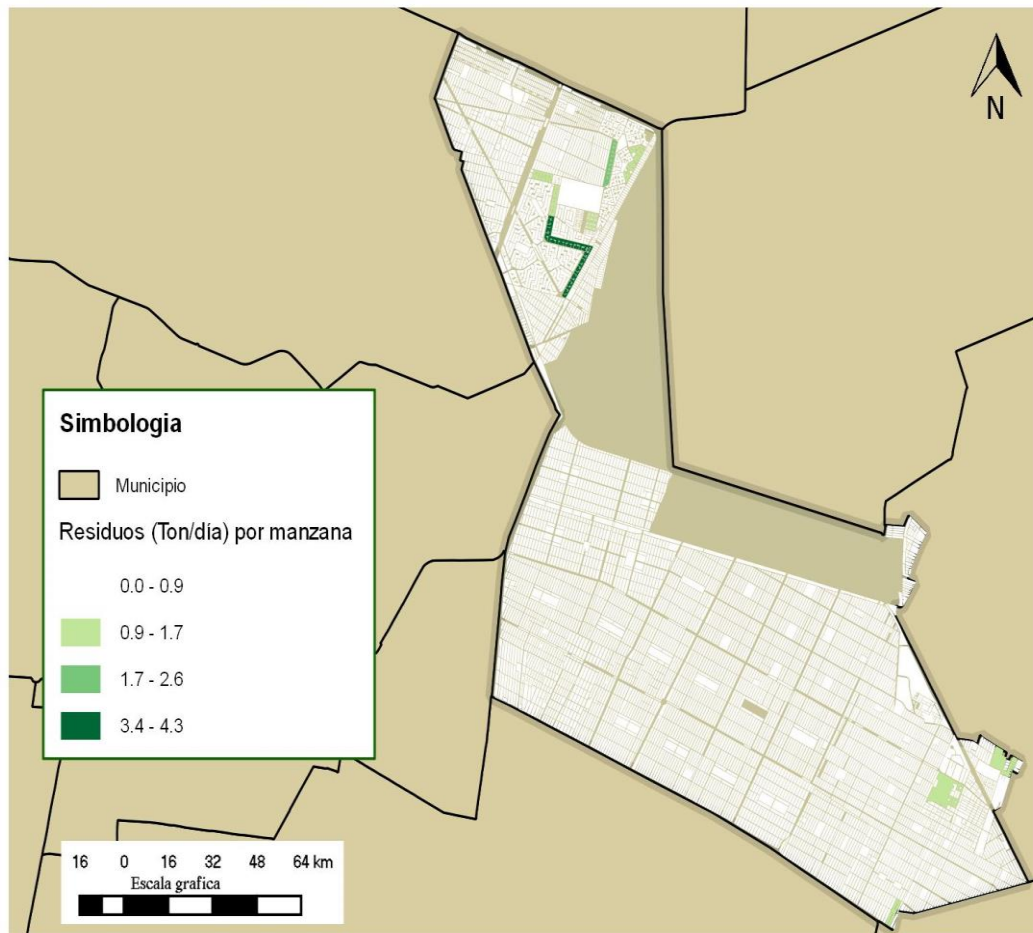


Figura 8. Generación de RSU por manzana

Fuente: INEGI (2016), *Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México*

La figura 8 tiene la misma estructura que el anterior. La diferencia es que el nivel de desagregación de la información es mucho mayor, lo cual es entendible si se considera que el área de las manzanas es en general menor que la representada por AGEBs, de esta manera.

3.2.3 Recolección

En el municipio, la recolección domiciliaria de los residuos sólidos urbanos se realiza en su totalidad. Todas las viviendas tienen el servicio de recolección y actualmente están consideradas por alguna de las cuatro zonas de operación: Oriente, Poniente Centro, Poniente B y Norte

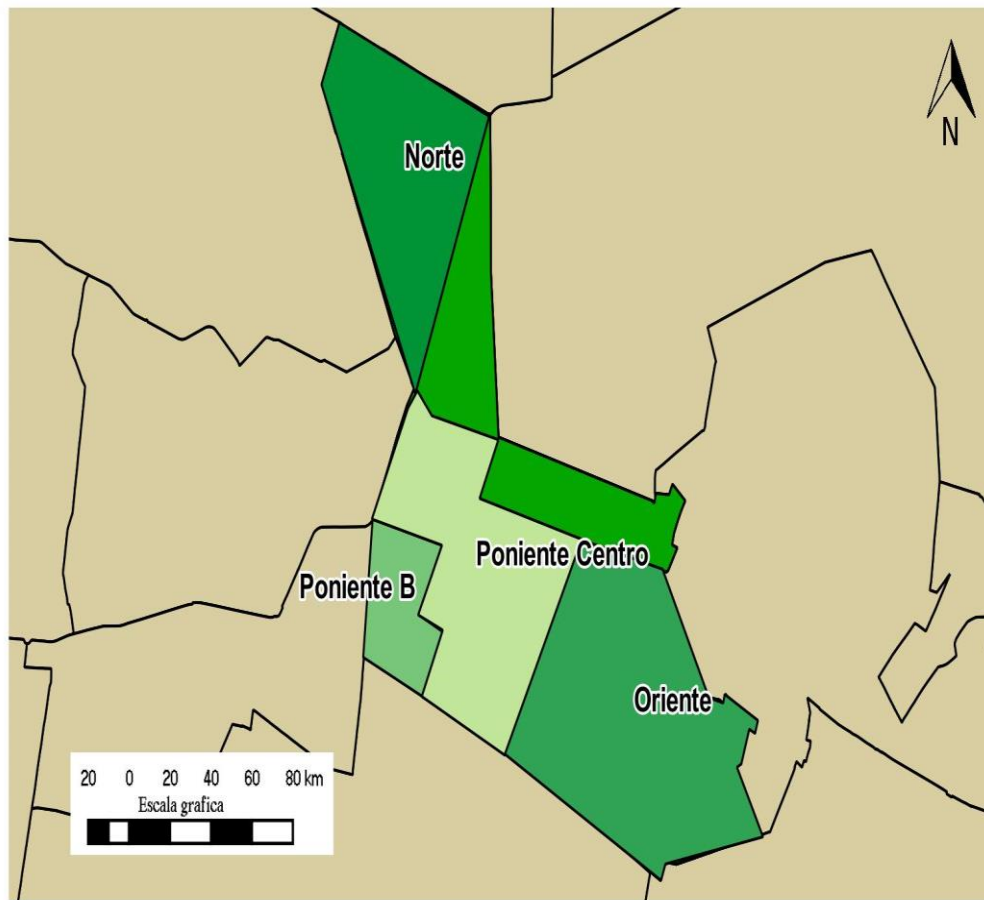


Figura 9. Zonas de recolección para el municipio de Nezahualcóyotl

Fuente: INEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México

Además del servicio de limpia que presta el municipio a la ciudadanía, existen dos grupos de organizaciones privadas que trabajan en la recolección domiciliaria: el primero de ellos conformado por seis organizaciones, funciona con carretas en las zonas operativas del poniente y oriente; y el segundo conformado por siete organizaciones, actúa con triciclos en la zona operativa norte. A continuación se presenta evidencia fotográfica de la operación mencionada y el mapa con las jurisdicciones de las agrupaciones privadas en la figura 11 .



Figura 10. Recolección con carretas y triciclos

Fuente: El universal online

Los Residuos Peligrosos Biológico Infecciosos (RPBI), generados por las unidades médicas del ISEM, ISSEMyM e IMSS son recolectados por las empresas Medam y Garbage Service SA de CV

En las gasolineras, los residuos peligrosos son almacenados temporalmente. La recolección, transporte, almacenamiento temporal y disposición final son realizados por empresas autorizadas por PEMEX.

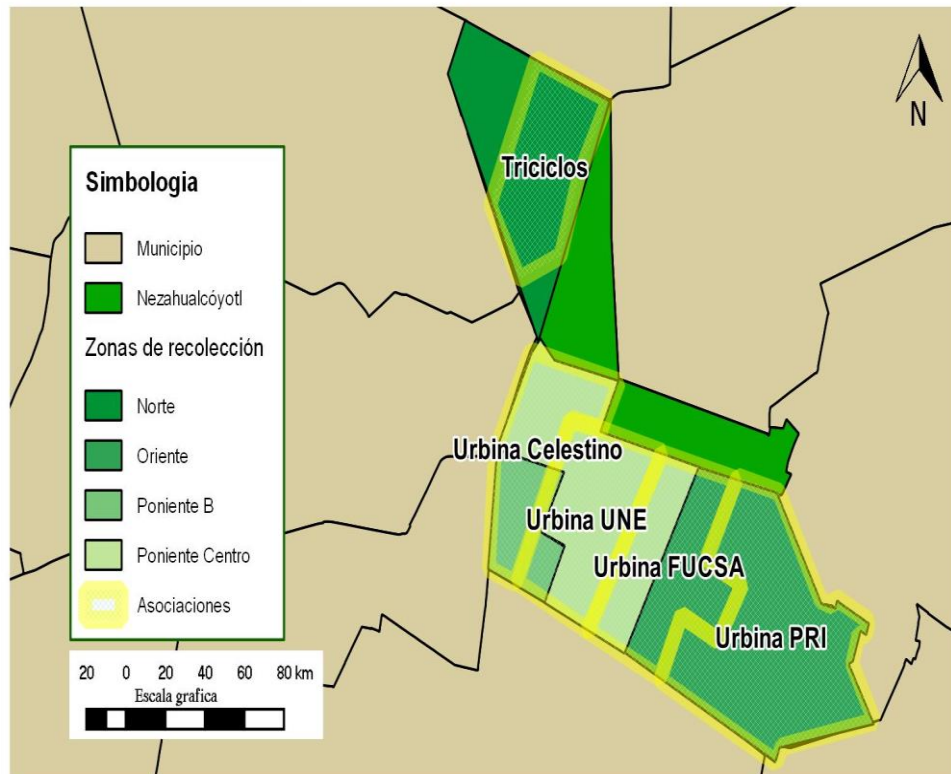


Figura 11. Zonas de operación y agrupaciones privadas

Fuente: INEGI (2016), *Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México*

3.2.4 Recolección domiciliaria

En el municipio de Nezahualcóyotl la recolección domiciliaria la realiza el servicio de limpia del ayuntamiento y dos grupos de asociaciones de particulares, denominadas grupos de carretoneros y grupos de tricicleros, los cuales son tolerados y reconocidos por el municipio. El servicio de recolección del municipio consta de 109 rutas que recorren el municipio cubriendo al 100% de la población. En cada ruta el servicio se realiza utilizando el método por acera. La recolección se lleva a cabo de lunes a domingo con un horario de 6:00 am a 2:00 pm y de 3:00 pm a 11:00 pm, con excepción del domingo donde solo se realiza el turno de la mañana. El servicio municipal cuenta con 120 vehículos recolectores y 448 empleados.²⁰

La capacidad de recolección con que cuenta el municipio se puede considerar suficiente y hasta excedida, ya que el servicio se realiza dos veces (mañana y tarde) en cada ruta.

²⁰ Información basada en datos obtenidos de campo y del sitio oficial del municipio

Tipo de caja	Capacidad unitaria (kg)	Número de vehículos	Capacidad de recolección (kg)
Leach	3,655	19	69,445
Universal	5,540	22	121,880
Chagnon y Repsa	6,540	39	255,060
McNeilus	6,700	23	154,100
Contenedor	1,750	16	28,000
Roll-off	13,080	1	13,080
Total		120	641,565

Tabla 7. Tipo de cajas y capacidad de carga

Fuente: Elaborada a partir de la información recabada en la visita de campo

Como ya se había mencionado antes, Por la cantidad de población y la magnitud de desechos sólidos urbanos que generan, el municipio se ha dividido en cuatro zonas para su operación: Oriente, Poniente Centro, Poniente B y Norte. Las características de cada zona se muestran en la tabla 8.

Zona de operación	Población total(a)	Total de viviendas (b)	Viviendas con recolección (c)	Generación Ton/día (d)	Generación % (e)
Oriente	470,953	125,880	125,880	511,634	42.6%
Poniente Centro	314,839	85,138	85,138	342,035	28.5%
Poniente B	115,831	32,209	32,209	125,837	10.5%
Norte	202,962	59,107	59,107	220,494	18.4%
Total	1,104,585	302,334	302,334	1,200,000	100

Tabla 8. Características de las zonas de Nezahualcóyotl

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en campo, INEGI, CONAPO, SEMARNAT y SEDESOL (a), (b), (c), (d), (e)

De lo anterior es posible destacar que las zonas con mayor generación de residuos son: Oriente con 42.6% y Poniente Centro con 28.5%. Lo que equivale a 853,669 toneladas al día, el 71.1% de la generación municipal.

Las características de infraestructura, equipo, personal y área de cobertura, con que cuenta cada una de las zonas de operación para realizar las actividades de recolección domiciliaria, se muestran en la tabla 9.

Zona de operación	Dimensiones del corralón (m ²)	Vehículos para recolección	Rutas	Personal contratado
Oriente	3,877	40	36	154
Poniente Centro	3,443	32	30	162
Poniente B	4,731	11	11	7
Norte	2,539	37	32	125
Total	14,590	120	109	448

Tabla 9. Infraestructura para recolección por zona

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recabada en la visita de campo

De la tabla 9 se identifica que el corralón de la zona norte es el más pequeño en dimensión y es la segunda zona con más rutas, la zona poniente b tiene el corralón más extenso y solo participa en muy pocas rutas.

A continuación se hace una caracterización de cada zona para identificar su participación en la recolección de residuos sólidos.

Zona de operación oriente

La zona de operación Oriente atiende a la totalidad de su población que son 470,953 habitantes y que generan 511.6 toneladas de residuos sólidos urbanos por día (42.6% municipal). Para su atención cuenta con 40 vehículos y 36 rutas, las cuales son recorridas diariamente tanto en el turno matutino, como en el vespertino y los contenedores se recolectan cada tercer día: lunes, miércoles y viernes.

Zona de operación poniente centro

La zona de operación Poniente Centro atiende al 100% de su población que son 314,839 habitantes y que generan 342.0 toneladas de residuos sólidos urbanos por día (28.5% municipal). Para su atención cuenta con 32 vehículos y 30 rutas, las cuales son recorridas diariamente tanto en el turno matutino, como en el vespertino y los contenedores se recolectan cada tercer día, esto es, lunes, miércoles y viernes.

Zona de operación poniente B

La zona de operación Poniente B atiende al 100% de su población que son 115,831 habitantes y que generan 125.8 toneladas de residuos sólidos urbanos por día (10.5% municipal). Para su atención cuenta con 11 vehículos y 11 rutas, las cuales son recorridas diariamente tanto en el turno matutino, como en el vespertino y los contenedores son recolectados cada tercer día, es decir, lunes, miércoles y viernes.

Zona de operación norte

La zona de operación Norte atiende al 100% de su población que son 202,962 habitantes y que generan 220.5 toneladas de residuos sólidos urbanos por día (18.4% municipal). Para su atención cuenta con 37 vehículos y 32 rutas, las cuales se recorren diariamente entre ambos turnos: matutino y vespertino, en particular para esta zona, los recorridos que se realizan por la mañana se llevan a cabo de lunes a viernes y los de la tarde los días lunes, viernes, sábado y domingo.

Todas las zonas cuentan con un corralón, donde se encierran los vehículos, se les realiza mantenimiento preventivo y correctivo, y tienen oficinas para el encargado del corralón, quien asigna las rutas, administra los recursos para el combustible y el mantenimiento preventivo, supervisa y coordina la operación de los servicios especiales y del sistema de recolección en general.

Además los corralones de cada zona se encuentra totalmente bardeado y cuenta con ciertas instalaciones como son: baños, regaderas y vestidores para los trabajadores del sistema, las cuales se encuentran en condiciones insalubres

Grupos de organizaciones privadas

Aun cuando el servicio municipal recorre la totalidad de las calles del Municipio, dos grupos de recolección privada dan servicio de forma simultánea con el Municipio, representando una alternativa para la población; estas organizaciones que utilizan carretas jaladas por caballos y triciclos, surgieron a causa del servicio ineficiente de años anteriores, sin embargo su disolución es complicada. Ambos grupos son reconocidos por el municipio y controlados para evitar su crecimiento de forma indiscriminada.

Existen seis organizaciones con carretas, cuatro de ellas con áreas específicas para la recolección y las dos restantes se les consideran flotantes ya que no tienen un área asignada. Ninguna de ellas tiene ruta y horario fijos y solamente se desempeñan en sus zonas correspondientes. Este grupo de organizaciones cuentan con 432 carretas jaladas por caballos, cada una con capacidad de 350 kg, tienen asignado un espacio dentro del tiradero para realizar su trabajo de separación

El problema fundamental con este grupo cuando realizan su trabajo, es que circulan a muy baja velocidad por vialidades primarias y secundarias, ya que son jaladas por un caballo, lo que trae como consecuencia un alto grado de congestión sobre las vialidades en las que trabajan.

El grupo que utiliza triciclos para realizar sus actividades de recolección, está formado por siete organizaciones y cuentan con 200 triciclos. Su área de trabajo es el norte del municipio, no tienen zonas asignadas, ni ruta y horario fijos de trabajo (Figura 12). Para realizar sus actividades de separación, utilizan las vialidades que colindan con la FES-Aragón, donde cada una de las asociaciones separa el material reciclable para su venta y transfiere a un camión de su propiedad, los residuos no reciclables para ser trasladados al tiradero municipal.

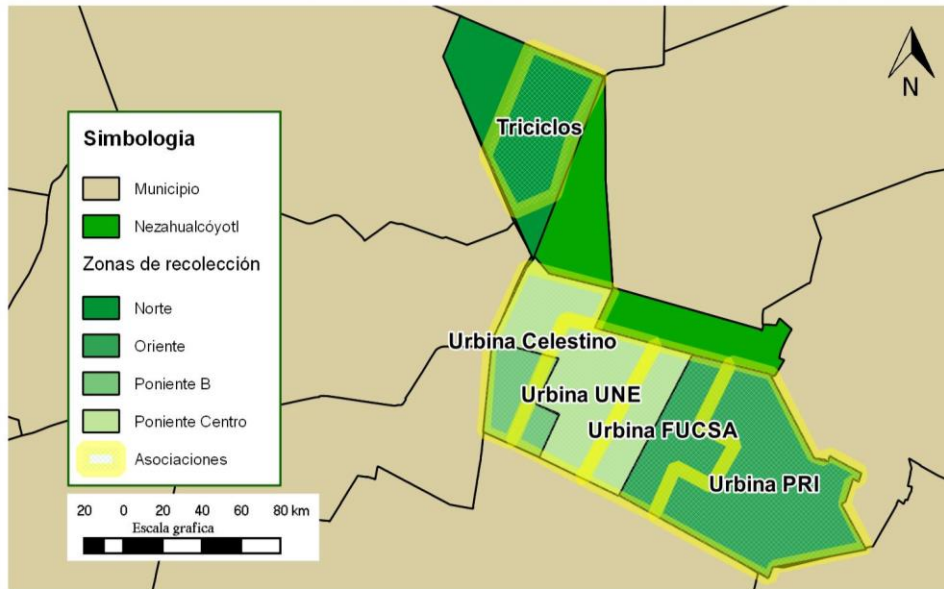


Figura 12. Zonas de operación y agrupaciones privadas

Fuente: INEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México y visita de campo.

El principal problema con estas organizaciones, es la invasión que han hecho de las vialidades aledañas a la FES-Aragón, que además es zona habitacional, por lo que generan malestar en los habitantes al verse deteriorada la imagen de su colonia, además de generar contaminación por malos olores y lixiviados, lo que se agudiza en época de lluvias.

A continuación se describe el área oriente de la zona norte puesto que es un área de las más conflictivas en el tema de recolección debido al grupo de particulares además de ser la zona habitacional con una topografía de calles muy complicada que provoca en algunos lugares una nula recolección y como se comentó en capítulos anteriores es lo por lo cual se estudiara esta área.

Área oriente de la zona norte

El área oriente de la zona norte atiende al 100% de su población que son 123 437 habitantes y que generan 135.8 toneladas de residuos sólidos urbanos por día (11.3% municipal), atendiendo una extensión territorial de 7.2 km² (11.2 % del municipio). La recolección se realiza diariamente entre ambos turnos: matutino y vespertino, en particular para esta zona, los recorridos que se realizan por la mañana se llevan a cabo de lunes a viernes y los de la tarde los días lunes, viernes, sábado y domingo.

Además en esta área, es donde un grupo de particulares con 200 triciclos recolectan la basura por un cobro a los habitantes.

La distribución y generación por AGEB y Manzana se muestran en la figura 13 y 14.

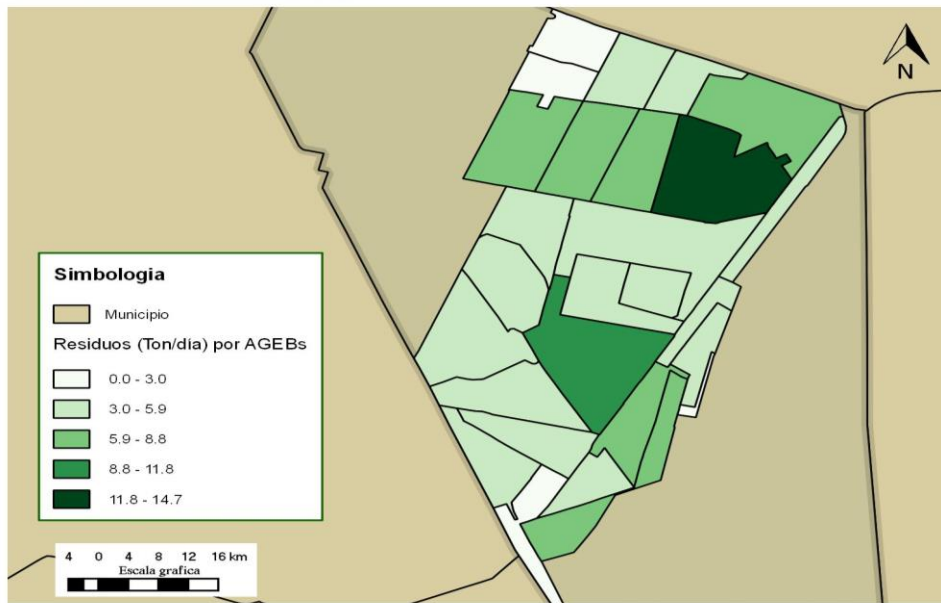


Figura 13. Generación de RSU por AGEB en el área de la zona norte de Nezahualcóyotl

Fuente: Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geoestadístico, junio 2016 de INEGI.

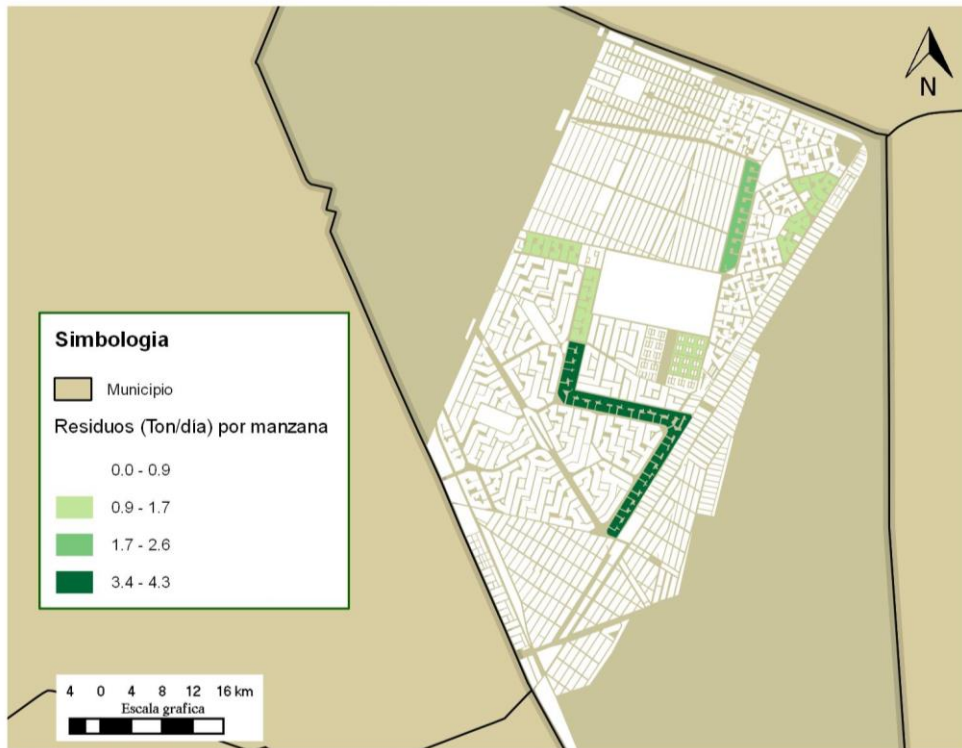


Figura 14. Generación de RSU por manzana en el área de la zona norte de Nezahualcóyotl

Fuente: Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geoestadístico, junio 2016 de INEGI.

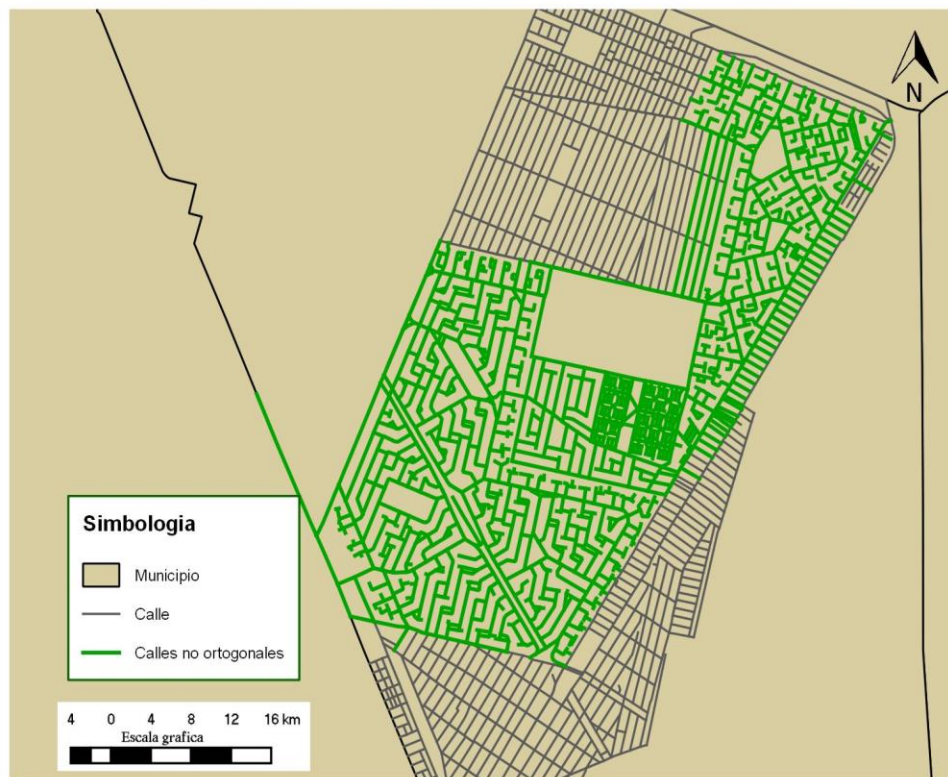


Figura 15. Calles no ortogonales en el 6rea oriente de la zona norte de Nezahualc6yotl

Fuente: INEGI (2016), *Vectorial de localidades amezanadas y n6meros exteriores de ciudad Nezahualc6yotl y marco geo estad6stico, M6xico*

Existen zonas donde es dif6cil realizar la recolecci6n por acera o es nula la recolecci6n porque las calles son peque1as o no ortogonales lo que dificulta la entrada de un cam6n recolector.

Estas zonas de dif6cil acceso se generan 57,359 kg diarios de residuos el 42 % de la zona de estudio.

Para la recolecci6n en estas zonas debe ser por medio de otro sistema como la de contenedores, puesto que, la de acera es muy complicada realizarla.

En la figura 15 se muestra las 6reas que no presentan un dise1o ortogonal.

3.2.5 Seguimiento de rutas de recolecci6n

Se realiz6 un seguimiento de diversas rutas, de acuerdo a la disponibilidad del sistema limpia cuando se realiz6 la visita de campo, para conocer la operaci6n del servicio de limpia de Nezahualc6yotl, la trayectoria que siguen y el tiempo de recorrido, as6 como el m6todo de recolecci6n y n6mero de viajes al relleno sanitario antes de concluir la ruta, la informaci6n se captur6 en tablas para observar el funcionamiento de la ruta.

Zona de operación oriente

En la tabla 10 se muestran los resultados de la zona oriente de Nezahualcóyotl donde se dio el seguimiento a 2 rutas

Zona Oriente	Ruta 2	Ruta 24
	Tiempo Distancia	Tiempo Distancia
Recorrido	3.9 hrs 7.8 km	5.3 hrs 10.6 km
Número total de viajes al tiradero	2	2
Método de recolección	Acera	Acera
Número de trabajadores	3	3

Tabla 10. Rutas 2 y 24 de zona oriente

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recabada en la visita de campo

La trayectoria del recorrido de ambas rutas se muestra a continuación en la figura 16:



Figura 16. Rutas 2 y 24 de zona oriente.

Fuente: NEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México y visita de campo

Los usuarios de esta zona (Oriente) consideran que el servicio es bueno y confiable, pasa dos veces al día (mañana y tarde) y no le encuentran problema alguno. Durante estos recorridos, se pudo observar que la mayoría de las personas separan la basura, debido al programa que se tenía y que fue cancelado por la administración municipal anterior.

Zona de operación poniente centro

En la tabla 11 se muestran los resultados de la zona oriente de Nezahualcóyotl donde se dio el seguimiento a 2 rutas

Zona Poniente Centro	Ruta 1	Ruta 13
	Tiempo Distancia	Tiempo Distancia
Recorrido	4.3 hrs 8.5 km	4.2 hrs 8.3 km
Número total de viajes al tiradero	2	2
Método de recolección	Acera	Acera
Número de trabajadores	3	3

Tabla 11. Rutas 1 y 13 de zona poniente centro.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recabada en la visita de campo.

La trayectoria del recorrido de ambas rutas se muestra a continuación en la figura 17:

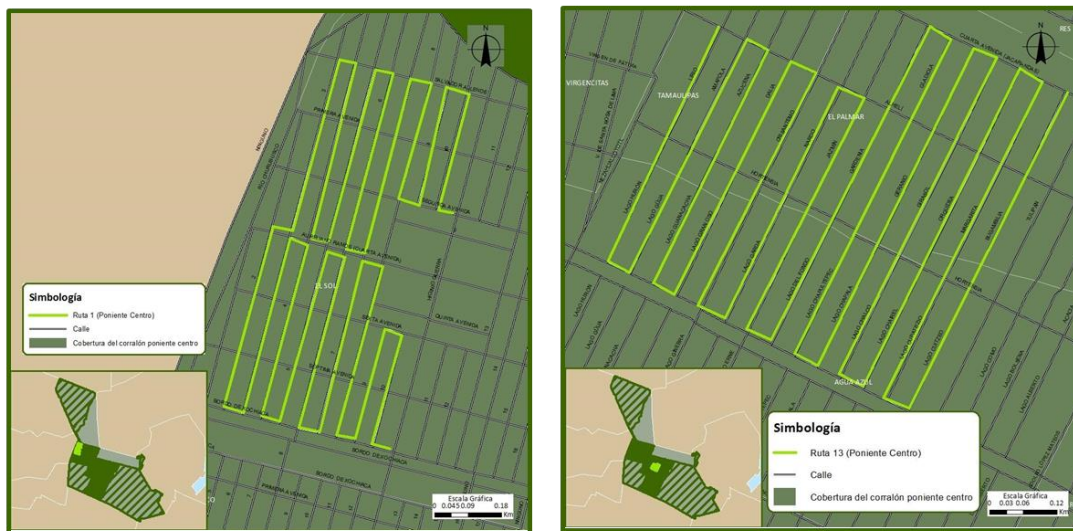


Figura 17. Rutas 1 y 13 de zona poniente centro.

Fuente: NEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México visita de campo

Los usuarios de esta zona (Poniente Centro) consideran que el servicio es bueno y confiable, pasa dos veces al día (mañana y tarde), y no le encuentran problema alguno. Sin embargo se pudo observar durante estos recorridos que, las personas que separan la basura se molestan porque ésta se mezcla en el camión recolector, ya que el programa de separación que se tenía, fue cancelado por la administración municipal anterior.

Zona de operación poniente B

En la tabla 12 se muestran los resultados de la zona oriente de Nezahualcóyotl donde se dio el seguimiento a 2 rutas

Zona Poniente B	Ruta 5	Ruta 3
	Tiempo Distancia	Tiempo Distancia
Recorrido	5.8 hrs 11.6 km	4.6 hrs 8.3 km
Número total de viajes al tiradero	1	1
Método de recolección	Acera	Acera
Número de trabajadores	3	3

Tabla 12. Rutas 5 y 3 de zona poniente B.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recabada en la visita de campo.

La trayectoria del recorrido de ambas rutas se muestra a continuación en la figura 18.



Figura 18. Rutas 5 y 3 de zona poniente B.

Fuente: NEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México y visita de campo

Los usuarios de esta zona (Poniente B) consideran que el servicio es bueno y confiable, pasa dos veces al día (mañana y tarde), y no le encuentran problema alguno. Sin embargo se pudo observar durante estos recorridos que, las personas que separan la basura se molestan porque ésta se mezcla en el camión recolector, ya que el programa de separación que se tenía, fue cancelado por la administración municipal anterior.

Zona de operación norte

En la tabla 13 se muestran los resultados de la zona oriente de Nezahualcóyotl donde se dio el seguimiento a 2 rutas.

Zona Norte	Ruta 19	Ruta 31
	Tiempo Distancia	Tiempo Distancia
Recorrido	3.8 hrs 7.5 km	4.0 hrs 7.9 km
Número total de viajes al tiradero	1	1
Método de recolección	Acera	Acera
Número de trabajadores	3	3

Tabla 13. Rutas 5 y 3 de zona poniente B.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recabada en la visita de campo.

La trayectoria del recorrido de ambas rutas se muestra a continuación en la figura 19.



Figura 19. Rutas 19 y 31 de zona norte.

Fuente: INEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México visita de campo

Los usuarios de esta zona (Norte) consideran que el servicio es regular, ya que pasa una vez al día (mañana), comparado con el que se presta en las otras zonas de operación del municipio. Además se pudo observar durante estos recorridos, que las personas que separan la basura, se molestan porque ésta se mezcla en el camión recolector, ya que el programa de separación que se tenía, fue cancelado por la administración municipal anterior.

Capítulo 4. Desarrollo de la propuesta y Resultados

4.1 Aspectos generales

Como resultado del análisis de la información presentada en el capítulo anterior, se presentan a continuación una serie de oportunidades identificadas que pueden mejorar el sistema de recolección. El área oriente de la zona norte de Nezahualcóyotl, fue seleccionada como caso de estudio por su estructura vial (topología) y por la existencia de los triciclos que actualmente dificultan la recolección óptima y crean una imagen deteriorada de esta zona. Cabe mencionar que las propuestas de solución están alineadas al objetivo general de este trabajo.

De esta forma y con todos datos recolectados previamente se proponen las siguientes estrategias de solución. Estas propuestas están divididas en dos secciones:

- Asignación de ruta de recolección para el método de acera. Partiendo de la red de calles ortogonales, se proponen redes alternas donde se amplían las calles y se minimiza el número de nodos de dicha red, posteriormente se aplica el algoritmo del cartero chino para arcos no dirigidos.
- Asignación de ruta para la recolección con contenedores. Se propone realizar una inspección sobre lugares factibles para colocar contenedores soterrados²¹, posteriormente se propone implementar una red con los contenedores y se aplica el algoritmo del agente viajero, esto debido a que la accesibilidad de las calles no permite que un camión pueda entrar a recolectar la basura.

Cabe señalar que las estrategias de solución están sujetas al entorno social y físico que el sitio presenta y el diseño considera afectar lo menos posible a la población y la infraestructura actual.

4.2 Asignación de ruta de recolección para el método de acera

Con la información sobre la generación de residuos integrada en el Sistema de Información Geográfica (SIG) y la información del INEGI, se detectaron AGEBS donde la recolección por el método de acera es adecuada y eficiente por el tipo calle, y que algunas veces se ve afectada por el grupo de triciclos. De tal manera, se delimitaron 11 áreas con base en las AGEBS y con la cantidad de residuos sólidos que se generan y las condiciones topográficas, en las 11 áreas, se propone hacer la recolección por el método de acera.

Además las áreas están sobre una nueva red de calles, que se elaboró con base en la existente, con el fin de reducir el número de arcos y nodos, de tal manera, que al momento de aplicar el algoritmo fuese más eficiente, es decir, que las áreas de estudio tuvieran en su mayoría una forma rectangular .

²¹ Contenedores bajo en suelo con un buzón para depositar los residuos

Para poder implementar el algoritmo del cartero chino fue necesario conocer el sentido de las calles, para poder seleccionar el tipo de algoritmo (con arcos dirigidos y no dirigidos), en este caso se seleccionó el de arcos no dirigidos por que las calles en su mayoría son de doble sentido como se muestra en la figura 20 lo que permite aplicar dicho algoritmo.

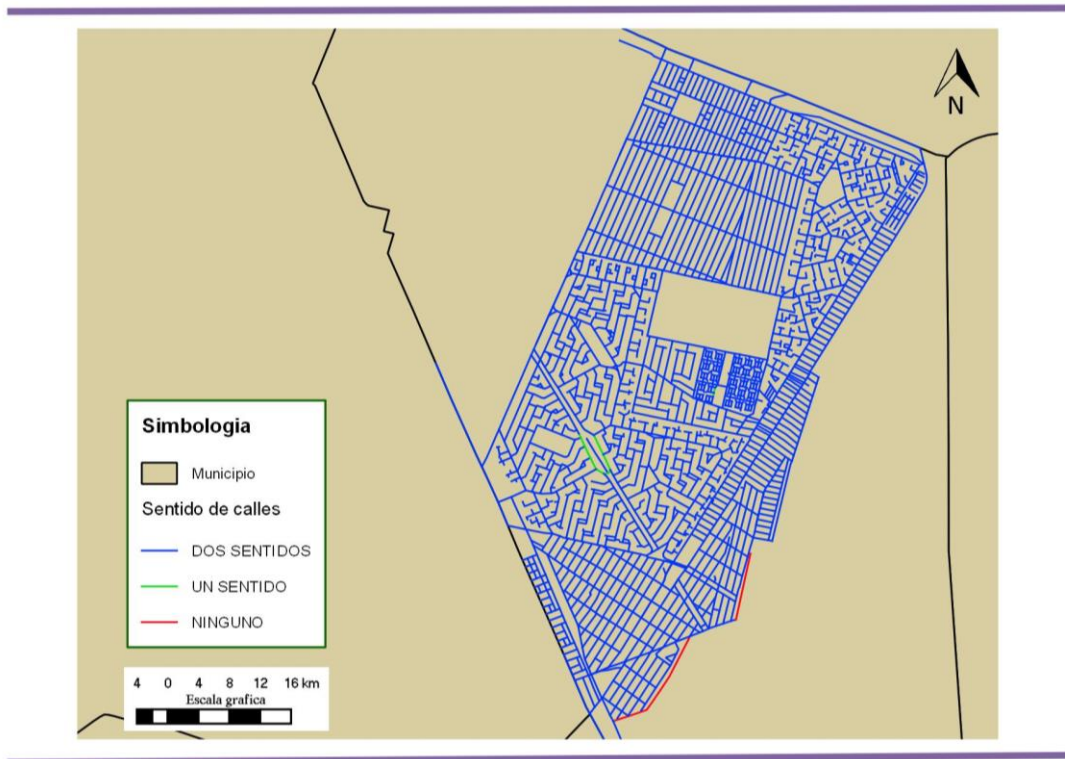


Figura 20. Sentido de las calles en el área oriente de la zona norte de Nezahualcóyotl.

Fuente: NEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México

4.2.1 Procedimiento

Para la creación de rutas de recolección para el método de acera se realizó lo siguiente.

I. **Creación de grafos.** Después de generar las zonas para rutas, lo siguiente fue representar la red vial como un grafo por medio de arcos y nodos utilizando un SIG.

De acuerdo con los elementos que se necesitan para aplicar algoritmo del “Cartero chino” se definió lo siguiente:

- Nodos: Estos están definidos como las esquinas de las calles.
- Arcos: Es la distancia de la calle que es transitable para llegar de nodo y otro, en este caso se unieron más de una calle para poder crear un arco.

El resultado de dicho procedimiento se muestra en la siguiente figura 21:

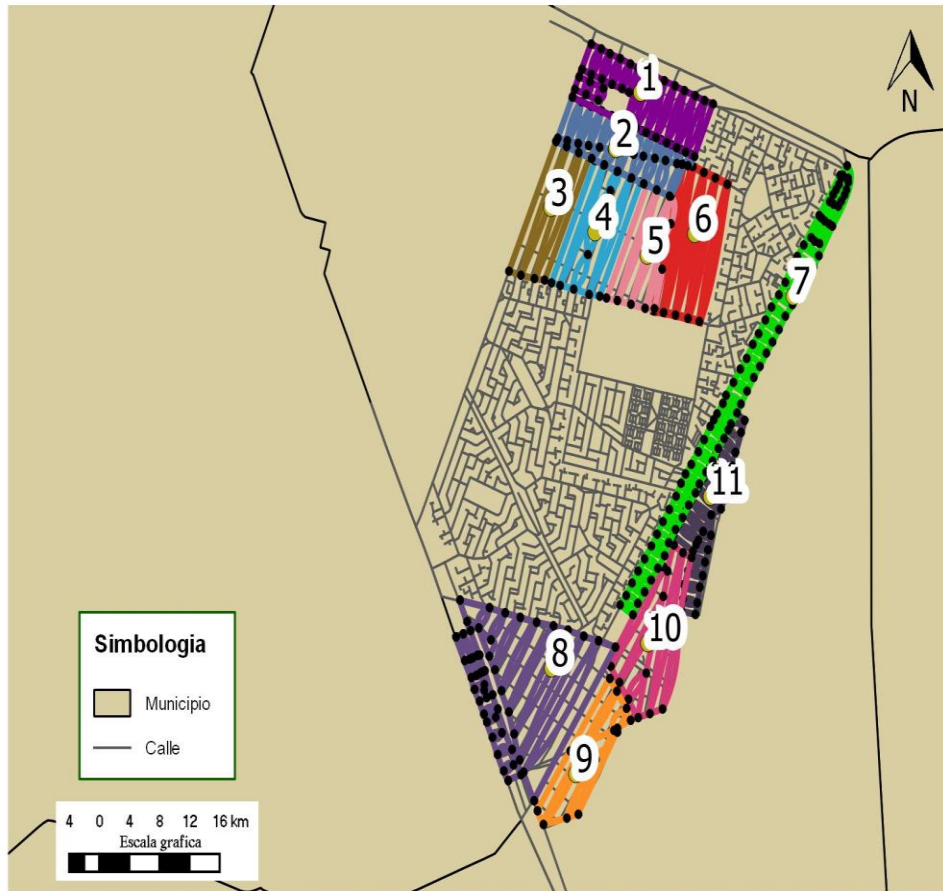


Figura 21. 11 Áreas para el método de acera.

Fuente: INEGI (2016), Vectorial de localidades amezanadas y números exteriores de ciudad Nezahualc6yotl y marco geo estadístico, México

En la figura 22 se muestra una red y su conectividad entre nodos, con el fin de ejemplificar el proceso que se siguió para la solución se toma como ejemplo la Ruta 3:

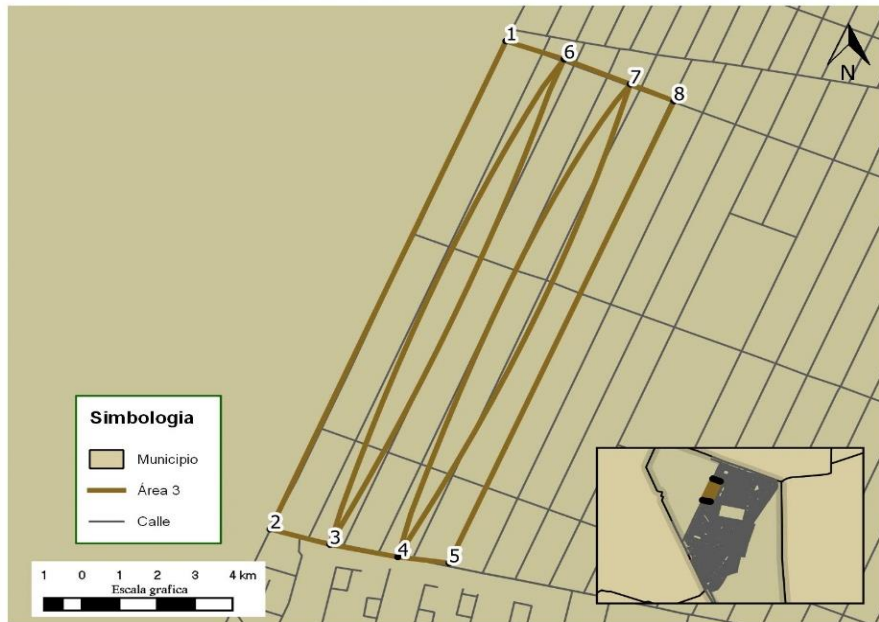


Figura 22. Arcos y Nodos del área 3.

Fuente: INEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México

II. **Aplicación del algoritmo.** Con el fin de aplicar el algoritmo del “cartero chino” se plantea el siguiente conjunto de pares de nodos, con la información de los nodos y arcos, de la figura 22 :

$$A = \{ (1, 2), (1, 6), (2, 3), (3, 4), (3, 6), (4, 5), (4, 7), (5, 8), (6, 3), (6, 7), (7, 4), (7, 8) \}$$

Formulación matemática

III. **Solución del problema.** La resolución del modelo matemático fue resuelto con el algoritmo del “cartero chino” expuesto en el capítulo II.

Sean:

- s= origen de la ruta
- t= último nodo visitado
- $U = \{\emptyset\}$
- $V = \{\emptyset\}$

1ª iteración

- $s=1$
- $t=1$
- $q=2$
- $U=\{(1,2)\}$

2ª iteración

- $t=2$
- $q=3$
- $U=\{(1,2),(2,3)\}$

3ª iteración

- $t=3$
- $q=4$
- $U=\{(1,2),(2,3), (3,4)\}$

4ª iteración

- $t=4$
- $q=5$
- $U=\{(1,2),(2,3), (3,4),(4,5)\}$

5ª iteración

- $t=5$
- $q=8$
- $U=\{(1,2),(2,3), (3,4),(4,5),(5,8)\}$

5ª iteración

- $t=5$
- $q=8$
- $U=\{(1,2),(2,3), (3,4),(4,5),(5,8)\}$

6ª iteración

- $t=8$
- $q=7$
- $U=\{(1,2),(2,3),(3,4),(4,5),(5,8), (8,7)\}$

7ª iteración

- $t=7$
- $q=4$
- $U=\{(1,2),(2,3),(3,4),(4,5),(5,8), (8,7),(7,4)\}$

8ª iteración

- $t=4$
- $q=7$

- $U=\{(1,2),(2,3),(3,4),(4,5),(5,8), (8,7),(7,4),(4,7)\}$

9ª iteración

- $t=7$
- $q=6$
- $U=\{(1,2),(2,3),(3,4),(4,5),(5,8), (8,7),(7,4),(4,7),(7,6)\}$

10ª iteración

- $t=6$
- $q=3$
- $U=\{(1,2),(2,3),(3,4),(4,5),(5,8), (8,7),(7,4),(4,7),(7,6),(6,3)\}$

11ª iteración

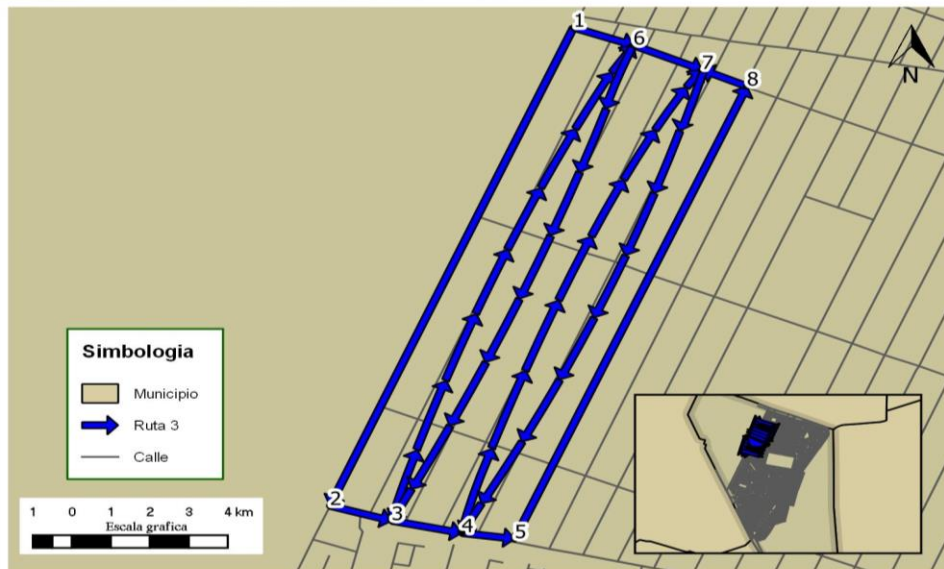
- $t=3$
- $q=6$
- $U=\{(1,2),(2,3), (3,4),(4,5),(5,8), (8,7),(7,4),(4,7),(7,6),(6,3),(3,6)\}$

12ª iteración

- $t=6$
- $q=1$
- $U=\{(1,2),(2,3),(3,4),(4,5),(5,8), (8,7),(7,4),(4,7),(7,6),(6,3),(3,6),(6,1)\}$

Dando como resultado la siguiente ruta 1→2→3→4→5→8→7→4→7→6→3→6→1

IV. **Trazado de Ruta.** Con base en la solución dada por el algoritmo se realiza el trazado de la ruta :



Nodos a seguir 1→2→3→4→5→8→7→4→7→6→3→6→1

Figura 23. Ruta propuesta para la zona 3.

Fuente: INEGI (2016), *Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México*

Con el propósito de mostrar los aspectos relevantes del procedimiento solo se ejemplificó esta área. El procedimiento se aplicó en las 11 áreas involucradas, dado los resultados pertinentes.

V. Calculo de capacidad

La siguiente etapa de la propuesta metodológica consiste en conocer la cantidad de residuos que se generan en cada área y los días en que serán recolectados, puesto que solo se determinó la zona y ruta de recolección.

De acuerdo con la información de INEGI y los datos generados en las secciones anteriores, se midió la cantidad de residuos que existe en cada área, dicha información se resume en la tabla 14.

Área	Generación de RSU (kg/día)
1	6,248
2	4,852
3	6,647
4	6,570
5	6,437
6	8,128
7	9,301
8	9,468
9	6,623
10	8,354
11	5,813
Total	78,441

Tabla 14 Total de Residuos sólidos por área

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del INEGI

Para determinar el volumen de los residuos sólidos, se realizó el cálculo con la siguiente expresión que el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) recomienda:

$$V = \frac{GT}{PV}$$

donde

V: Volumen de Residuos Sólidos

GT: Generación total de Residuos (kg/día)

PV: Peso volumétrico (kg/m³)

El peso volumétrico, está dado de los siguientes datos proporcionados por INECC

	Fuente	Peso volumétrico Kg/m ³
1	Unifamiliar, plurifamiliar	228
2	T. De autoservicio	148
3	T. Departamentales	113
4	L. Comerciales	209
5	Almacenamiento y abasto	139
6	Restaurantes y bares	324
7	Servicios públicos	88
8	Hoteles y moteles	144
9	C. Educativos	84
10	C. De espectac. Y rec.	73
11	Oficinas públicas y privadas	80
12	Unidades medicas	130
13	Laboratorios	196
14	Veterinarias	157
15	Transporte terrestre	122
16	Transporte aéreo	142
17	C. de readapt. Social	217
18	Espacios abiertos	117
19	Vía pública	768

Tabla 15. Peso volumétrico in-situ.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del INECC

De acuerdo con la tabla 15, se ha considerado el valor de 228 Kg/m³, por ser considera la zona oriente de la zona norte de Nezahualcóyotl un área dormitorio, donde la mayoría son viviendas familiares. Con todo ello, se calculó el volumen de cada zona, los resultados se muestran en la tabla 16.

Área	Generación de RSU (kg/día)	Volumen de RSU (m ³)
1	6,248	27.4
2	4,852	21.3
3	6,647	29.2
4	6,570	28.8
5	6,437	28.2
6	8,128	35.6
7	9,301	40.8
8	9,468	41.5
9	6,623	29.0
10	8,354	36.6
11	5,813	25.5
Total	78,441	344.0

Tabla 16 Total de Residuos sólidos por área en kg y m³

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del INEGI

Con los datos calculados anteriormente, se procede a verificar la capacidad de camión, si tienen la capacidad para los residuos generados, además de observar en cuantos viajes se recogería todos los residuos.

Área	Generación de RSU (kg/día)	Volumen de RSU (m ³)	Capacidad del camión (kg)	Capacidad del camión (m ³)	viajes para recoger todos los RSU
1	6,248	27.4	6,540	28.68	1
2	4,852	21.3	5,540	24.30	1
3	6,647	29.2	6,700	29.39	1
4	6,570	28.8	6,700	29.39	1
5	6,437	28.2	6,700	29.39	1
6	8,128	35.6	5,540	24.30	2
7	9,301	40.8	6,540	28.68	2
8	9,468	41.5	6,540	28.68	2
9	6,623	29.0	6,700	29.39	1
10	8,354	36.6	6,450	28.29	2
11	5,813	25.5	6,540	28.68	1
Total	78,441	344.0	70,490	309.17	

Tabla 17. Total de Residuos sólidos por área en kg y m³ y capacidad del camión recolector.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del INEGI y de la visita de campo

Se recomienda camiones Chagnon, Mcnelius y Universal, los cuales tendrían que realizar de 1 a 2 recorridos, dependiendo de la zona como se muestra en la tabla 17

VI. Tiempo de recorrido

Con base en los resultados del algoritmo, se midió la cantidad de metros que recorre el vehículo y esta se multiplica por la velocidad de recorrido (5 Km/h), suponiendo que la gente ya tiene la basura afuera de su domicilio además se anexa un tiempo de 30 min por para considerar vueltas en esquina, congestionamiento viales entre otras eventualidades.

En la tabla 18 se muestra el tiempo de recorrido de cada ruta.

Ruta	kilómetros recorridos por la Ruta	Tiempo de recorrido (min)	Tiempo de eventualidades (min)	Tiempo total de la Ruta (hora: min)
1	9.5	113.88	30	02:24
2	9.1	109.44	30	02:19
3	5.3	63.12	30	01:33
4	6.6	79.68	30	01:50
5	5.1	61.44	30	01:31
6	8.2	98.4	30	02:08
7	14.4	173.28	30	03:23
8	16.2	194.88	30	03:45
9	5.8	69	30	01:39
10	7.9	95.04	30	02:05
11	7.0	84.36	30	01:54
Total	95.2	1142.52		

Tabla 18. Longitud y tiempo de recorrido en cada ruta.

Fuente: Elaboración propia

4.3 Asignación de ruta para la recolección con contenedores

Con la información sobre la generación de residuos registrada en el SIG y la información de INEGI, se detectaron AGEBS donde la recolección por el método de acera es insuficiente o incluso inexistente porque la geometría de las calles no lo permite o el grupo de triciclos realiza esa recolección. De tal manera, se delimitaron de acuerdo con la cantidad de residuos sólidos que se generan y las condiciones topográficas, dando un total 11 áreas en las que se propone poner contenedores soterrados para que la basura no sea un problema visual y de amontonamiento.

Además las áreas están sobre una nueva red de calles, que se elaboró con base en la verificación de la red existente, esto debido a que algunas calles de la red original son corredores peatonales o accesos a condominios y los cuales un camión recolector no

podría pasar. La distribución de zonas se muestra en la figura 24.

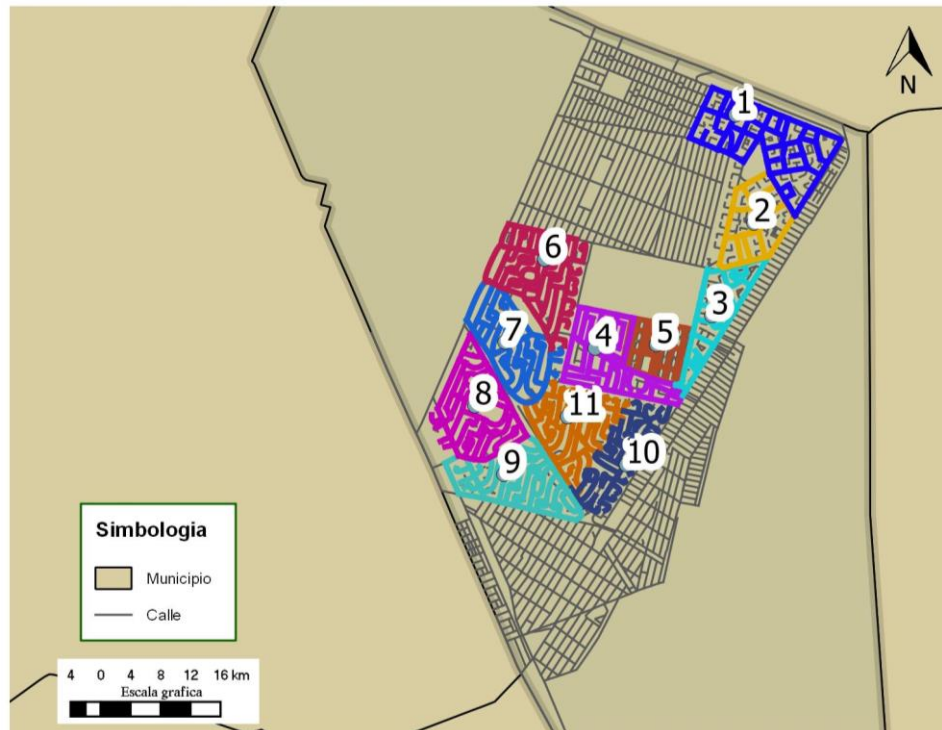


Figura 24. Áreas definidas para la recolección de residuos empleando contenedores.

Fuente: INEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México

4.3.1 ¿Qué es un contenedor soterrado?²²

Los Contenedores Soterrados están destinados a la recogida de Residuos Sólidos Urbanos. La basura queda bajo tierra enterrando el contenedor que tradicionalmente estaba a la vista, quedando este oculto bajo una tapa con el mismo acabado que la acera.

El sistema consiste en una serie de plataformas elevadoras, con tapa pavimentada, en una fosa de hormigón, quedando a la vista solamente el buzón de depósito, manteniendo un aspecto agradable, discreto e integrado con el espacio que los rodea.

La información sobre las características técnicas y ventajas de estos contenedores se resume en el anexo A.

²² <http://www.formatoverde.com/soterrados/que-es-un-soterrado.aspx>



Figura 25. Contenedores soterrados.

Fuente: Formatoverde. Com

4.3.2 Procedimiento

Para la ubicación y creación de rutas de recolección de contenedores se realizó lo siguiente.

- I. **Creación de redes.** Después de generar las zonas para rutas, lo siguiente era representar el área por medio de arcos y nodos.

De acuerdo con elementos que se necesitan para aplicar algoritmo del “agente viajero” se definió lo siguiente:

- **Nodos:** Estos están definidos como los lugares donde estarán los contenedores, estos puntos geográficos se establecieron en sitios donde se podía poner físicamente un contenedor y para ello se localizó un primer lugar arbitrariamente después los demás deberán cumplir la condición de cubrir un radio de 100 m y tener el menor traslape con las otras áreas de los nodos y cumplir con la condición física para colocar el contenedor.
- **Arcos:** Es distancia de la calle que es transitable para llegar de nodo y otro, está por la red de calles por donde puede circular el camión recolector.

El resultado de dicho análisis se muestra en la figura 26:

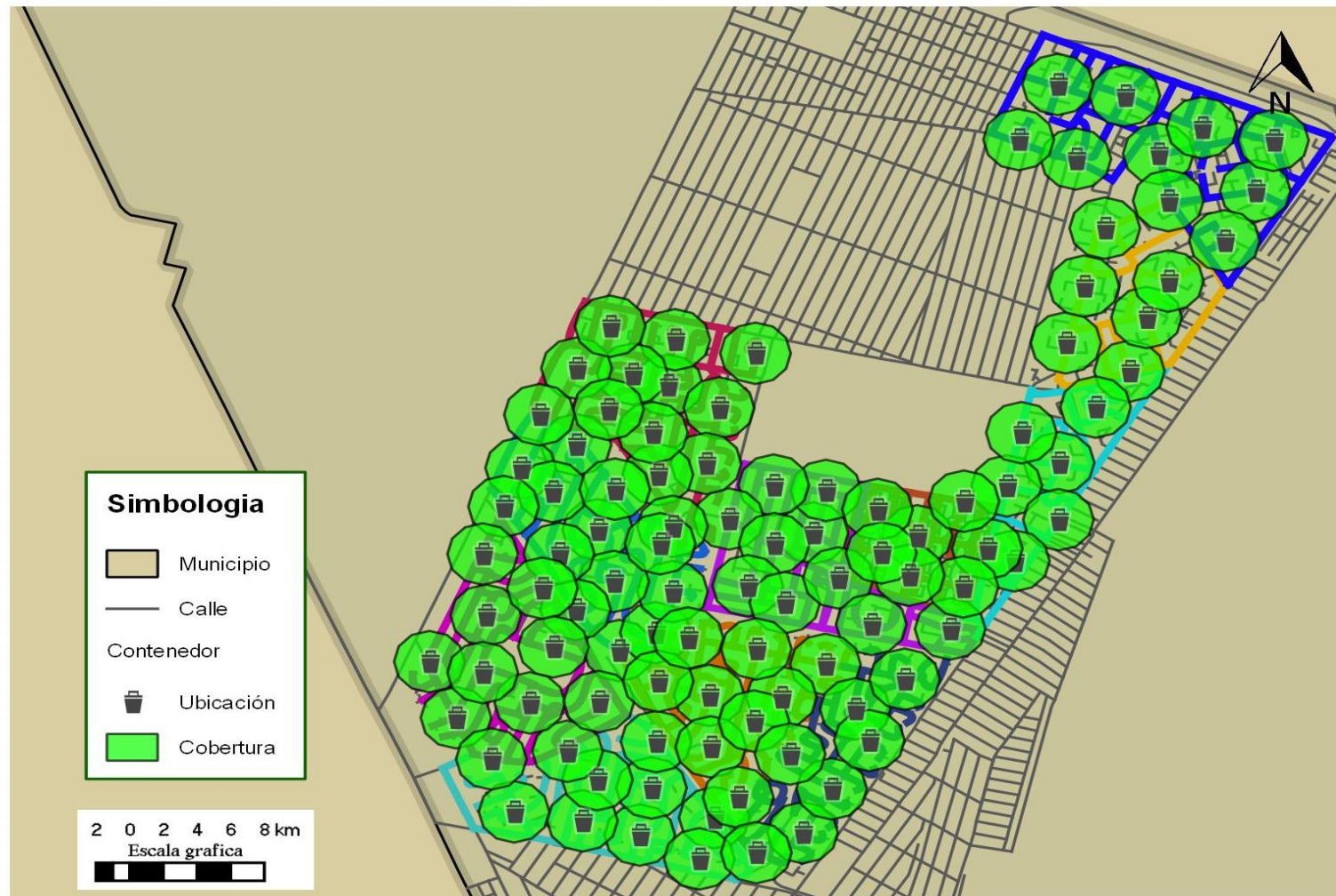


Figura 26. Ubicación propuesta de contenedores y cobertura de 100 metros.

Fuente: INEGI (2016), Vectorial de localidades ameznadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México y visita de campo.

Área	Número de nodos	Número de contenedores por nodo	Total de contenedores	Capacidad por contenedor m ³	Capacidad por nodo m ³	Capacidad total m ³
1	10	2	20	2.4	4.8	48
2	6	2	12	2.4	4.8	28.8
3	6	2	12	2.4	4.8	28.8
4	10	2	20	2.4	4.8	48
5	7	2	14	2.4	4.8	33.6
6	13	2	26	2.4	4.8	62.4
7	13	2	26	2.4	4.8	62.4
8	11	2	22	2.4	4.8	52.8
9	8	2	16	2.4	4.8	38.4
10	8	2	16	2.4	4.8	38.4
11	8	2	16	2.4	4.8	38.4
Total	100		200			480

Tabla 19 Numero de nodos por área y capacidad

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se muestra un grafo con la distancia existente entre cada uno de los nodos de una red y la conectividad que existe entre ellos, con el fin de ejemplificar el proceso que se siguió para la solución se toma como ejemplo la Ruta 13:

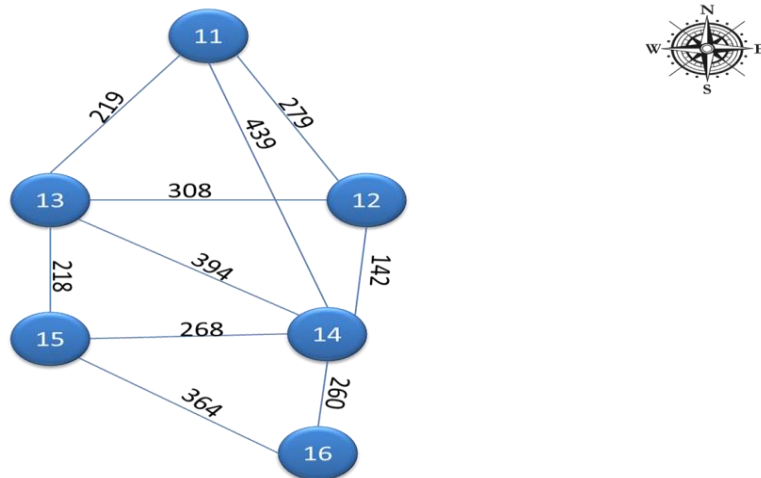


Figura 27. Distancia entre nodos de la ruta 13 en metros

Fuente: Elaboración propia

II. **Aplicación del algoritmo.** Con el fin de aplicar el algoritmo del “agente viajero” se plantea el siguiente modelo con la información de las distancias entre nodos de la figura 27.

Formulación matemática

$$\begin{aligned} \min Z = & 279x_{11,12} + 219x_{11,13} + 439x_{11,14} + 308x_{12,11} + 308x_{12,13} \\ & + 142x_{12,14} + 219x_{13,11} + 308x_{13,12} + 394x_{13,14} + 218x_{13,15} \\ & + 439x_{14,11} + 142x_{14,12} + 394x_{14,13} + 268x_{14,15} + 260x_{14,16} \\ & + 218x_{15,13} + 268x_{15,14} + 364x_{15,16} + 260x_{16,14} + 364x_{16,15} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$x_{11,12} + x_{11,13} + x_{11,14} = 1$$

$$x_{12,11} + x_{12,13} + x_{12,14} = 1$$

$$x_{13,11} + x_{13,12} + x_{13,14} + x_{13,15} = 1$$

$$x_{14,11} + x_{14,12} + x_{14,13} + x_{14,15} + x_{14,16} = 1$$

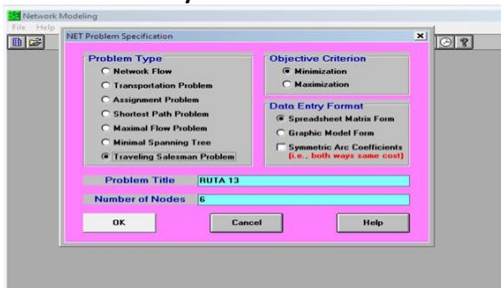
$$x_{15,13} + x_{15,14} + x_{15,16} = 1$$

$$x_{16,14} + x_{16,15} = 1$$

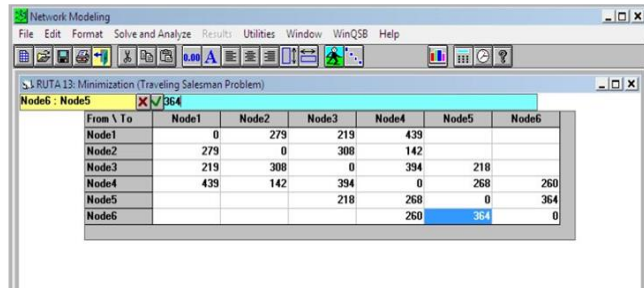
$$x_{i,j} \geq 0$$

III. **Solución del problema.** La resolución del modelo matemático fue resuelto con la herramienta WINQSB, utilizando la sección “Traveling Salesman Problem” con el método branch and bound.

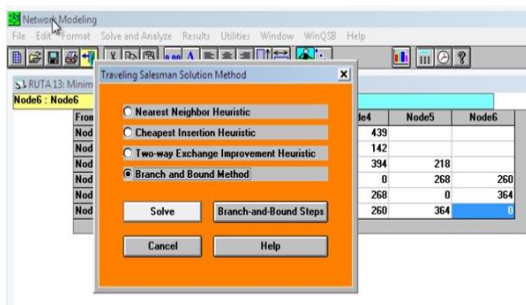
1 Selección del tipo de problema, número de nodos y formato de entrada



2 Se introduce el modelo matemático en forma matricial



3 Se selecciona resolver y después se selecciona por que método



4 Se obtiene la solución al problema

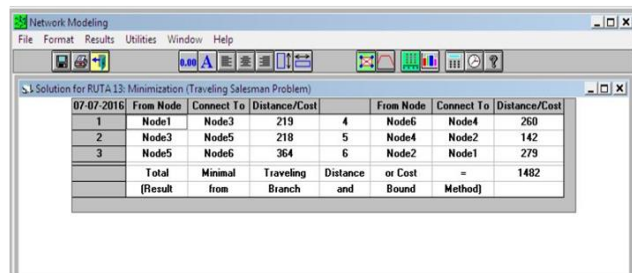


Figura 28. Proceso de resolución en WINQSB.

Fuente: Elaboración propia

IV. **Trazado de Ruta.** Con base en la solución dada por WINQSB se realiza el trazado de la ruta:

Primero se graficó en el formato de arcos y nodos, después se trasladó al SIG para ver su recorrido de manera mejor, en la figura 29 se observa el resultado del trazado de la ruta.

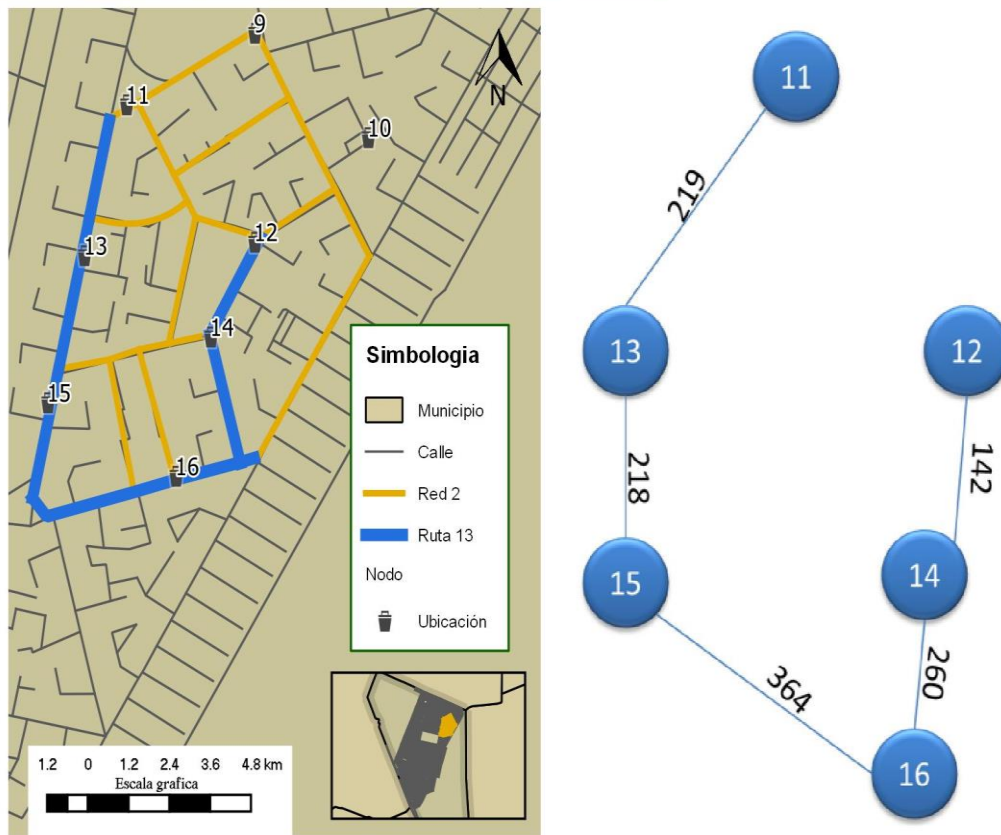


Figura 29 Trazo de Ruta 13

Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de mostrar los aspectos relevantes del procedimiento solo se ejemplificó esta zona. El procedimiento se aplicó en las 11 áreas involucradas, dando los resultados pertinentes.

V. Cálculo de capacidad

Como siguiente etapa de la propuesta consiste en conocer la cantidad de residuos que almacenará cada contenedor y los días es que será recolectado, puesto que, solo se determinó la zona y ruta de recolección.

De acuerdo con la información de INEGI y los datos generados en secciones anteriores, se midió la cantidad de residuos que existe en cada zona, dicha información se resume en la tabla 20.

Área	Generación de RSU (kg/día)
1	6,673
2	6,550
3	5,220
4	4,360
5	5,030
6	6,535
7	4,526
8	5,136
9	4,544
10	3,860
11	4,925
Total	57,359

Tabla 20. Total de Residuos sólidos por área.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del INEGI

Para determinar el volumen de los residuos sólidos, se calcula con la siguiente expresión que el instituto nacional de ecología y cambio climático (INECC) recomienda:

$$V = \frac{GT}{PV}$$

de donde

V: Volumen de Residuos Sólidos

GT: Generación total de Residuos (kg/día)

PV: Peso volumétrico (kg/m³)

El peso volumétrico, está dado de los siguientes datos proporcionados por INECC

	Fuente	Peso volumétrico Kg/m ³
1	Unifamiliar, plurifamiliar	228
2	T. De autoservicio	148
3	T. Departamentales	113
4	L. Comerciales	209
5	Almacenamiento y abasto	139
6	Restaurantes y bares	324
7	Servicios públicos	88
8	Hoteles y moteles	144
9	C. Educativos	84
10	C. De espectac. Y rec.	73
11	Oficinas públicas y privadas	80
12	Unidades medicas	130
13	Laboratorios	196
14	Veterinarias	157
15	Transporte terrestre	122
16	Transporte aéreo	142
17	C. de readapt. Social	217
18	Espacios abiertos	117
19	Vía pública	768

Tabla 21. Peso volumétrico in-situ.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del INECC

De acuerdo con la tabla 21, se ha considerado el valor de 228 Kg/m³, por ser considera la zona oriente de la zona norte de Nezahualcóyotl un área dormitorio, donde la mayoría son viviendas familiares. Con todo ello, se calculó el volumen de cada zona, los resultados se muestran en la siguiente tabla 22:

Área	Generación de RSU (kg/día)	Volumen de RSU (m ³)
1	6,673	29.27
2	6,550	28.73
3	5,220	22.89
4	4,360	19.12
5	5,030	22.06
6	6,535	28.66
7	4,526	19.85
8	5,136	22.53
9	4,544	19.93
10	3,860	16.93
11	4,925	21.60
Total	57,359	251.57

Tabla 22. Total de Residuos sólidos por área en kg y m³.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del INEGI

Con los datos calculados anteriormente se procede a verificar si los contenedores tienen la capacidad para los residuos generados, además de observar en cuantos días su capacidad sería rebasada.

Área	Generación de RSU (kg/día)	Volumen de RSU por día(m ³)	Capacidad total de los contenedores (m ³)	RSU en saturación del contenedor	Capacidad de carga del camión (kg)	Capacidad volumétrica del camión (m ³)
1	6,673	29.27	48	29.27	6,700	29.39
2	6,550	28.73	28.8	28.73	6,700	29.39
3	5,220	22.89	28.8	22.89	6,540	28.68
4	4,360	19.12	48	19.12	6,540	28.68
5	5,030	22.06	33.6	22.06	6,540	28.68
6	6,535	28.66	62.4	28.66	6,700	29.39
7	4,526	19.85	62.4	19.85	6,700	29.39
8	5,136	22.53	52.8	22.53	6,540	28.68
9	4,544	19.93	38.4	19.93	6,450	28.29
10	3,860	16.93	38.4	16.93	6,450	28.29
11	4,925	21.60	38.4	21.60	6,540	28.68
Total	57,359	251.57	480	251.57	72,400	317.54

Tabla 23. Total de Residuos sólidos por área en kg y m³, capacidad de contenedores y del camión recolector.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del INEGI y de la visita de campo

Se recomienda camiones Chagnon y Mcnelius, los cuales tendrían que realizar de 1 a 2 recorridos, dependiendo de la zona como se muestra en la figura 29, además podemos observar que se podría recoger la basura cada tercer día.

VI. Tiempo de recorrido

Con base en los resultados de WINQSB, se midió la cantidad de metros que recorre el vehículo y esta se multiplicó por la velocidad de recorrido (25 Km/h), además de sumar un tiempo de acomodo y carga de contenedores por nodo (10 min).

En la tabla 24 se muestra el tiempo de recorrido de cada ruta.

Ruta	Número de nodos	Tiempo de carga en cada nodo (min)	kilómetros recorridos por la Ruta	Tiempo de recorrido (min)	Tiempo total de la Ruta (hora: min)
1	10	10	2.580	6	01:46
2	6	10	1.250	3	01:03
3	6	10	2.240	5	01:05
4	10	10	2.670	6	01:46
5	7	10	1.080	3	01:13
6	13	10	3.080	7	02:17
7	13	10	2.680	6	02:16
8	11	10	2.560	6	01:56
9	8	10	2.230	5	01:25
10	8	10	1.720	4	01:24
11	8	10	1.640	4	01:24
Total	100	110	23.730	57	

Tabla 24. Longitud, tiempo de recorrido y carga de contenedores en cada ruta.

Fuente: Elaboración propia

4.4 Resultados

Como resultado de los análisis anteriores, el sistema propuesto de recolección se integra de:

- 22 rutas de recolección
- 11 por método de acera
- 11 por recolección de contenedores

Las 22 rutas beneficiarían a una población de habitantes 123,437, recolectado 1, 355,803 (kg/día) de residuos

Las 11 rutas por acera beneficiarían a una población de 71,292 habitantes, recolectado 78,444 (kg/día) de residuos.

Las 11 rutas por contenedores beneficiarían a una población de 52,145 habitantes, recolectado 57,359 (kg/día) de residuos.

El tiempo promedio de recorrido de cada ruta es 120 min (2 horas), lo que nos indica que en un turno de seis horas, se podrían realizar 2 rutas como mínimo, puesto que, el tiempo para llevarlo a la disposición final (tiradero), es aproximadamente de 1.5 horas de acuerdo con la información de campo. Con estos datos se propone dos turnos, uno de 8:00 a 14:00 horas y otro de 14:00 a 20:00 horas, la distribución de grupos de trabajo y rutas se muestra en la tabla 25.

Como resultado de la distribución de rutas y trabajo, se resume que con solo 8 grupos de trabajo de 4 personas y 8 vehículos, se atendería a la población de estudio que es más del 50% de la zona norte de Nezahualcóyotl. Además los 8 vehículos son de la flota actual del municipio por lo cual no habría una inversión en comprar vehículos nuevos.

En la figura 30 se muestra un comparativo de la utilización de los camiones con dicha propuesta en el área de estudio. Actualmente se deben utilizar 19 camiones para cubrir la zona de estudio puesto que es aproximadamente la mitad de la población de la zona norte con la propuesta solo se utilizaría un 30% de la capacidad actual.

La inversión por la implementación de la propuesta radicaría principalmente en la compra los contenedores y en la construcción de los sitios que albergarían dichos contenedores, puesto que, los camiones con los que cuenta el municipio son adaptables a los sistemas de los contenedores en la siguiente tabla 26 se elaboró con base en la información de dos compañías dedicadas a la instalación de estos sistemas (formato verde, plasticomnium).

Como se puede observar en la tabla 26 la inversión sería aprox. de 11.5 millones lo cual para el municipio representa el 0.3% de su presupuesto anual que ronda los 4 mil millones en 2016 con base en información del portal de información pública de oficio mexiquense (ipomex), de los cuales 900 millones aprox. se destinan para obra pública lo cual esta inversión en contenedores representaría el 1% de este presupuesto.

Grupo de trabajo	Número de trabajadores	Tipo de vehículo	Ruta	Tipo de recolección	Turno	Día de recolección	Distancia recorrida	Tiempo de recorrido	Horario de Servicio		Generación de RSU (Tn/día)
									Matutino	Vespertino	
1	4	Chagnon	10	Acera	Mat/Vesp	Todos los días	7.92	02:05	8:00 a 11:00	14:00 a 17:00	8.35
			11	Acera	Matutino	Todos los días	7.03	01:54	11:00 a 14:00		5.81
2	4	Chagnon	8	Acera	Mat/Vesp	Todos los días	16.24	03:23	8:00 a 13:00	14:00 a 19:00	9.47
3	4	Chagnon	7	Acera	Mat/Vesp	Todos los días	14.44	03:45	8:00 a 13:00	14:00 a 19:00	9.30
4	4	Chagnon	16	Contenedores	Vespertino	Todos los días	1.08	01:13		14:00 a 17:00	5.03
			15	Contenedores	Vespertino	Todos los días	2.67	01:46		17:00 a 20:00	4.36
			21	Contenedores	Matutino	Todos los días	1.72	01:24	8:00 a 11:00		3.86
			22	Contenedores	Matutino	Todos los días	1.64	01:24	11:00 a 14:00		4.93
5	4	Chagnon	1	Acera	Vespertino	Todos los días	9.49	02:24		14:00 a 17:00	6.25
			14	Contenedores	Vespertino	Todos los días	2.24	01:05		17:00 a 20:00	5.22
			19	Contenedores	Matutino	Todos los días	2.56	01:56	8:00 a 11:00		5.14
			20	Contenedores	Matutino	Todos los días	2.23	01:25	11:00 a 14:00		4.54
6	4	McNeilus	3	Acera	Matutino	Todos los días	5.26	01:33	8:00 a 11:00		6.65
			9	Acera	Matutino	Todos los días	5.75	01:39	11:00 a 14:00		6.62
			12	Contenedores	Vespertino	Todos los días	2.58	01:46		14:00 a 17:00	6.67
			13	Contenedores	Vespertino	Todos los días	1.25	01:03		17:00 a 20:00	6.55
7	4	McNeilus	4	Acera	Matutino	Todos los días	6.64	01:50	8:00 a 11:00		6.57
			5	Acera	Vespertino	Todos los días	5.12	01:31		14:00 a 17:00	6.44
			17	Contenedores	Matutino	Todos los días	3.08	02:17	11:00 a 14:00		6.54
			18	Contenedores	Vespertino	Todos los días	2.68	02:16		14:00 a 17:00	4.53
8	4	Universal	2	Acera	Matutino	Todos los días	9.12	02:19	8:00 a 11:00		4.85
			6	Acera	Mat/Vesp	Todos los días	8.20	02:08	11:00 a 14:00	17:00 a 20:00	8.13
Total	32	8									

Tabla 25 Distribución de Rutas y grupos de trabajo.

Fuente: Elaboración propia

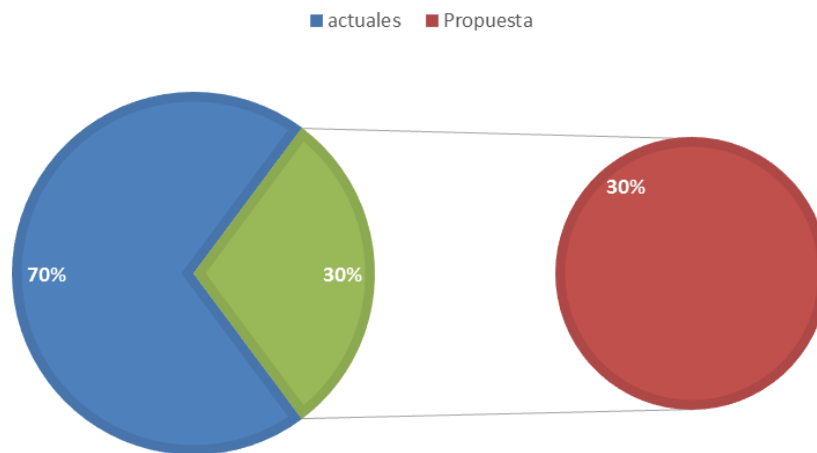


Figura 30 Utilización de camiones en el área de estudio

Fuente: Elaboración propia

Costo por depósito de dos contenedores		
Concepto	costo en pesos (\$) min-Max	costo promedio en pesos (\$)
Depósito de almacenamiento	10,000 -13,000	\$11,500
Sistema	60,000-85,000	\$72,500
Deposito exterior	2,000- 4,000	\$3,000
Contenedor dúplex	25,000- 30,000	\$27,500
	Costo promedio total	\$114,500
Costo por 100 depósitos de dos contenedores		
Número de contenedores	costo unitario	total en pesos (\$)
100	\$ 114,500	\$ 11,450,000

Tabla 26 Costo de implementación de contenedores

Fuente: Elaboración propia con base en información de formato verde, plasticomnium

Descripción de resultados

De la figura 31 a la 41 se muestran las rutas propuestas para la recolección por el método de acera

De la figura 42 a la 52 se muestran las rutas propuestas para la recolección por el método de contenedores

Para poder visualizar las rutas se diseñó un formato con los siguientes elementos los cuales describen a cada ruta.

- **Longitud de la Ruta (Km):** Distancia que recorrerá el vehículo medida en kilómetros.
- **Días de Operación:** Frecuencia del servicio de recolección de la ruta en cuestión.
- **Turno de operación:** periodo del servicio de recolección de la ruta en cuestión, matutina o vespertina.
- **Horario de servicio:** horario específico del servicio de recolección de la ruta en cuestión.
- **Demanda Total (Ton/día):** Generación de residuos de la ruta, medida en toneladas por día.
- **Capacidad del vehículo (Ton):** Cantidad de residuos que es capaz de recolectar el vehículo destinado a la ruta, medido en toneladas.
- **Tipo de vehículo:** especificación del modelo de vehículo a utilizar en la ruta de acuerdo con los que cuenta el municipio.
- **Tiempo de recorrido total (hora: min):** el tiempo de recorrido de la ruta medido en horas y minutos.
- **Nodos a seguir:** es el consecutivo de nodos que la ruta debe seguir

Los siguientes campos solo serán utilizados para las rutas de contenedores

- **Número de nodos:** la cantidad de nodos con dos contenedores que existen en la ruta
- **Tiempo de carga del nodo (min):** el tiempo de vaciado del contenedor al camión.
- **Tiempo total de carga de contenedores (horas: min):** La suma de los tiempos de carga de todos los contenedores.

Recolección por acera

Ruta 1



Nodos a seguir

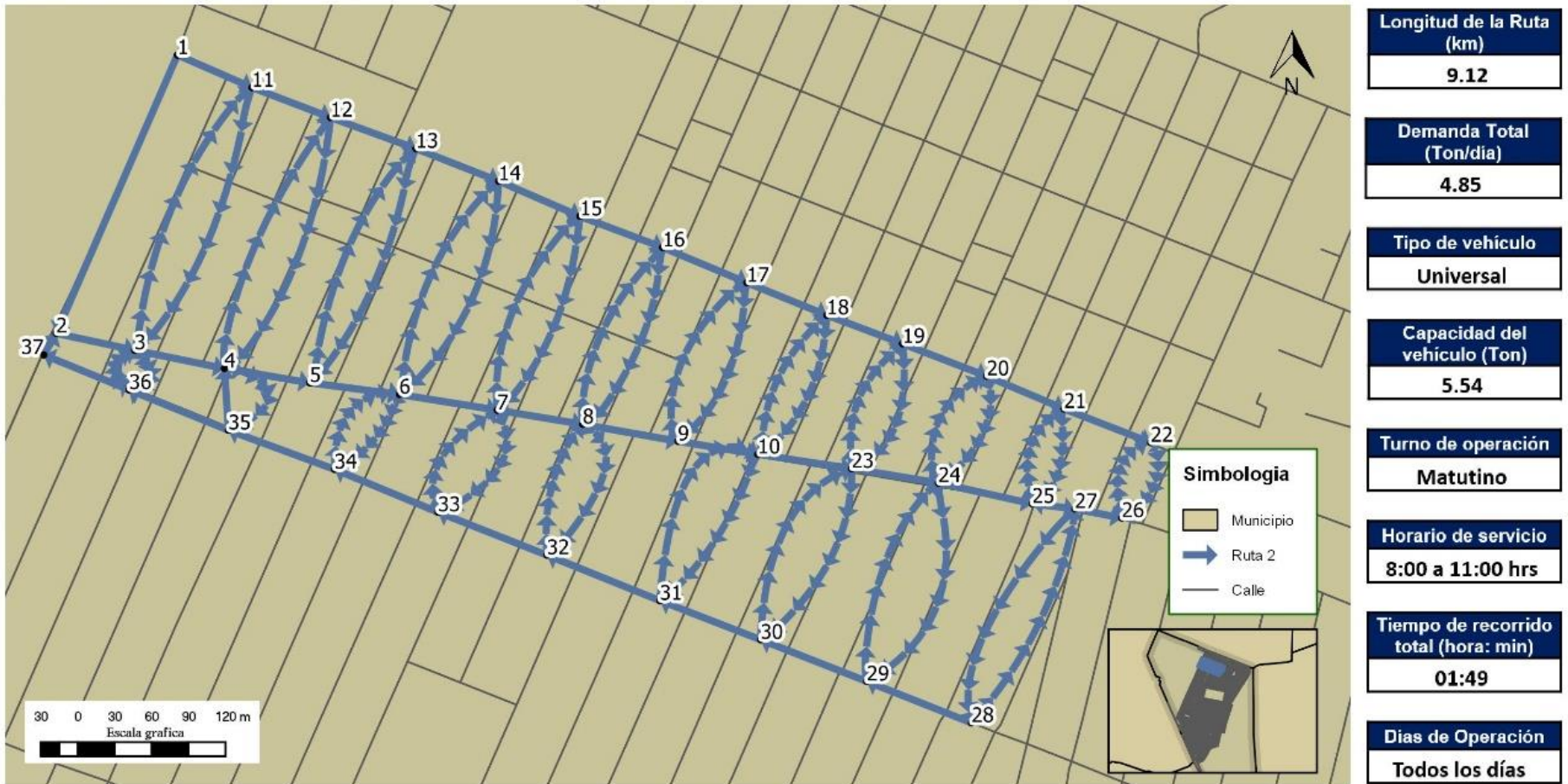
1→2→3→4→3→11→5→11→12→6→12→13→7→13→14→8→14→15→9→15→16→10→16→17→18→23→24→26→24→26→25
 →23→25→19→20→27→22→27→28→35→28→29→34→29→30→33→30→31→32→33→34→35→22→21→20→21→22→35→34
 →33→32→10→9→8→7→6→5→4→1

Figura 31 Recolección por acera Ruta 1

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 2



Nodos a seguir

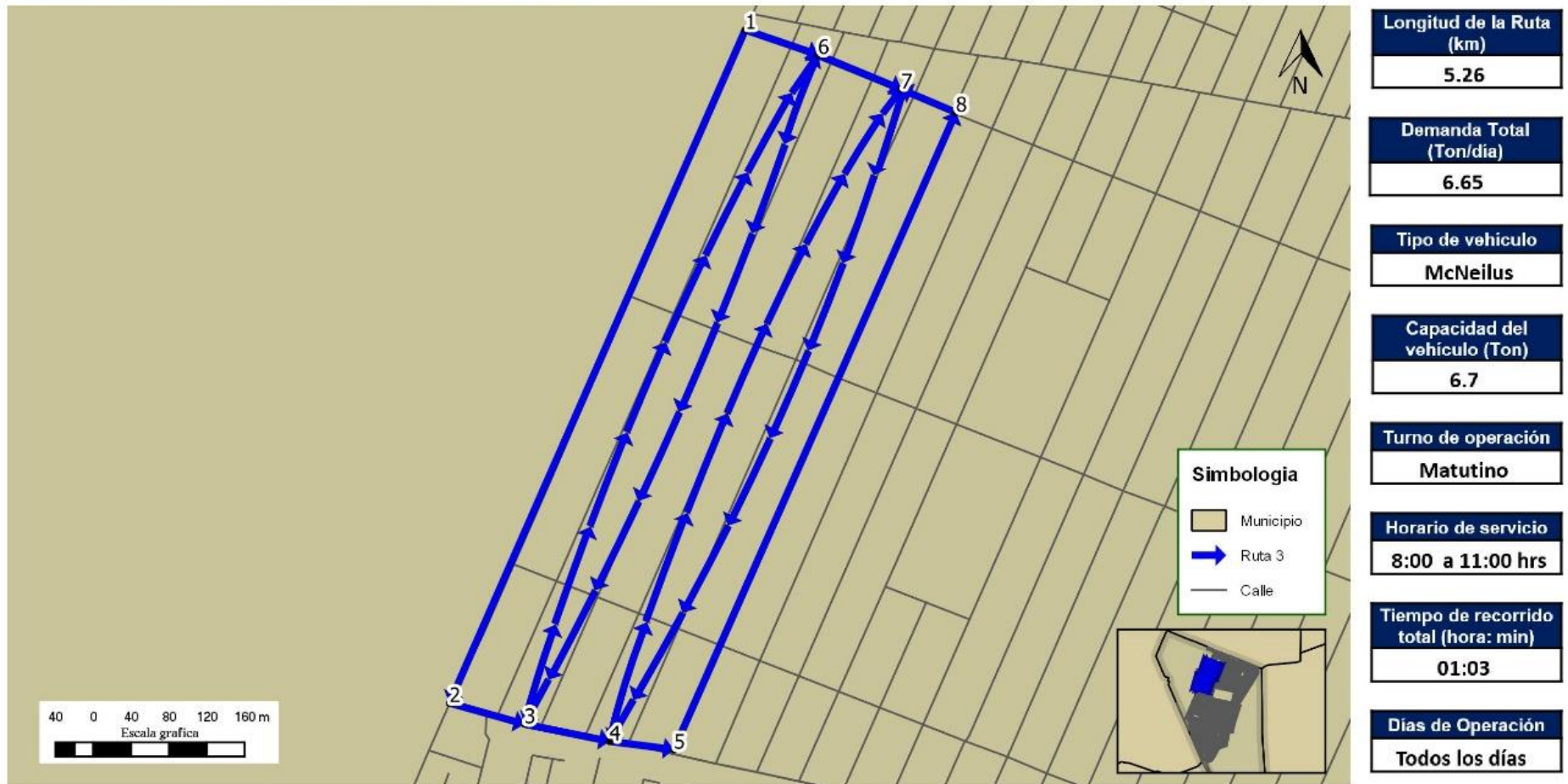
1→2→3→11→3→4→12→4→5→13→5→6→14→6→7→15→7→8→16→8→9→17→9→10→18→10→23→19→23→24→20→24
 →25→21→25→27→26→22→26→22→21→20→19→18→17→16→15→14→13→12→11→1→2→37→36→3→36→35→4→35
 →34→6→34→33→7→33→32→8→32→31→10→31→30→23→30→29→24→29→28→27→28

Figura 32 Recolección por acera Ruta 2

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 3



Nodos a seguir 1→2→3→4→5→8→7→4→7→6→3→6→1

Figura 33 Recolección por acera Ruta 3

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 4



Nodos a seguir 1→2→3→10→3→4→12→11→9→11→12→4→5→8→5→6→7→8→9→10→1

Figura 34 Recolección por acera Ruta 4

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 5



Nodos a seguir 1→2→3→6→3→4→7→4→5→9→10→5→8→7→6→1

Figura 35 Recolección por acera Ruta 5

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 6



Nodos a seguir

1→2→3→7→3→4→9→4→5→8→5→6→10→6→10→8→9→7→1

Figura 36 Recolección por acera Ruta 6

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 7



Figura 37 Recolección por acera Ruta 7

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 8



Nodos a seguir

1→2→3→2→11→4→11→12→6→12→13→7→13→14→8→14→15→9→15→16→10→16→46→52→46→41→57→52
 →47→48→44→49→44→43→45→43→40→51→40→39→50→39→37→38→37→29→30→31→27→26→25→33→25
 →24→19→24→23→32→23→21→22→32→36→33→36→34→35→30→29→28→34→28→22→21→20→19→26→27
 →31→38→45→10→9→8→7→6→5→4→3→5→3→17→1

Figura 38 Recolección por acera Ruta 8

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 9



Longitud de la Ruta (km)	5.75
Demanda Total (Ton/día)	6.62
Tipo de vehículo	McNeilus
Capacidad del vehículo (Ton)	6.7
Turno de operación	Matutino
Horario de servicio	11:00 a 14:00 hrs
Tiempo de recorrido total (hora: min)	01:09
Días de Operación	Todos los días

Nodos a seguir 54→53→75→53→56→53→74→55→79→74→79→58→55→56→42→54→59→75→76→77→76→78→80→77

Figura 39 Recolección por acera Ruta 9

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 10



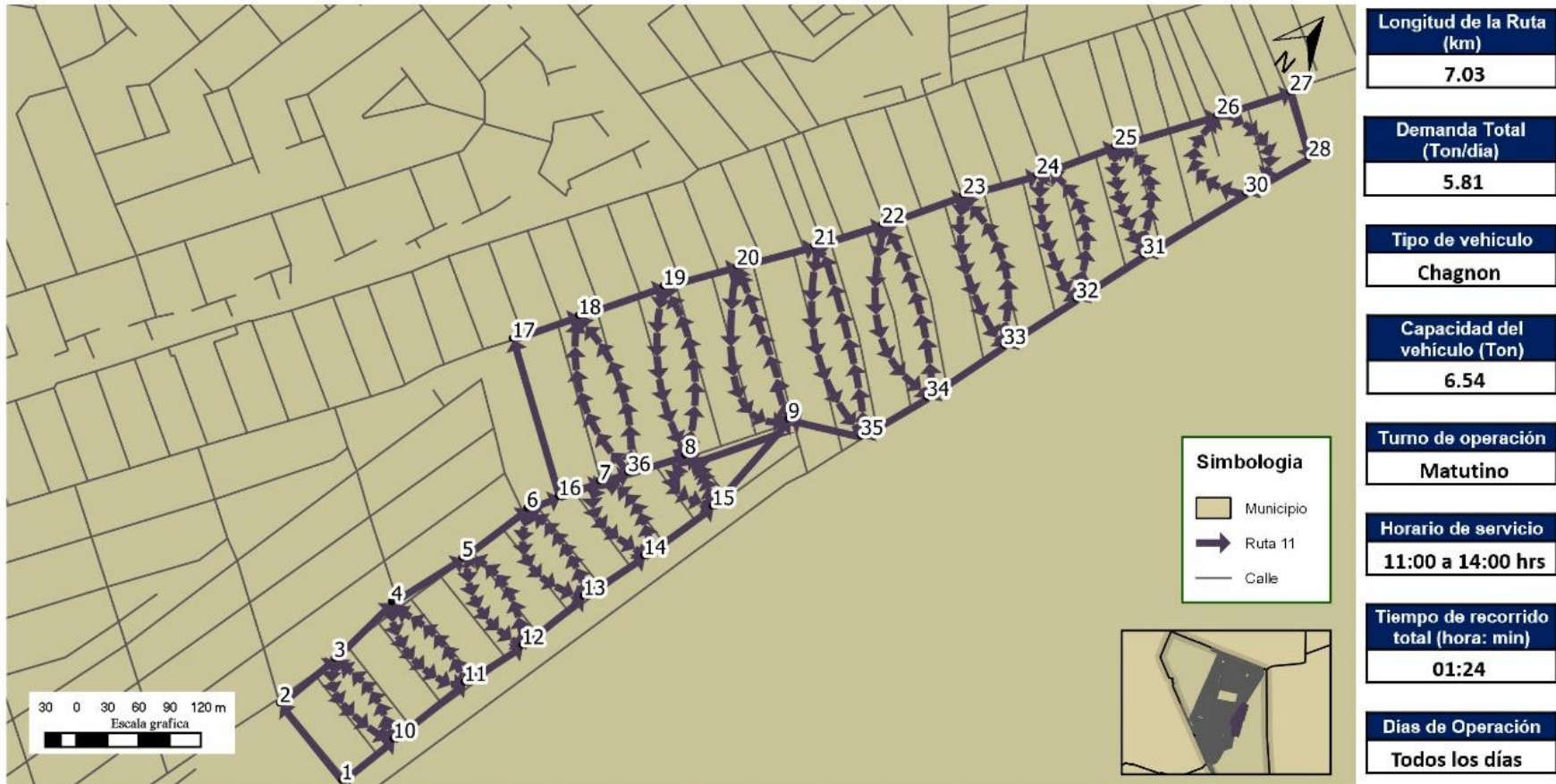
Nodos a seguir 66→63→66→69→65→62→65→64→61→64→60→61→62→63→66→69→70→71→67→60→67→71
 →7 → 2 →68→73→68→67

Figura 40 Recolección por acera Ruta 10

Fuente: Elaboración propia

Recolección por acera

Ruta 11



Nodos a seguir

1→2→3→10→3→4→11→4→5→12→5→6→13→16→7→14→7→36→8→15→8→9→20
 →19→8→19→18→36→18→17→16→36→7→36→8→9→20→21→35→21→22→34→22
 →23→33→23→24→32→24→25→31→25→26→30→26→27→28→30→31→32→33→34
 →35→9→15→14→13→12→11→10→1

Figura 41 Recolección por acera Ruta 11

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 12



Figura 42 Recolección por contenedores Ruta 12

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 13



Figura 43 Recolección por contenedores Ruta 13

Fuente: Elaboración propia



Figura 44 Recolección por contenedores Ruta 14

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 15

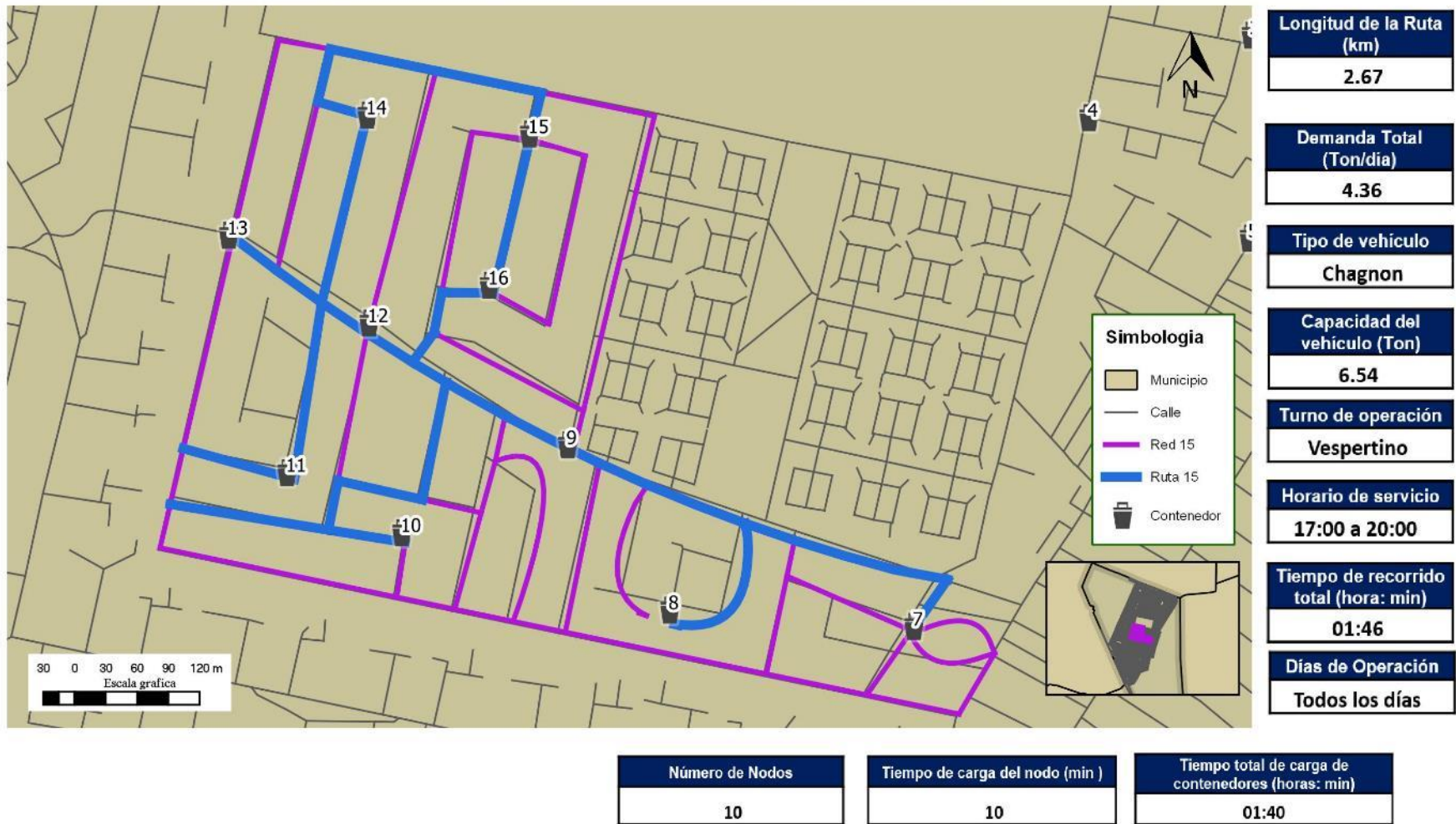


Figura 45 Recolección por contenedores Ruta 15

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 16



Figura 46 Recolección por contenedores Ruta 16

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 17



Figura 47 Recolección por contenedores Ruta 17

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 18

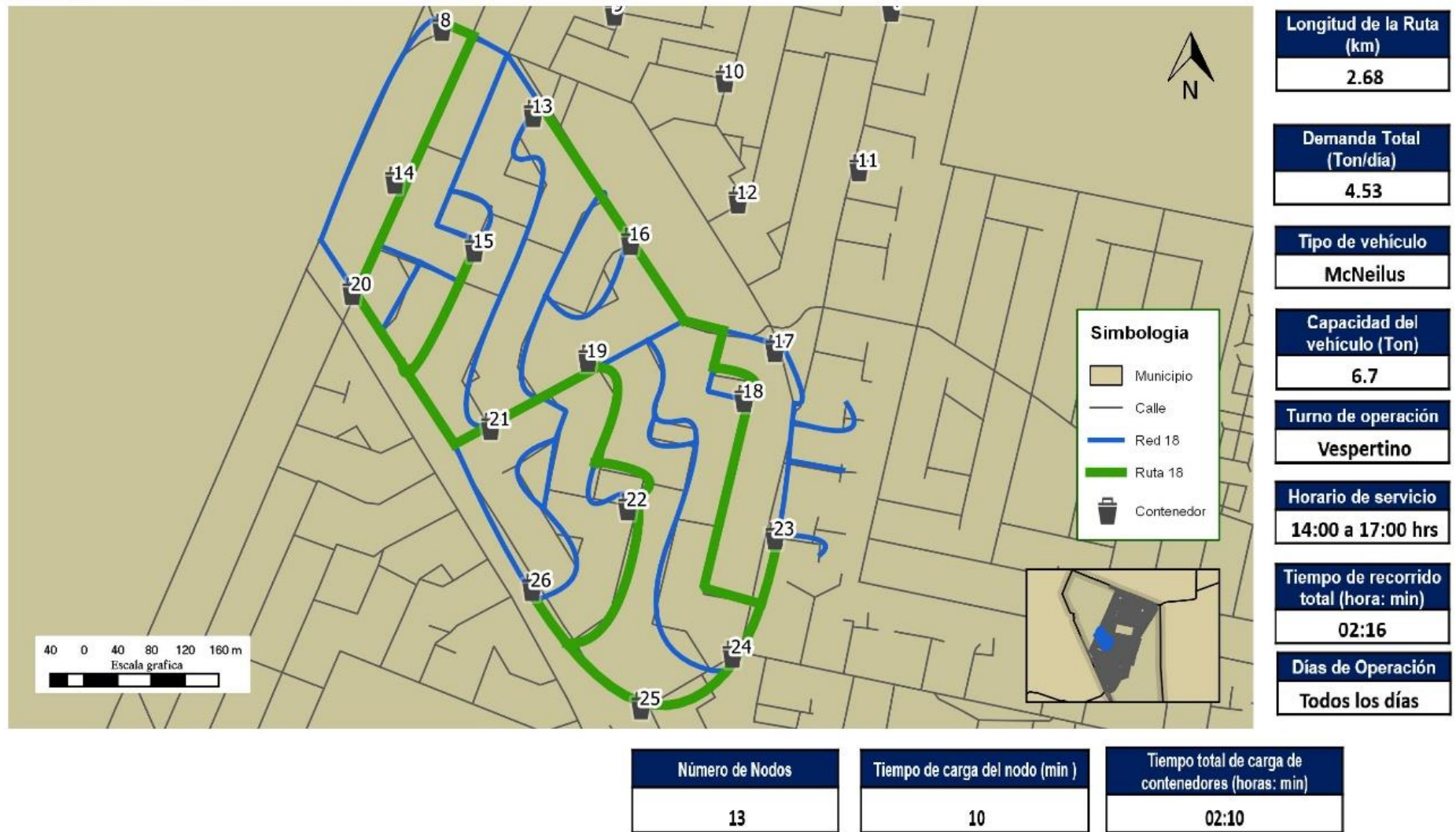


Figura 48 Recolección por contenedores Ruta 18

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 19

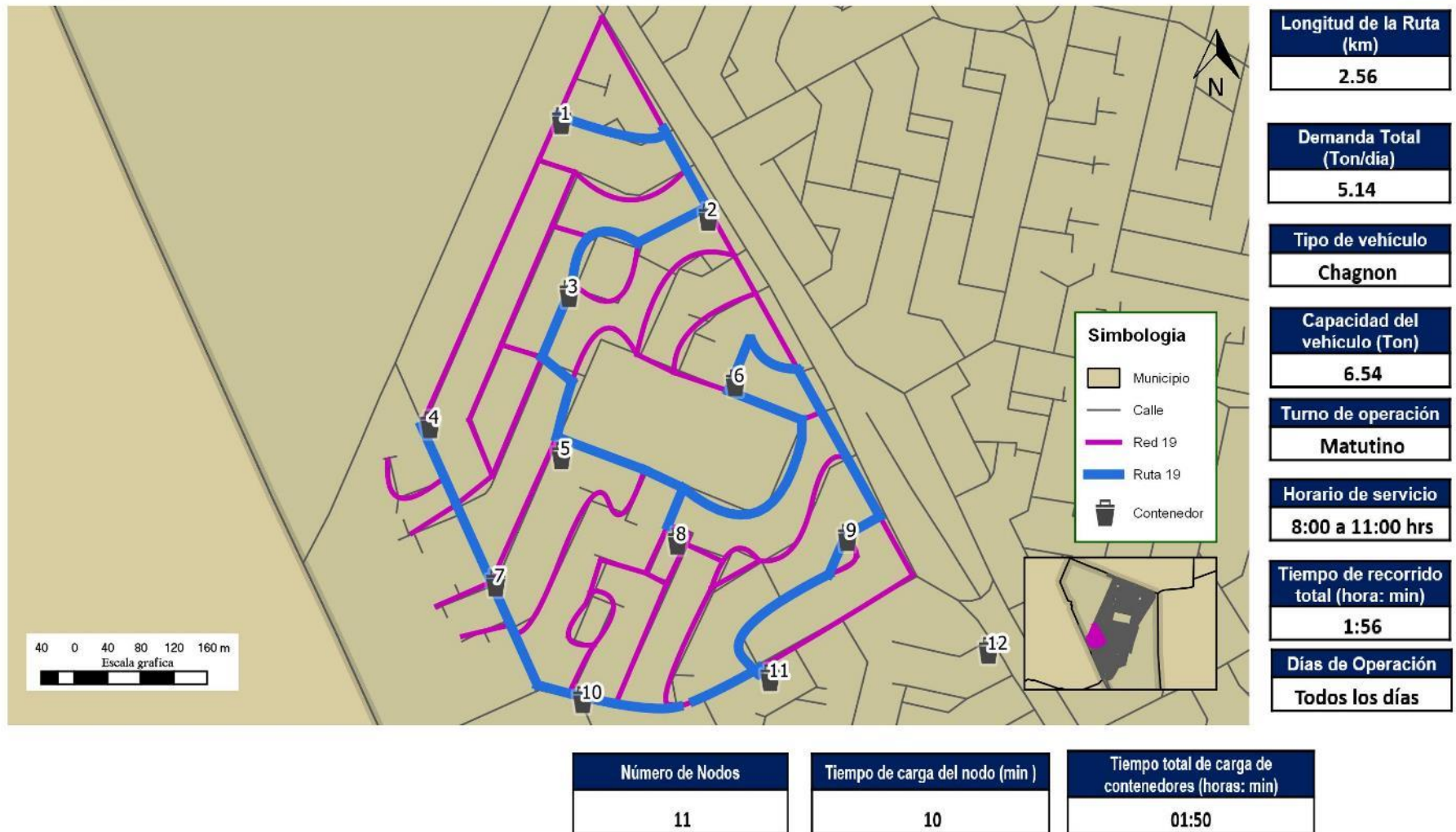


Figura 49 Recolección por contenedores Ruta 19

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 20



Figura 50 Recolección por contenedores Ruta 20

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 21



Figura 51 Recolección por contenedores Ruta 21

Fuente: Elaboración propia

Recolección por Contenedores

Ruta 22



Figura 52 Recolección por contenedores Ruta 22

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 5. Conclusiones

Tras un análisis del problema presentado a lo largo de todo el trabajo, se observa que es necesario realizar una reestructuración del sistema de recolección tomando en cuenta las condiciones que existen en esta zona, para que las mejoras no solo se realicen con base en la disminución de los gastos de combustible y desgaste de la maquinaria, sino que además se distribuya la carga de trabajo y se disminuya el número de vehículos y personal necesario para realizar la recolección.

El presente trabajo aporta una modificación a las rutas actuales, mediante las características particulares de su oferta y demanda. Con la estimación de los índices de generación per cápita de residuos se puede identificar las principales zonas con mayor producción de RSU, así como la magnitud o capacidad del servicio que debería existir. De tal forma que el método que utilizan actualmente pueda ser sustituido. De acuerdo con los análisis descritos en el trabajo y las herramientas empleadas, el sistema mejora en términos de la cantidad de territorio cubierto y el suministro adecuado de las capacidades de los vehículos, cumpliendo así con el objetivo inicial de la investigación además se observa que los tiempos de recorrido son menores, puesto que, cuando se realizó el estudio de algunas rutas en la zona norte, su tiempo de recorrido era de 3.8 y 4 horas para 7.5 y 7.9 km respectivamente y en la propuesta los tiempos de recorrido promedio es de 2 horas para recorridos de 5 a 9 km además se crea una propuesta para que la recolección en calles no ortogonales sea más eficiente.

También el presente trabajo demuestra que el sistema podría utilizarse mejor al tener menos caminos recolectores lo cual representaría un ahorro en combustible y mantenimiento.

Es claro, que el tema de recolección de residuos sólidos urbanos es algo ya tratado en diversas partes del mundo con metodologías y resultados efectivos, pero es preciso mencionar que no son recetas de cocina que se puedan ocupar en todos los casos, esto es porque la generación de residuos no depende de un solo factor sino de costumbres, cultura, ideologías entre otros. Es por lo cual, que al momento de realizar el microruteo de recolección se consideren primero las limitaciones del algoritmo y la información y condiciones existentes, para que los resultados puedan ser óptimos.

Es verdad que un sistema de recolección diseñado de manera óptima, traería como resultado un servicio totalmente eficiente, es decir, reduciría costos de operación, maximizaría los tiempos de operación, las distancias de recorrido serían menores, se utilizaría a su máxima capacidad los vehículos entre otros aspectos, sin embargo, después de que la operación del sistema sea eficiente es necesario estar monitoreando cada cierto periodo de tiempo esto puede ser cada seis meses, puesto que, se pueden dar cambio en la generación de residuos sólidos, como la concentración de mayor residuos en una zona, un cambio de estilo de vida de los pobladores, el incremento de la población en un área o la creación de nuevas zonas habitacionales.

Es claro decir que ningún método o estudio es infalible y que por si solo arroje los mejores resultados, por ello, es necesario que las autoridades y el sistema de limpia se comprometan y responsabilicen con el sistema de recolección de residuos sólidos urbanos, que el sistema se mantenga constante en sus días de paso y que respete los horario para que los usuarios vayan formando un cultura de recolección, porque si la inconsistencia del sistema se presenta el sistema perderá su eficiencia y las personas volverán a algunas de sus costumbres como acumular basura en las esquinas o lotes baldíos entre otros aspectos.

Como conclusión final, el presente trabajo se realizó con un primer propósito de formar mis conocimientos y mejorar algunas de mis habilidades, pero también se realizó pensando en mejorar la calidad de vida de las personas, es claro que estos temas son delicados de tratar por las condiciones que se tratan, la intensión real de esta propuesta es mejorar las condiciones de vida de los habitantes manteniendo un equilibrio entre el medio ambiente y las personas mediante las herramientas que la ingeniería proporciona.

Los resultados presentados se ajustan a los datos e información disponible, alguna de esta información se actualizó a la fecha y por lo cual las condiciones de este trabajo indudablemente pueden variar.

Referencias

A.A. Assad y B.L. Golden (1995). "Arc routing methods and applications" Handbooks in operations research and management science, Volume 8.

Alexander Ayala Rodríguez, Edgar Gonzáles Butrón (2001), asignación de rutas de vehículos para un sistema de recolección de residuos sólidos en la acera, Revista de Ingeniería, Issue 13, p5-11.

Ángel Corberán (2014), "Arc Routing: Problems, Methods, and applications" EUA: Society for Industrial and Applied Mathematics and the Mathematical Optimization Society, 2014

C.S Orlo. (1974). A fundamental problem in vehicle routing. Networks, 4: 35-64.

Claverol M, Simo E y Zaragoza M. (2011). Matemática discreta: Teoría de grafos. Departamento de Matemáticas Aplicadas IV, EPSEVG-UPC

E-consulta (2013), instalación de contenedores en el centro de Puebla. <http://www.e-consulta.com/nota/2013-10-06/ciudad/instalan-contenedores-soterrados-de-basura-en-el-centro-de-puebla>

Edmonds, J.; Johnson, E. L Matching (1973), Euler Tours and the Chinese Postman, Match. Programming 5, 88-124

ENGM (2004) Encuesta Nacional de Gobiernos Municipales, México, Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Formato verde (2016), empresa dedica a la venta de sistemas para la recolección de residuos sólidos, www.formatoverde.com

Granados Francisco (2002). Tesis de Maestría en Ingeniería (Transporte) titulada: "Análisis de redes para la identificación de corredores de transporte de carga en la ZMVM", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México.

INECC (2011). **Peso Volumétrico in situ** <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/105/2.html>

INECC/SEMARNAT. (2013). Diagnóstico Básico para la Gestión integral de Residuos 2012. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001408.pdf>

INEGI (2012) Recursos naturales, clima, www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?

INEGI (2015), Mapas de México. http://www.beta.inegi.org.mx/app/areas_geograficas/?ag=15

INEGI (2016), Vectorial de localidades amanzanadas y números exteriores de ciudad Nezahualcóyotl y marco geo estadístico, México

INEGI. (2010). Censo de Población y Vivienda. www.inegi.org.mx › Estadística › Censos y conteos de población y vivienda

IPOMEX (2016), presupuesto anual del municipio de Nezahualcóyotl. <http://www.ipomex.org.mx/ipo/portal/nezahualcoyotl/presupuesto/2016.web>

Kwan Mei-Ko (1962), Graphic programming using odd or even points. Chinese Mathematics, 1: 237-277, 1962.

LGEEPA (2012), Ley General de Equilibrio Ecológico y Proyección al Ambiente, México. www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm

LGPGIR. (2012). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Cámara de Diputados. México. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263.pdf>

LRSDF. (2012). Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Asamblea legislativa del Distrito Federal III legislatura, México: [ordenjuridico.gob.mx/ Publicaciones /CDs2011 /CDResiduos/pdf/LEY-11-.pdf](http://ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/CDs2011/CDResiduos/pdf/LEY-11-.pdf)

Michael F. Goolchild, Bradley O. Parks, Louis T. Steyaert. (1999). Environmental Modeling with GIS/Ed. By New York: Oxford University.

Miguel Ángel Gutiérrez Andrade (1988) Tesis de Maestría en Ingeniería (Investigación de operaciones) titulada: "El problema del cartero chino y sus extensiones", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México

Norma Mexicana NMX-AA-019-1985 Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales-Peso Volumétrico "IN SITU". <http://www.itlp.edu.mx/sg/SISTEMA%20DE%20GESTI%D3N%20AMBIENTAL/4.3.2%20REQUISITOS%20LEGALES/LEYES/NMX-081.PDF>

Omar Rivas Martínez (2015). Tesis de Maestría en Ingeniería (Transporte) titulada: "Propuesta de mejora para la recolección de residuos sólidos urbanos (RSU), en la delegación la magdalena contreras", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México

PGIRS (2009). Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, México, Diario Oficial de la Federación, 4 de Noviembre de 2009.

Plasticomnium (2016), empresa dedicada a la venta de sistemas de mejoramiento ambiental; www.plasticomnium.com

Puebla online (2015), instalación de contenedores en el centro de puebla. http://www.pueblaonline.com.mx/index.php?option=com_k2&view=item&id=45433:instalan-10-contenedores-soterrados-en-centro-hist%C3%B3rico-de-puebla&Itemid=125

Qgis, sistema de información Geográfica, (de código abierto), <http://www.qgis.org>

SEDESÓL (1999). Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales D.F. México.

SEDESÓL (2001). Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales D.F. México

SEMARNAT (2001) Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. http://www.sustenta.org.mx/3/wp-content/files/GUIA_GIRSM_SEMARNAT_2001.pdf

SEMARNAT (2001) Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT.

SEMARNAT (2012), Informe de la situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental. D.F. México 2012.

Transcad, sistema de información Geográfica, (licencia académica), www.caliper.com

WinQSB, software para la resolución de problemas de investigación de operaciones (licencia académica).

Yazmin Pineda Amador (2015). Tesis de Maestría en Ingeniería (Investigación de operaciones) titulada: "Rediseño de rutas de recolección de residuos sólidos mediante el Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados sobre Arcos", División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México

A.A. Assad y B.L. Golden (1995). "Arc routing methods and applications" Handbooks in operations research and management science, Volume 8.

Ángel Corberán (2014), "Arc Routing: Problems, Methods, and applications" EUA: Society for Industrial and Applied Mathematics and the Mathematical Optimization Society, 2014

C.S Orloff. (1974). A fundamental problem in vehicle routing. Networks, 4: 35-64.

Claverol M, Simo E y Zaragoza M. (2011). Matemática discreta: Teoría de grafos. Departamento de Matemáticas Aplicadas IV, EPSEVG-UPC

Edmonds, J.; Johnson, E. L Matching (1973), Euler Tours and the Chinese Postman, Match. Programming 5, 88-124

Kwan Mei-Ko (1962), Graphic programming using odd or even points. Chinese Mathematics, 1: 237-277, 1962.

Anexo A



Contenedores Soterrados



Ocultar la basura

Elimina el impacto estético que genera la basura en la calle. Oculta los contenedores que se encuentran en superficie, consiguiendo espacios diáfanos y transitables. Cada contenedor es sustituido por un buzón.

Dignifica el entorno

Dignifica el espacio urbano, pudiéndose recuperar para otros usos acordes al centro de una ciudad, restaurantes, plazas, terrazas, ... además de minimizar el mobiliario urbano visible.

Fomenta la recogida selectiva

Fomenta la recogida selectiva, por el impacto que causa su instalación, y la facilidad de acceso y uso.

Mejora la accesibilidad

Facilita al ciudadano el depósito de su basura. Es accesible para cualquier usuario: niños, mayores, discapacitados...

Reduce los malos olores

La basura queda bajo suelo, cubierta con una tapa con cierre de goma lo que reduce los malos olores que salen a la superficie.

Mejora la higiene

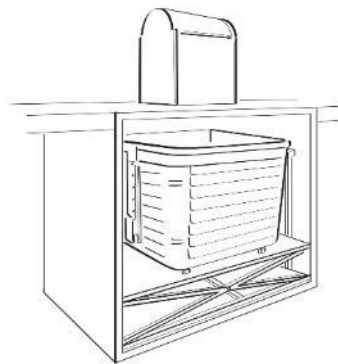
Impide el acceso a la basura a personas no autorizadas y que los animales la esparzan.



Antes & Después

Los Contenedores Soterrados están destinados a la recogida de Residuos Sólidos Urbanos. La basura queda bajo tierra enterrando el contenedor que tradicionalmente estaba a la vista, quedando este oculto bajo una tapa con el mismo acabado que la acera.

El sistema consiste en una serie de plataformas elevadoras, con tapa pavimentada, en un foso de hormigón, quedando a la vista solamente el buzón de depósito, manteniendo un aspecto agradable, discreto e integrado con el espacio que los rodea.



Componentes

Buzón Ringo

El buzón Ringo es el único elemento del sistema soterrado que queda visible y accesible al usuario, por ello su diseño ha sido pensado para integrarse de la mejor manera al espacio urbano actual, creando una continuación entre este entorno y el equipo.

Ringo intenta responder de la mejor manera a las necesidades del usuario consiguiendo accesibilidad, seguridad y sofisticación en todos sus movimientos.

Es compatible con todos los sistemas de soterramiento actuales.



Sistema Side Compatible con camiones y contenedores de Carga Lateral

Para 1 ó 2 contenedores de Carga Lateral (2.400L, 3.200L, 4.000L).

Para posicionar los contenedores en superficie, se acciona el sistema hidráulico de elevación de la plataforma y mientras esta asciende se abre la tapa automáticamente. Los contenedores posicionados en superficie, pueden ser tomados como cualquier otro contenedor convencional.

El equipo Side es el más versátil, ya que además de contenedores de carga lateral permite trabajar con contenedores de carga trasera y carga pluma. Permite el ajustamiento cualquier cambio de sistema de recogida sin sobrecortes.



Sistema Back Compatible con camiones y contenedores de Carga Trasera

Para soterrar de 2 a 4 contenedores de Carga Trasera.

Para posicionar los contenedores en superficie, se eleva la plataforma. Una vez posicionados al nivel de la acera, son extraídos rotando como en la recogida en superficie.



Sistema Clip Compatible con camiones y contenedores de Carga Pluma

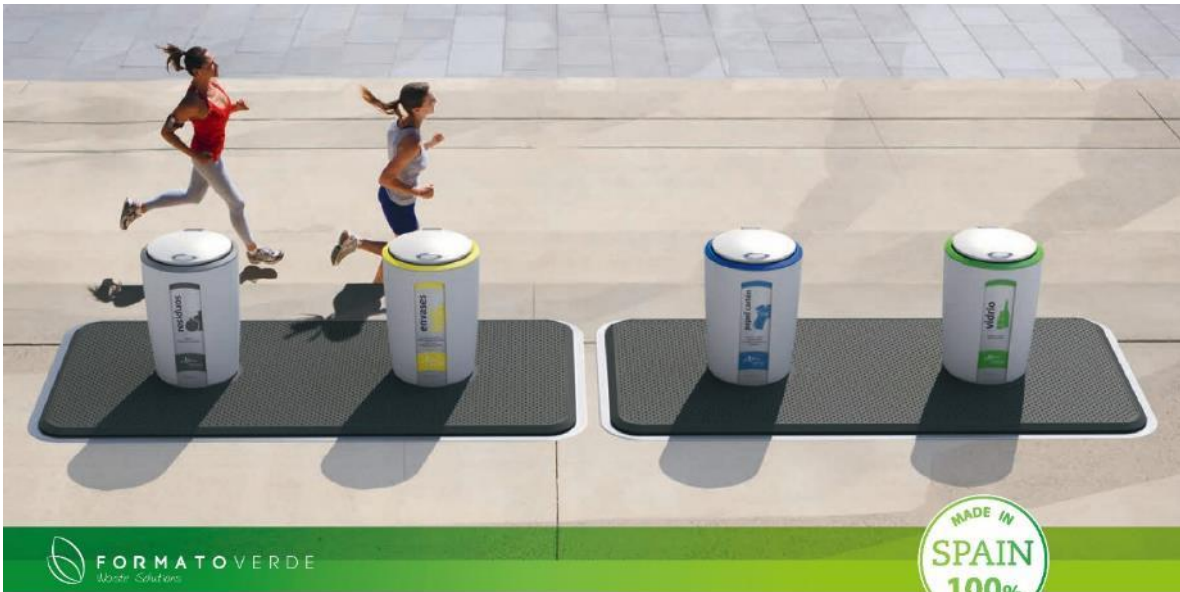
Para sistemas de 1 a 4 contenedores de Carga Pluma de 2 a 5m³ de capacidad cada uno.

El sistema de apertura se realiza mediante uno o dos cilindros hidráulicos dependiendo del número de contenedores.

La tapa del equipo abate 90°, permitiendo el acceso a los ganchos del contenedor.

La manipulación de los contenedores es idéntica a la de cualquier contenedor convencional de Carga Pluma.





 **FORMATOVERDE**
Waste Solutions



Soterrados de plástico **under.bin**

introducción

ventajas

sistemas soterrados

Under.Bin Clip

Under.Bin Hybrid

Under.Bin Side

Under.Bin Back

opciones

Soterrados de plástico **under.bin**



Soterrados de Plástico

Los contenedores soterrados Under.Bin son un innovador sistema para la recogida de residuos domésticos (RSU). A diferencia de los sistemas actuales, están concebidos como una solución integral que aporta múltiples mejoras para el usuario, para el servicio de recogida y para la administración.

Fabricados casi en su totalidad en plástico ultrarresistente, consiguen mejorar la seguridad del ciudadano, facilitar su instalación y mantenimiento, y optimizar los costos. Destacan por su facilidad de uso, y su diseño amable y cuidado.

Un contenedor soterrado eficiente, diseñado desde cero a partir de la experiencia acumulada durante más de 10 años como fabricantes, instaladores y responsables de mantenimiento.

under.bin

Ventajas

SOTERRADOS | UNDER.BIN

Under.Bin mejora tu ciudad



Mejora la imagen

Under.Bin oculta los contenedores de superficie en un foso, quedando a la vista solamente el buzón de depósito. La basura queda enterrada consiguiendo eliminar el impacto negativo que genera en la calle.

Mejora la higiene

Se mejora la higiene impidiendo el acceso a la basura a personas no autorizadas e impidiendo que los animales esparzan la basura. Además los contenedores soterrados dignifican el espacio urbano, pudiéndose recuperar para otros usos acordes al centro de la ciudad.



Fomenta la Recogida Selectiva

Nuestra experiencia nos dice que sus formas amables y cercanas al ámbito doméstico consiguen empatizar con el ciudadano implicándolo y motivándolo para mejorar sus hábitos.

Ventajas

Un soterrado Eficiente

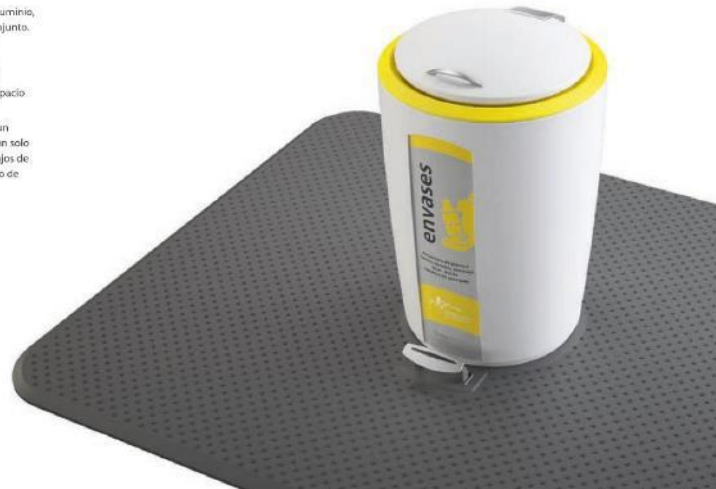
Under.Bin es un sistema soterrado concebido desde cero para optimizar costes sin renunciar a la calidad, buen funcionamiento y amplias prestaciones. Gracias al estudio y mejora en el proceso de fabricación (materiales), instalación y mantenimiento se ha conseguido un precio competitivo.

Los equipos Under.Bin están concebidos simplificando el número de componentes para facilitar su instalación y minimizar su mantenimiento.

La mayoría de los componentes están fabricados en plástico reforzado y aluminio, materiales ligeros y resistentes que consiguen aumentar la vida útil del conjunto. Permiten además estandarizar componentes simplificando el proceso de fabricación, reduciendo el coste-pieza mediante la utilización de moldes.

Se consigue reducir costes de transporte al tratarse de equipos con menos componentes, más ligeros y con formas optimizadas para aprovechar el espacio en medios de transporte.

Under.Bin también supone un ahorro en la obra civil. Los equipos poseen un encofrado perdido, es decir, el encofrado forma parte del equipo, siendo tan solo necesario hormigonar el contorno. Esto supone una reducción en los trabajos de obra civil en comparación con los soterrados convencionales con un ahorro de entorno los 2.000€



Ventajas

Conjunto Ultrarresistente

Los componentes principales del equipo, tapa y cuerpo del buzón, tapa del sistema y plataforma de seguridad, están fabricados con doble capa de polietileno reforzado con relleno de espuma de alta presión. Esta composición le aporta una resistencia extraordinaria y gran flexibilidad para absorber los impactos, evitando la rotura y aumentando su vida útil.

Además el polietileno es un material que soporta los cambios de temperatura sin desajustes y es resistente a la intemperie. Con protección UV.

La tapa del sistema está reforzada con una estructura en H.



Minimiza el Mantenimiento

La ligereza y sofisticación de Under.Bin no sólo agilizan la instalación y la operación de recogida sino que también facilitan el mantenimiento.

Está diseñado pensando en minimizar el número de componentes y todos son sustituibles y de fácil reposición. Fácil acceso a todos los mecanismos por parte del operario.

La mayoría de los componentes son de polietileno, material higiénico que no absorbe suciedad y fácil de limpiar. Al estar fabricados por rotomoldeo con molde teflonado consiguen una superficie lisa y sin poros a la que no se adhiere la suciedad.

Tanto la estructura de acero que refuerza la tapa, como el resto de piezas metálicas están pregalvanizadas en caliente por lo que evitan la oxidación y corrosión, siendo así innecesarios los posteriores repasos de pintura. El marco de la tapa es de aluminio material que también minimiza el mantenimiento.

Antivandalismo

El único elemento susceptible de rotura por actos vandálicos es el pasador de la bisagra de la tapa del buzón, elemento económico y de fácil reposición que actúa a modo de fusible. Cuando éste se rompe, la tapa se abate 270º impidiendo que se suelte o que se vean perjudicados los componentes contiguos.

Ventajas

Comodidad para el usuario

El buzón UnderBin se acerca tanto en estética como en usabilidad a las papeleras domésticas. El buzón se abre a través de un pedal instalado sobre la tapa del equipo y además el diseño del buzón permite la caída directa de la bolsa de residuos imitando el gesto de tirar la basura en el hogar.

Cuenta con una boca amplia que permite depositar bolsas de basura de hasta 50 litros. La boca a 900mm del suelo garantiza la accesibilidad a todo tipo de usuarios: niños, mayores, minusválidos.



Funcionamiento Sofisticado

UnderBin incorpora el novedoso sistema de apertura y cierre automático Soft Close tanto en la tapa del buzón como en la tapa del sistema. Este sistema de doble amortiguación consigue suavizar el movimiento de las tapas en la apertura y en el cierre para obtener la mejor sensación de uso para el ciudadano y para el operario. Además reduce los ruidos y evita el efecto rebote de los buzones con tambor que cierran por contrapeso.



SOTERNAIDOS | UNDERBIN

Ventajas

Seguridad

Incorpora una plataforma de seguridad que cierra el hueco cuando el sistema está elevado, bloqueándolo e impidiendo que se abra por accidente aun cuando transiten peatones sobre ella.

La tapa del equipo fabricada en polietileno reforzado es muy ligera, con un peso muy inferior a las tapas de los soterrados convencionales. Gracias a ello se consigue minimizar los daños que podría provocar en caso de accidente.

Dispone de suelo antideslizante. La superficie exterior de la tapa está texturizada con dibujo en relieve.

La altura del buzón cumple con el Código Técnico de Edificación (CTE) para evitar accidentes.



Compatible con Recicladores

UnderBin fue diseñado teniendo en cuenta la importante labor de los recicladores o recuperadores (trabajador que se dedica a seleccionar, recuperar y comercializar los residuos), permitiendo su acceso para que puedan realizar su trabajo y continúen integrados en el sistema.

UnderBin dispone de una llave unificada para todos los equipos. Al abrir el pasador, la tapa abatible con cilindros de gas, se abre automáticamente sin necesidad de suministro eléctrico ni hidráulico, esto permite acceder a los residuos, siendo tan solo necesario cerrar la tapa una vez terminada la separación.

Válido para equipos UnderBin Clip y UnderBin Hybrid.



SOTERNAIDOS | UNDERBIN

Ventajas

100% Equipo Hermético

Todo el equipo está pensado para minimizar la entrada de agua exterior y para facilitar la estanqueidad del foso.

Incorpora una junta gomosa en la parte interior de la tapa del buzón que redirige el agua para desalojarla evitando que entre al interior del buzón y ayudando a reducir los malos olores.

La tapa del sistema se superpone a la acera minimizando la entrada de agua. El marco de la tapa va enrasado con el pavimento e incorpora una junta de goma que evita la entrada de agua y la canaliza para desalojarla.

La cuba que contiene la parte soterrada del equipo es de polietileno, material impermeable, asegurando la estanqueidad del foso. El sistema lleva instalado de serie un agujero de desagüe.



SOTERRADOS UNDERBIN

Ventajas

100% Recogida Selectiva

Cada buzón está identificado con un aro lacado con el color del residuo que debe contener. Todos los buzones cuentan con una boca amplia para facilitar el depósito de cada tipo de residuo.

Además cada buzón Under Bin está equipado con una banda de vinilo que incorpora la gráfica identificativa del residuo a introducir (incluye texto, icono explicativo y enumeración de residuos a introducir...)



SOTERRADOS UNDERBIN

100% Compatible con todos los Sistemas de Recogida Actuales

La gestión de la recogida de residuos con equipos soterrados es compleja debido a la diversidad de sistemas que existen actualmente. Under.Bin ha sido concebido como una solución integral para simplificar la gestión de la recogida de residuos soterrados a los ayuntamientos.

Los principales elementos del sistema Under.Bin son comunes para todos los tipos de carga (buzón, marco y cuba). Esta base compartida incorpora una serie de elementos específicos adaptados al tipo de carga. Un sistema estándar con flexibilidad para readaptarse a futuros cambios que realice los municipios sobre su sistema de recogida.



Compatible con sistemas de recogida de Carga Pluma.

Incluye contenedor interior adaptado para recogida con camiones de Carga Pluma. La tapa con apertura asistida del sistema se abate 90° permitiendo el acceso a los ganchos del contenedor. La manipulación del contenedor es idéntica a cualquier contenedor convencional de Carga Pluma.



Compatible con sistemas de recogida de Carga Híbrida: Pluma - Trasera.

Incluye contenedor interior adaptado para recogida con camiones de Carga Híbrida. Este tipo de sistema es una combinación del proceso de elevación del contenedor mediante la grúa del camión del sistema de Carga Pluma y operación de vaciado con un brazo similar al de los camiones de Carga Trasera.



Compatible con sistemas de recogida de Carga Lateral.

Incluye contenedor interior adaptado para recogida con camiones de Carga Lateral. La tapa se abate 90° automáticamente y la tijera de elevación asciende para posicionar el contenedor en la superficie. Una vez que el contenedor está a la altura del pavimento es tomado como cualquier otro contenedor convencional de Carga Lateral.



Compatible con sistemas de recogida de Carga Trasera.

Incluye contenedor interior adaptado para recogida con camiones de Carga Trasera. Este sistema incorpora una estructura soterrada que contiene el contenedor y que está cerrada por la propia tapa del sistema. La tijera de elevación asciende elevando todo el conjunto soterrado hasta posicionar el contenedor al nivel del pavimento. El contenedor es extraído rodando y se vacía de forma idéntica a cualquier contenedor convencional de Carga Trasera.

Under.Bin Clip sistema soterrado



Tapa Under.Bin Clip

Apertura asistida

La tapa del sistema Under.Bin Clip se desbloquea manualmente y comienza a abrirse de forma asistida gracias al sistema de amortiguación con cilindros de gas que lleva instalado. Tanto apertura como cierre se producen con un movimiento sofisticado, suave y silencioso. Se trata de un mecanismo similar al de un maletero de un coche.

Resistente, ligera y segura

Fabricada con polietileno reforzado, además de resistente, flexible, de fácil mantenimiento y limpieza, es una tapa muy ligera. Su peso es muy inferior al de cualquier tapa de un contenedor soterrado convencional. Gracias a su ligereza facilita el transporte, instalación y la utilización del equipo. Además minimiza el daño que podría causar en caso de accidente.



FORMATO/VERDE | pág. 12

Under.Bin Clip sistema soterrado

Plataforma de Seguridad

Garantiza la seguridad

El sistema Under.Bin Clip no lleva tijera elevadora, ya que el contenedor se eleva con el propio camión de recogida. La plataforma de seguridad Under.Bin Clip es vertical y gira para cerrar y bloquear automáticamente el hueco en el momento en el que el contenedor está elevado. Esta plataforma incorpora dos activadores para desbloquear el cierre que se activan con el peso del contenedor. Los activadores están separados entre ellos y sólo se activan si se pisan los dos a la vez, impidiendo que los peatones pudieran activarlo por accidente.

Ultraresistente, ligera y flexible

La plataforma está fabricada con polietileno de doble capa relleno de espuma de alta densidad que le aporta una gran resistencia, ligereza y flexibilidad para absorber los impactos evitando la rotura.

Movimientos sofisticados

El giro de la plataforma se produce con movimientos suaves y sofisticados ya que incorpora sistema de amortiguación con cilindros de gas.



FORMATOVERDE | pág. 13

SOTERRADOS | UNDER.BIN

Under.Bin Clip sistema soterrado

Contenedores interiores para Carga Pluma

El sistema Under.Bin Clip puede albergar en su interior un novedoso contenedor compatible con el sistema de recogida de Carga Pluma de 4.000l o dos contenedores de 2.500l.

Resistente y duradero

El principal inconveniente del sistema de recogida de carga pluma es que el contenedor es susceptible de recibir golpes (contra el camión de vaciado, contra el encofrado...). El nuevo contenedor Under.Bin Clip está fabricado en polietileno por lo que es más resistente y flexible a la hora de absorber los impactos sin llegar a la rotura.

Minimiza el mantenimiento

La boca del nuevo contenedor coincide en forma y posición con el hueco del buzón reduciendo el riesgo de acumulación de la basura fuera del contenedor en la cuba soterrada. El polietileno es un material fácil de limpiar ya que no absorbe suciedad. Gracias a su calidad estructural y a su composición optimizando el número de elementos, el mantenimiento necesario es mínimo. Además no se produce corrosión ni oxidación por lo que no serán necesarios retoques de pintura.



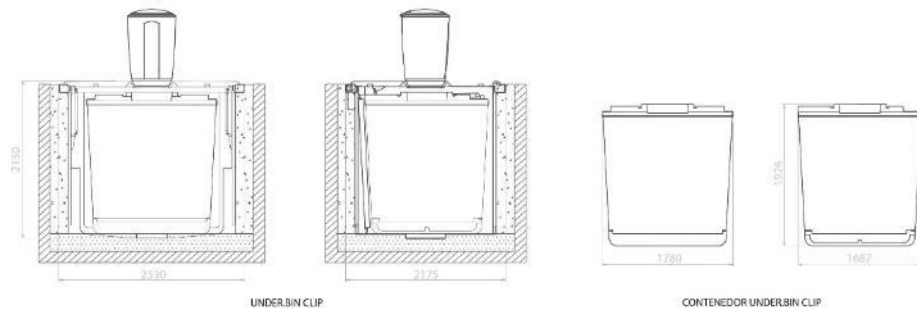
OPERACIÓN DE RECOGIDA CON SISTEMA DE CARGA PLUMA

SOTERRADOS | UNDER.BIN

Under.Bin Clip

Dimensiones Generales Sistema	
Alto máximo	2.150mm
Largo máximo	2.530 mm
Ancho máximo	2.175 mm
RENDIMIENTOS	
Tiempo de subida	-

Dimensiones Generales Contenedor Interior	
Alto máximo	1.926 mm
Largo máximo	1.780 mm
Ancho máximo	1.687 mm
Capacidad	4.000l



FORMATO VERDE | pág. 15

Under.Bin Side sistema soterrado con tijera



Tapa Under.Bin Side

Movimientos sofisticados

Tapa abatible automática con apertura y cierre amortiguados gracias a la instalación de cilindros hidráulicos que consiguen un movimiento sofisticado, suavizando y minimizando el ruido.

Resistente, ligera y segura

Fabricada con polietileno reforzado, además de resistente, flexible, de fácil mantenimiento y limpieza, es una tapa muy ligera. Su peso es muy inferior al de cualquier tapa de un contenedor soterrado convencional. Gracias a su ligereza facilita el transporte, instalación y la utilización del equipo. Además minimiza el daño que podría causar en caso de accidente.



FORMATO VERDE | pág. 16

Under.Bin Side sistema soterrado con tijera

Plataforma de Seguridad con Tijera Elevadora

Ultrasensible, ligera y flexible

Plataforma de seguridad de polietileno rotomoldeado con doble capa rellena de espuma de alta densidad y reforzada con una estructura de acero pregalvanizado en forma de H en la parte inferior. Esta composición le aporta una resistencia extraordinaria, ligereza y flexibilidad ante los impactos evitando la rotura. Además el pregalvanizado de la estructura metálica evita la corrosión y la oxidación y no serán necesarios retoques de pintura.

Garantiza la seguridad

La propia plataforma sirve de elemento de seguridad, cerrando y bloqueando el hueco automáticamente, y dejándolo inaccesible para evitar accidentes.

Movimientos sofisticados

La plataforma se eleva gracias a un sistema hidráulico de doble tijera que amortigua el movimiento suavizándolo y decelerándolo al final del recorrido creando una experiencia de uso agradable y sofisticada.

Con sistema de alineación

Incluye un sistema de alineación bidireccional que consigue que el contenedor siempre quede situado en la posición correcta, evitando que se desplace sobre todo en aceras inclinadas y facilitando su colocación a los operarios desde el camión.



FORMATOVERDE | pag. 17

Under.Bin Side sistema soterrado con tijera

Contenedores interiores Under.Bin Side

El sistema Under.Bin Side compatible con Carga Lateral alberga en su interior un novedoso contenedor de 3.200l compatible con los camiones de recogida de Carga Lateral actuales.

Resistente y duradero

Fabricado en polietileno, es resistente, ligero y flexible para absorber los impactos evitando la rotura, garantizando una vida útil amplia manteniendo la calidad inicial en todo momento. Además soporta los cambios de temperatura sin desajustes.

Minimiza el mantenimiento

El polietileno es un material higiénico que no absorbe suciedad y fácil de limpiar por lo que se reducirá el mantenimiento. Además no se oxida ni se corroe por lo que no serán necesarios retoques de pintura.



OPERACION DE RECOGIDA CON SISTEMA DE CARGA LATERAL

Under.Bin Side
sistema soterrado con tijera

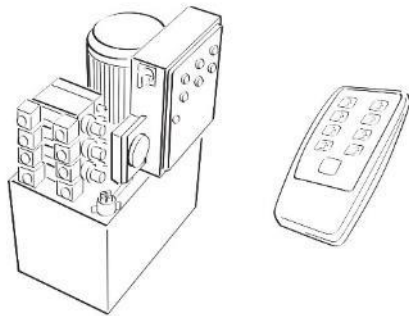
Sistema de elevación
Under.Bin Side

Central hidráulica + Mando a distancia

Permite el funcionamiento de los equipos de forma automática, con una central hidráulica conectada a la red eléctrica. La central se aloja en una argenta ancha al foso, bajo una tapa metálica pavimentable, abatible 90°, con una apertura asistida mediante un cilindro de gas.

El accionamiento se realiza mediante mando a distancia, desde la cabina del camión de recogida. Con un solo mando, se recogen todos los equipos Formato Verde de la ciudad, mediante selección de tipo de residuo y posición.

El sistema de mando a distancia Formato Verde está configurado de manera que no existen aperturas indeseadas de otros equipos. El modo de accionamiento funciona de manera que al soltar el botón de subida o bajada, se interrumpe la maniobra.



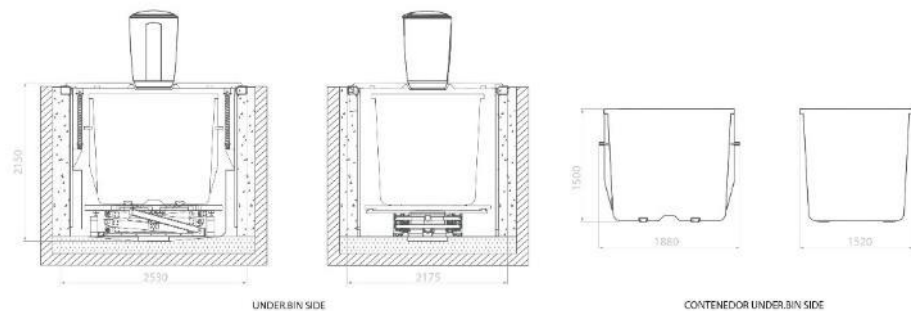
FORMATOVERDE | pág.19

SOTERRADOS | UNDER.BIN

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Under.Bin Side

Dimensiones Generales Sistema	
Alto máxima	2.000 mm
Largo máximo	1.850 mm
Ancho máximo	1.570 mm
Capacidad contenedores interiores	3.200l
RENDIMIENTOS	
Tiempo de subida	-



FORMATOVERDE | pág. 20

SOTERRADOS | UNDER.BIN

Opciones

Sistema de Apertura Eléctrico con Botón

Sistema de apertura eléctrica con botón de accionamiento. El botón incorpora LED luminoso permitiendo su fácil identificación también durante la noche.



Sistema de Apertura con Identificación de Usuario

Acceso restringido mediante la instalación en el buzón de un dispositivo lector de tarjetas. La apertura sólo se llevará a cabo mediante tarjeta RFID identificativa de usuario, permitiendo el uso privado o limitado del equipo.



Opciones

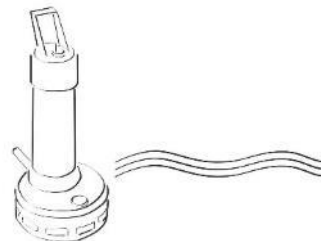
Sistema acústico luminoso

Señaliza la maniobra de apertura mediante la emisión de destellos de luz ámbar y sonido por el día, y sólo luz por la noche.



Bomba de achique

Destinada a retirar el agua del interior del foso de forma automática. Ideal para ubicaciones con niveles freáticos muy altos.



Opciones

under.bin				
	Under.Bin Clip 	Under.Bin Hybrid 	Under.Bin Side 	Under.Bin Back 
Sistema de Elevación con Central Hidráulica			•	•
Sistema de Elevación con Adaptación al Camión				•
Tapa asistida	•	•		
Tapa automática con mando a distancia			•	
Encofrado perdido (in situ)	•	•	•	•
OPCIONALES				
Sistema de apertura del buzón eléctrico con Botón			•	
Sistema de apertura del buzón con Identificación de Usuarios			•	
Sistema Acústico - Luminoso			•	
Bomba de Achique			•	

FORMATOVERDE | pag. 23

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Buzón Under.Bin

Dimensiones Generales	
Altura total	1050mm
Diámetro máximo	670mm
Diámetro de la boca	440mm * Bolsas de hasta 50l
Altura de la boca	900mm * Cumplimiento del CTE (Código Técnico de Edificación)
Apertura Tapa Máxima	80°
Peso aproximado	41Kg
Material (Cuerpo y Tapa)	Poliuretano relleno de espuma de alta densidad (PE + PUR)

