

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE
RESIDUOS SÓLIDOS EN UN DISTRITO DE LIMA METROPOLITANA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR:

DARWIN ALEJANDRO ALCANTARA VICENTE

ASESOR:

WILMER JHONNY ATOCHE DÍAZ

Lima, Abril 2024

Informe de Similitud

Yo, WILMER JHONNY ATOCHE DIAZ, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada:


ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN UN DISTRITO DE LIMA METROPOLITANA,

del autor: DARWIN ALEJANDRO ALCANTARA VICENTE,

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 16%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 09/01/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: San Miguel, 09 de enero de 2024

Apellidos y nombres del asesor: <u>ATOACHE DIAZ, Wilmer Jhonny</u>	
DNI: 08134370	 Firma
ORCID: 0000-0002-0923-7608	

Resumen

De acuerdo con el Decreto Legislativo N° 1501 que modifica el Decreto Legislativo N° 1278 que aprueba la Ley de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos (2020) indica que las municipalidades distritales dentro del marco de la gestión de residuos sólidos tienen la competencia para “asegurar una adecuada prestación de servicios de limpieza, recolección y transporte de residuos en su jurisdicción” (El peruano, 2020). Sin embargo, de acuerdo con el Informe urbano de percepción ciudadana en Lima y Callao 2022 de la Encuesta “Lima Cómo Vamos” informa que el 73,4% de los encuestados señala encontrarse insatisfecho o muy insatisfecho respecto al sistema de gestión de la basura en la ciudad. También el 31,0% sostiene que la limpieza pública y acumulación de basura son uno de los problemas más importantes que afectan la calidad de vida de Lima.

El objetivo general es analizar y proponer nuevas rutas óptimas para un compactador que realiza el servicio de recojo de residuos sólidos para optimizar los recursos. Como objetivos específicos está realizar un diagnóstico de la situación actual del servicio de recojo de residuos sólidos, plantear las propuestas de rutas óptimas con investigación de operaciones y evaluar las rutas propuestas.

Para obtener estas rutas óptimas se debe modelar todas las vías de la zona que se va a evaluar con la teoría de redes. Así mismo se establece el problema del cartero chino para hallar la ruta más corta dentro del grafo que representa las vías del distrito en estudio. El resultado demuestra que la ruta más corta logra cumplir los objetivos.

Finalmente, con el presente estudio se obtiene que las rutas propuestas logran cubrir en 100% la demanda total del servicio de recojo de residuos y recorrer al menos una vez todas las calles del distrito logrando satisfacer a los vecinos del distrito.

Tabla de contenidos

Tabla de contenido

Resumen.....	i
Tabla de contenidos	ii
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	vii
Capítulo 1: Marco Teórico.....	1
1.1 Norma legal vigente	1
1.1.1 Sobre las competencias vigentes de los gobiernos municipales.....	1
1.1.2 Sobre las disposiciones generales para las gestión y manejo de residuos sólidos... 1	1
1.1.2.1 Clasificación de los residuos sólidos.	1
1.1.2.2 Operaciones del manejo de residuos sólidos.	2
1.2 Generación de residuos sólidos	3
1.2.1 Sobre el estudio de caracterización de residuos sólidos.....	3
1.2.2 Estado actual de los sistemas de gestión de residuos sólidos en el Perú	4
1.2.3 Factores que influyen en la generación de residuos	5
1.3 Investigación operativa.....	6
1.3.1 Programación lineal.....	6
1.3.2 Programación entera y binaria	7
1.4 El problema del cartero chino.....	7
1.4.1 El problema del cartero chino en un grafo dirigido.....	8
1.4.2 Formulación.....	8
1.4.3 Solver CPLEX	9
1.5 Estado del arte.....	9
1.5.1 Antecedentes de la investigación.....	9
1.5.2 Supuestos básicos en la investigación.	10
Capítulo 2: Descripción de la entidad municipal	12
2.1 Distrito de San Luis	12
2.1.1 Historia.....	12
2.1.2 Localización.	12
2.2 Organización	12
2.2.1 Organigrama general.....	13
2.3 La Gerencia de Servicios Públicos y Subgerencia de Gestión Ambiental.....	15
2.4 Actual gestión de recolección de residuos sólidos en el distrito	16
2.5 Clientes.....	17

Capítulo 3: Diagnóstico de la situación actual.....	18
3.1 Descripción del caso	18
3.2 Gestión actual del recojo de residuos sólidos en el distrito de San Luis	18
3.3 Análisis cuantitativo de la situación actual	19
3.3.1 Metodología a emplear para el análisis cualitativo.	19
3.3.2 Generación per cápita diaria de residuos sólidos.	21
3.3.2.1 Residuos sólidos domiciliarios.	21
3.3.2.2 Residuos sólidos no domiciliarios.	27
3.3.2.2.1 <i>Residuos de establecimientos comerciales.</i>	29
3.3.2.2.2 <i>Residuos de instituciones educativas.</i>	31
3.3.2.2.3 <i>Residuos de instituciones públicas y privadas.</i>	31
3.3.2.2.4 <i>Residuos del barrido de calles.</i>	32
3.3.2.3 Residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios.	35
3.3.2.4 Brecha de cobertura del servicio de recojo de residuos sólidos.	39
3.3.3 Consecuencias de la brecha de cobertura del servicio de recolección.	40
Capítulo 4: Sectorización físico del distrito en estudio.....	41
4.1 Gestión de residuos diarios por manzana	41
4.1.1 Generación de los sectores.	41
4.1.1.1 Primera sectorización.	42
4.1.1.2 Segunda sectorización.	43
Capítulo 5: Modelamiento del problema	45
5.1 Programación de las rutas	45
5.1.1 Primer sector.	46
5.1.2 Segundo sector.	49
5.1.3 Tercer sector.	52
5.1.4 Cuarto sector.	55
5.1.5 Quinto sector.	58
5.1.6 Sexto sector.	61
5.1.7 Séptimo sector.	64
5.1.8 Octavo sector.	67
5.1.9 Noveno sector.	71
Capítulo 6: Análisis de resultados.....	74
6.1 Cobertura del servicio	74
6.1.1 Escenario actual.	74
6.1.3 Comparación entre escenario actual y propuesto.	76
6.2 Rutas	77
6.2.1 Escenario actual.	77
6.2.2 Escenario propuesto.	78
6.2.3 Comparación entre escenario actual y propuesto.	78

6.3	Horario de recojo de residuos	79
6.3.1	Escenario actual.	79
6.3.2	Escenario propuesto.....	80
6.3.3	Comparación entre escenario actual y propuesto.	81
6.4	Análisis económico	81
6.4.1	Escenario actual.	81
6.4.2	Escenario propuesto.....	83
6.4.3	Comparación entre escenario actual y propuesto.	85
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones		86
7.1	Conclusiones	86
7.2	Recomendaciones	90
Bibliografía		92
Anexos		97
Anexo A.....		97
Anexo B.....		99
Anexo C.....		103
Anexo D: Resultados de la programación para el Sector 1.....		107
Anexo E: Resultados de la programación para el Sector 2.....		110
Anexo F: Resultados de la programación para el Sector 3.....		113
Anexo G: Resultados de la programación para el Sector 4.....		114
Anexo H: Resultados de la programación para el Sector 5.....		117
Anexo I: Resultados de la programación para el Sector 6.....		120
Anexo J: Resultados de la programación para el Sector 7.....		123
Anexo J: Resultados de la programación para el Sector 7.....		126
Anexo K: Resultados de la programación para el Sector 8.....		129
Anexo L: Resultados de la programación para el Sector 9.....		132

Índice de tablas

Tabla 1. Rutas actuales de recojo de residuos sólidos del distrito de San Luis.	19
Tabla 2. Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios por estrato económico.....	21
Tabla 3. Generación de residuos sólidos domiciliarios por manzana para el estrato socioeconómico medio bajo.....	22
Tabla 4. Generación de residuos sólidos domiciliarios por manzana para el estrato socioeconómico medio	23
Tabla 5. Generación de residuos sólidos domiciliarios por manzana para el estrato socioeconómico medio alto.....	25
Tabla 6. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en establecimientos comerciales.	27
Tabla 7. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en hoteles.....	27
Tabla 8. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en mercados.....	28
Tabla 9. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en restaurantes.....	28
Tabla 10. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en instituciones públicas y privadas.	28
Tabla 11. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en instituciones educativas.....	28
Tabla 12. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en establecimientos especiales.	28
Tabla 13. Residuos sólidos recolectados en el barrido de calles.....	29
Tabla 14. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por manzana en establecimientos comerciales.	30
Tabla 15. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en instituciones educativas.....	31
Tabla 16. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por manzana en instituciones educativas.31	
Tabla 17. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en instituciones públicas y privadas.	32
Tabla 18. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por manzana en instituciones públicas y privadas.....	32
Tabla 19. Distancia total recorrida en el barrido de calles.....	32
Tabla 20. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por manzana en barrido de calles.....	33
Tabla 21. Generación diaria total de residuos por manzanas.....	36
Tabla 22. Cantidad de residuos a recolectar en cada una de las rutas actuales.....	38
Tabla 23. Capacidad unitaria y total en Kg para el recojo de residuos sólidos.....	38
Tabla 24. Cálculo de viajes mínimo requeridos para satisfacer la demanda del servicio de recojo de residuos sólidos.....	39
Tabla 25. Cálculo actual de la cobertura del servicio de recojo de residuos sólidos.	40
Tabla 26. Cálculo para la obtención de la cantidad de números de sectores	41
Tabla 27. Primera validación de cada sector creado para cada camión compactador.....	43

Tabla 28. Segunda validación de cada sector creado para cada camión compactador.	44
Tabla 29. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 1.	48
Tabla 30. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 1.	49
Tabla 31. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 2.	51
Tabla 32. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 2.	51
Tabla 33. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 3.	53
Tabla 34. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 3.	54
Tabla 35. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 4.	56
Tabla 36. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 4.	57
Tabla 37. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 5.	60
Tabla 38. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 5.	60
Tabla 39. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 6.	63
Tabla 40. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 6.	63
Tabla 41. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 7.	66
Tabla 42. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 7.	66
Tabla 43. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 8.	69
Tabla 44. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 8.	70
Tabla 45. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 9.	73
Tabla 46. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 9.	73
Tabla 47. Cobertura del servicio en las rutas del escenario actual.	74
Tabla 48. Cobertura del servicio en las rutas del escenario propuesto.	75
Tabla 49. Kilómetros recorridos en las rutas del escenario actual y propuesto.	76
Tabla 50. Kilómetros recorridos en las rutas del escenario actual.	77
Tabla 51. Kilómetros recorridos en las rutas del escenario propuesto.	78
Tabla 52. Kilómetros recorridos en las rutas del escenario actual y propuesto.	78
Tabla 53. Tiempo total de servicio en las rutas del escenario actual.	79
Tabla 54. Tiempo total de servicio en las rutas del escenario propuesto.	80
Tabla 55. Tiempo total de servicio en las rutas del escenario actual y propuesto.	81
Tabla 56. Estructura de costos totales de los servicios públicos para el ejercicio fiscal de los años 2021 y 2022.	82
Tabla 57. Propuesta de estructura de costos totales de los servicios públicos.	84
Tabla 58. Comparación del costo anual del servicio de recolección de residuos sólidos para escenario actual y propuesto.	85
Tabla A 1. Cálculo de la generación diario por manzana de los residuos comerciales.	97
Tabla A 2. Cálculo de la generación diario por manzana de los residuos recolectados del barrido de calles y avenidas.	99
Tabla A 3. Cálculo de la generación diario por manzana de los residuos domiciliarios y no domiciliarios.	103

Índice de figuras

Figura 1. Organigrama General de la Municipalidad de San Luis.....	14
Figura 2. Organigrama de la Gerencia de Servicios a la Ciudad.	15
Figura 3. Primera sectorización del distrito de San Luis.	42
Figura 4. Segunda sectorización del distrito de San Luis	44
Figura 5. Sector 1 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.	46
Figura 6. Programación en AMPL para el sector 1.....	47
Figura 7. Solución óptima para la ruta del sector 1.....	48
Figura 8. Sector 2 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.	49
Figura 9. Programación en AMPL para el sector 2.....	50
Figura 10. Solución óptima para la ruta del sector 2.....	51
Figura 11. Sector 3 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.	52
Figura 12. Programación en AMPL para el sector 3.....	53
Figura 13. Solución óptima para la ruta del sector 3.....	53
Figura 14. Sector 4 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.	55
Figura 15. Programación en AMPL para el sector 4.....	56
Figura 16. Solución óptima para la ruta del sector 4.....	56
Figura 17. Sector 5 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.	58
Figura 18. Programación en AMPL para el sector 5.....	59
Figura 19. Solución óptima para la ruta del sector 5.....	60
Figura 20. Sector 6 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.	61
Figura 21. Programación en AMPL para el sector 6.....	62
Figura 22. Solución óptima para la ruta del sector 6.....	63
Figura 23. Sector 7 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.	64
Figura 24. Programación en AMPL para el sector 7.....	65
Figura 25. Solución óptima para la ruta del sector 7.....	66
Figura 26. Sector 8 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.	67
Figura 27. Programación en AMPL para el sector 8.....	68
Figura 28. Solución óptima para la ruta del sector 8.....	69
Figura 29. Sector 9 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.	71
Figura 30. Programación en AMPL para el sector 9.....	72
Figura 31. Solución óptima para la ruta del sector 8.....	72

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1 Norma legal vigente

1.1.1 Sobre las competencias vigentes de los gobiernos municipales.

La gestión de los residuos sólidos en el Perú tiene como marco legal vigente al Decreto Legislativo N° 1501 que modifica el Decreto Legislativo N°1278 que aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos que fue publicada en el año 2020. Dentro de esta se declara las responsabilidades vigentes de cada nivel del Estado en esta materia. Dentro de su capítulo 3 se menciona lo correspondiente en cuanto a las competencias de las autoridades descentralizadas tales como gobiernos regionales, municipalidades provinciales, municipalidades distritales, centros poblados y comisiones ambientales municipales.

Respecto a las municipalidades distritales, la ley señala en su artículo 24.1 inciso a, que son competentes “para asegurar una adecuada prestación para el servicio de limpieza, recolección y transporte de residuos en su jurisdicción” (DL 1501, 2020). En el inciso c se señala “normar, en su jurisdicción, el manejo de los servicios de residuos sólidos bajo su competencia” y en el inciso d, “aprobar y actualizar el plan distrital de manejo de residuos” (DL 1501, 2020). Adicionalmente, respecto a sus responsabilidades, la ley señala en su artículo 24.2 que deben garantizar se lleve a cabo los servicios de limpieza pública, recolección, transporte, transferencia, tratamiento o disposición final tanto de los residuos sólidos municipales como los de la limpieza de vías, espacios y monumentos públicos. (DL 1501, 2020).

1.1.2 Sobre las disposiciones generales para las gestión y manejo de residuos sólidos.

1.1.2.1 *Clasificación de los residuos sólidos.*

De acuerdo con el Decreto Legislativo N° 1501, los residuos sólidos se clasifican:

I. Por el tipo de manejo que reciben:

- Residuos peligrosos.
- Residuos no peligrosos.

II. Por la autoridad competente para su gestión:

- Residuos sólidos municipales.
- Residuos sólidos no municipales.

Además, existen otros tipos de residuos sólidos tales como los de origen minero, energético, industrial, agropecuario, agroindustrial, de actividades de la construcción, de servicios de saneamiento o de instalaciones especiales, de los establecimientos de salud, entre otros (DL 1278, 2016).

1.1.2.2 Operaciones del manejo de residuos sólidos.

Según el Decreto Legislativo N° 1501 (2020) establece que para el manejo de residuos sólidos existen una serie de operaciones que cada municipio deberá seguir:

- Segregación.
- Barrido y limpieza de espacios públicos.
- Recolección selectiva.
- Transporte.
- Almacenamiento.
- Acondicionamiento.
- Valorización.
- Transferencia.
- Tratamiento.
- Disposición Final.

Para el caso del presente estudio de pondrá en evaluación y mejora las operaciones del transporte de las diferentes unidades que realizan el recojo de los residuos sólidos. De esta manera se pretende tener un impacto positivo en el servicio brindado por la municipalidad.

1.2 Generación de residuos sólidos

1.2.1 Sobre el estudio de caracterización de residuos sólidos.

El estudio de caracterización de residuos sólidos es un insumo importante para esta investigación. Éste es un instrumento que permite conocer toda información primaria respecto a la generación de los residuos sólidos en cada jurisdicción de una municipalidad distrital tales como cantidad, densidad, composición, entre otros. Este estudio debe ser actualizado cada cinco años por los gobiernos locales y está compuesta por las fases de planificación, trabajo de campo y operaciones y análisis de información (MINAM, 2019). De acuerdo con la Guía para la caracterización de los residuos municipales del Ministerio del Ambiente (2019), este estudio “representa un insumo fundamental para elaborar una serie de instrumentos para la gestión de residuos sólidos, así como proyectos de inversión y otros” (MINAM, 2019, p.6). Durante el presente estudio este será gran aporte para el cálculo de la generación de residuos en el distrito, así como su clasificación. De manera detallada, se presenta a continuación.

Generación per cápita (GPC) de los residuos sólidos domiciliarios: Brinda la información de la cantidad diaria y por persona de los residuos sólidos que genera una persona en el distrito de San Luis. Al ser domiciliarias sólo se considera de centros urbanos o predios donde habiten personas. Este estudio presenta este resultado para tres sectores socioeconómicos alto, medio y bajo.

Resultados de la caracterización no domiciliario: Este brinda información de los residuos sólidos por día que tienen por fuente de generación establecimientos comerciales (bodegas, panaderías, pastelerías, librerías, bazares, cabinas de internet, locutorio, ferreterías, farmacias,

peluquerías, discotecas, karaokes, servicios mecánicos, talleres y carwash), hoteles, mercados, restaurantes (cevichería, chifa, pollería, comida rápida), instituciones públicas y privadas (bancos, oficinas administrativas), instituciones educativas (colegios, institutos de educación superior) y barrido de calles. La generación total diaria será asignada a cada manzana de forma proporcional al tamaño superficial de cada manzana y así obtener este valor de manera más detallada.

1.2.2 Estado actual de los sistemas de gestión de residuos sólidos en el Perú

La recolección de residuos constituye un servicio municipal a la comunidad que resulta fundamental ya que si no se realiza adecuadamente puede generar graves problemas a la salud, al ambiente y al ornato de la ciudad (Orihuela, 2018). Sin embargo, del total de los residuos recolectados en el país, cerca del 80% tienen como destino un botadero. Además, genera un elevado costo a los municipios reduciendo su eficiencia a cerca del 50%, que se concentra en el transporte y recolección (Orihuela, 2018).

De igual manera, existe poca atención por parte del estado en todos estos procesos dado que se deben atender otros problemas que afectan de forma directa a la población como la pobreza, educación, entre otros; dejando de lado la importancia de los beneficios que tendrían un estudio sobre la recolección de los residuos (Sáez y Urdaneta, 2014). Más aún, con la emergencia sanitaria de la pandemia de la COVID-19, el Programa de las Naciones Unidas para El Desarrollo (PNUD) señala que urge que la gestión de los residuos sólidos se trate como un servicio esencial para mitigar los impactos que tenga sobre la salud y medio ambiente, sin embargo, se ha evidenciado que la infraestructura para el tratamiento de los desechos no es la adecuada en América Latina y el Caribe (PNUD, 2020).

Respecto a la segregación, hace falta un programa de información por parte de las municipalidades. En el Perú, este trabajo lo hacen los recicladores informales tanto en la etapa

previa a la recolección como en la disposición final. Si bien esto alivia a carga del trabajo de los municipios, estas personas se exponen a enfermedades debido a las bacterias en los residuos y por corte con objeto punzo cortantes que provienen de los hospitales. Este panorama es similar en casi todos los países de Latinoamérica (Sáez y Urdaneta, 2014). A pesar de estos esfuerzos, de acuerdo con el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), se identificaron “921 puntos críticos de acumulación de basura en los distritos de Lima Metropolitana y se recibió 214 denuncias por residuos sólidos en las calles de todo el país” al cierre del año 2020 (OEFA, 2020). De acuerdo con lo informado por este organismo, Villa María del Triunfo es el distrito con más puntos críticos de la ciudad con 145, seguido de Lima Cercado con 96, San Juan de Lurigancho con 61 y San Juan de Miraflores, en cuarto lugar, con 46.

En cuanto a la disposición final de los residuos sólidos, el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 – 2024 señala que para el año 2014, poco menos del 50% de los residuos sólidos generados anualmente (3 309 712 toneladas) fueron trasladado a un relleno sanitario legal. La principal causa de ello es la falta de espacios adecuados para la disposición final. Sin embargo, muchos aún continúan disponiéndolos en vertederos y/o botaderos clandestinos.

1.2.3 Factores que influyen en la generación de residuos

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI, (2015) la generación de residuos sólidos es proporcional a la población de un país y las actividades económicas. Estudios del MINAM avalan una relación directa entre la generación de residuos sólidos, el crecimiento poblacional y el crecimiento económico (PBI). Sin embargo, también existen otros factores críticos como los hábitos de la población, sectores económicos y costumbres socioculturales. (p. 321).

Con lo mencionado anteriormente, se observa que hay varios factores que se deben tomar en cuenta para los cálculos y análisis de la generación de residuos sólidos que por adelantado nos permite concluir ciertas ideas. La primera, que este estudio debe actualizarse de manera constante de la mano con los censos poblacionales para tomar en cuenta la razón de crecimiento de la generación de residuos. También es importante rastrear el nivel de ingresos de las personas, ya que como se observa en los estudios de caracterización de residuos sólidos, esta variable tiene una relación directa en la cantidad de residuos diarios generados.

1.3 Investigación operativa

1.3.1 Programación lineal.

Hillier (2010) afirma que la programación lineal utiliza un modelo matemático para describir el problema en el que todas sus funciones matemáticas deben ser funciones lineales. En este caso, la palabra programación no se refiere aquí a términos computacionales; en esencia es sinónimo de planeación. Por lo tanto, la programación lineal involucra la planeación de las actividades para obtener un resultado óptimo; esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada entre todas las alternativas factibles. (p. 21).

Una programación lineal comprende cuatro componentes: Variables de decisión, función objetivo, parámetros y restricciones. Las variables de decisión son aquellas que se determinan del modelo matemático y que indicarán la respuesta más favorable al optimizar los recursos. La función objetivo es aquella que expresa en una función lineal el objetivo del modelo matemático y que puede ser maximizada o reducida. Los parámetros son aquellos datos de entrada con los que se cuenta para el análisis del modelo matemático y para evaluar en cada situación la respuesta de la función objetivo. Finalmente, las restricciones son las desigualdades o expresiones lineales que limitan la existencia de los recursos y que colocan un tope a la solución óptima.

1.3.2 Programación entera y binaria

Según Hillier (2010), una de las principales limitaciones de la programación lineal es el supuesto de divisibilidad que requiere que las variables de decisión puedan tomar valores no enteros. Sin embargo, en muchos casos aplicados la respuesta sólo tendrá sentido si las variables de decisión adquieren solamente valores enteros. Para sobrellevar este impedimento se debe añadir una restricción adicional a la programación lineal para que las variables de salida tengan valores enteros. Esto se conoce como programación lineal entera (p. 428).

Siguiendo el mismo concepto, Hillier (2010) afirma que ciertos problemas aplicados de programación lineal requieren variables de decisión que tengan como respuesta “sí” o “no”. En estas situaciones las únicas dos elecciones posibles son “sí” y “no” y responde a cuestiones tales como “¿debe ejecutarse el proyecto?”, “debe hacerse cierta inversión fija”, entre otros. Estas dos decisiones posibles las variables de decisión se pueden representar con números restringidos a sólo dos valores como 0 y 1 de tal forma que la representación matemática sería la siguiente. (p. 248). A esto se le conoce como la programación lineal binaria y es un tipo de la programación entera.

$$X_j = \begin{cases} 1, & \text{si la decisión } j \text{ es "sí"} \\ 0, & \text{si la decisión } j \text{ es "no"} \end{cases}$$

1.4 El problema del cartero chino

Fue formulado por el matemático chino Kwan Mei Ko, en la década de 1960 y traducido al inglés en 1962 con la publicación titulada en inglés como *Graphic programming using odd and even points*. Gutiérrez (2019) afirma que Mei Ko buscaba minimizar el recorrido para la ruta que hacían los carteros al repartir la correspondencia al recorrer todas las calles de la ciudad. Como se presentan diferentes características para su resolución como grafos dirigidos, no dirigidos o mixtos existen diferentes variantes para este problema, pero el objetivo siempre

será reducir el costo del recorrido. (p. 28).

1.4.1 El problema del cartero chino en un grafo dirigido.

Este problema considera que en un grafo sus aristas tienen una dirección predeterminada entre el origen y destino de un camino entre los vértices del nodo dependiendo de la situación real modelada. En el presente estudio se considera que ciertas vías del distrito son de un sólo sentido por lo que el arco representado en el grafo deberá ser unidireccional. Para el caso de avenidas de gran flujo vehicular con más de un carril para cada sentido del tránsito se considerarán arcos mixtos con recorrido obligatorio en cada uno debido al ancho de la vía.

1.4.2 Formulación.

De acuerdo con Taha (2012), el problema del cartero chino se define mediante el número de ciudades n y la matriz de distancias $\|d_{ij}\|$. Éste toma un valor infinito o un número grande para representar que las ciudades i y j no están conectadas. Las variables de decisión se definen de la siguiente forma. La formulación se está adaptando a la realidad del presente estudio para poder llegar a los resultados que se estiman.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si llega a la ciudad } j \text{ desde la ciudad } i \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

En base a esto, la función objetivo se define así:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}; \quad d_{ij} = \infty \text{ para todo } i = j$$

El modelamiento matemático está sujeto a las siguientes restricciones.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{j=1}^n x_{ji}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$x_{ij} = (0,1) \quad (2)$$

$$x_{ij} + x_{ji} \Rightarrow 1, i \langle \rangle j \quad (3)$$

Las restricciones (1) y (2) definen un modelo de asignación regular donde $X_{ij} = X_{ji}$ si el nodo (ciudad) i está conectado a un nodo (ciudad) j , y cero en caso contrario. Esta restricción también asegura que la ruta sea cíclica ya que las salidas de un nodo serán iguales a las entradas. Si el resultado de una arista es positivo entonces es un óptimo para el problema del cartero chino. (p. 396). La restricción (3) define que todas las aristas del grafo para que se cumplan todos los objetivos del presente estudio. Se añadirán más restricciones para la situación real que se pretende modelar y que se irán explicando durante el desarrollo.

1.4.3 Solver CPLEX

El solver CPLEX es uno de los programas de optimización más utilizados de la industria e investigación. Según IBM es capaz de resolver tipo de problemas como lineales y cuadráticas en variables continuas y enteras. Para este último caso utiliza las siguientes técnicas de resolución de problemas que son la de bifurcación y acotación avanzada '*branch and bound*', heurística de viabilidad y generadores de corte. (2020).

1.5 Estado del arte

1.5.1 Antecedentes de la investigación.

Respecto a los antecedentes de la presente investigación tenemos una tesis para optar el título de Ingeniero Industrial en la PUCP de José Taquía con el tema de *Optimización de rutas en una empresa de recojo de residuos sólidos en el distrito de Los Olivos*. En este caso se aplica

la sectorización en las rutas para hallar los caminos óptimos, logrando reducir la cantidad de vehículos necesarios para el recojo de residuos sólidos en Los Olivos. Esta investigación es muy similar a la presente; sin embargo, la diferencia se encuentra en la realidad de los distritos es distinta en cuanto a extensión del territorio, capacidad de flota, producción de residuos sólidos, entre otros.

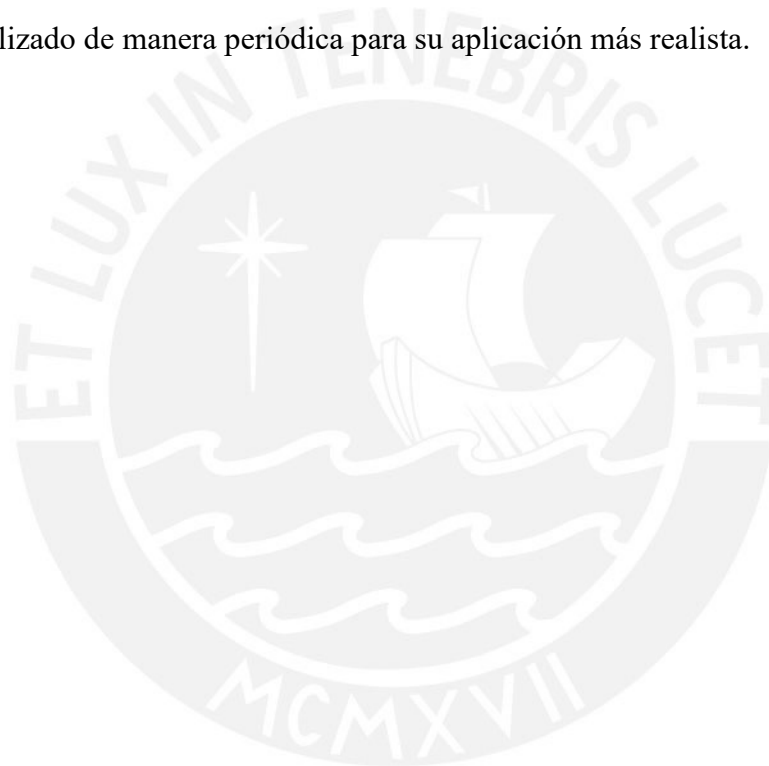
Por otro lado, existe una publicación del X Congreso de Ingeniería de Organización del 2006 que se desarrolló en Valencia, España. En esta investigación titulada *Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios*, se recopila las diferentes metodologías existentes para la optimización de las rutas para el recojo de residuos sólidos. Esta investigación sólo se dedica al ámbito teórico sin llegar a la aplicación de la metodología propuesta.

Por último, tenemos una investigación sobre *Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de Zarzal, Valle del Cauca* (Colombia). Aquí se busca optimizar el recorrido de cada vehículo para el recojo de residuos sólidos mediante un modelo de grafos que busque ser similar a las condiciones del municipio. El algoritmo empleado buscar minimizar la distancia total recorrida durante este proceso.

1.5.2 Supuestos básicos en la investigación.

Existen ciertos supuestos que se asumirán al momento de la resolución del problema propuesto en el presente estudio. El primero, trata sobre los residuos sólidos no domiciliarios, que sus datos son proporcionados en toneladas generadas por día especificando por los tipos de negocio o predios. Al respecto, se está asumiendo que estos son producidos de manera proporcional al tamaño superficial de una manzana y de acuerdo con la zonificación de cada una para obtener estos valores en toneladas diarias por manzana y conformar así la ruta de un camión compactador al ir sumando la generación de manzanas consecutivas hasta llegar a la

capacidad de esta unidad. Análogamente, el segundo supuesto es que los residuos totales obtenidos del barrido de calles también se asignan de manera proporcional a cada manzana de acuerdo con su tamaño y zonificación, para poder aproximar este valor a lo producido por una persona por día. Otro supuesto que se está manejando en esta investigación es que el modelo no considerará el flujo vehicular o tráfico por horas en el distrito, sin embargo, la programación de salida de las unidades compactadoras se está previendo fuera del horario de pico de cada día. Finalmente, el modelo no incluye el crecimiento poblacional por lo cual este estudio de deberá ser actualizado de manera periódica para su aplicación más realista.



Capítulo 2: Descripción de la entidad municipal

2.1 Distrito de San Luis

2.1.1 Historia.

El distrito de San Luis fue fundado el 23 de mayo de 1968 mediante la Ley N° 17023 durante el gobierno del expresidente Fernando Belaunde Terry. Anteriormente, fue parte del distrito limeño de La Victoria, como urbanización San Luis. (MDSL, 2019).

2.1.2 Localización.

El distrito de San Luis se encuentra ubicado en el centro de la capital del Perú, Lima, en los cruces de las carreteras Panamericana Sur y Central (MDSL, 2019). Limita por el noroeste con Cercado de Lima, por el norte con los distritos de El Agustino y Ate Vitarte; por el este con Ate Vitarte, por el sur con San Borja y por el oeste con La Victoria.

La Superficie total es de 4.5km² y tiene suelo homogéneo. La altura del distrito es de 175 m.s.n.m. Cuenta con 25 urbanizaciones, 1 condominio cerrado y 3 asentamientos humanos (MDSL, 2019).

2.2 Organización

De acuerdo con el Reglamento de Organización y Funciones de la Municipalidad Distrital de San Luis (2019), la estructura orgánica está compuesta de la siguiente manera:

Órganos de Alta dirección: Consejo Municipal, Alcaldía, Gerencia Municipal.

Órganos de Control Institucional y de defensa nacional: Órgano de Control Institucional y Procuraduría Pública Municipal.

Órganos de Administración Interna: Constituido por los siguientes niveles.

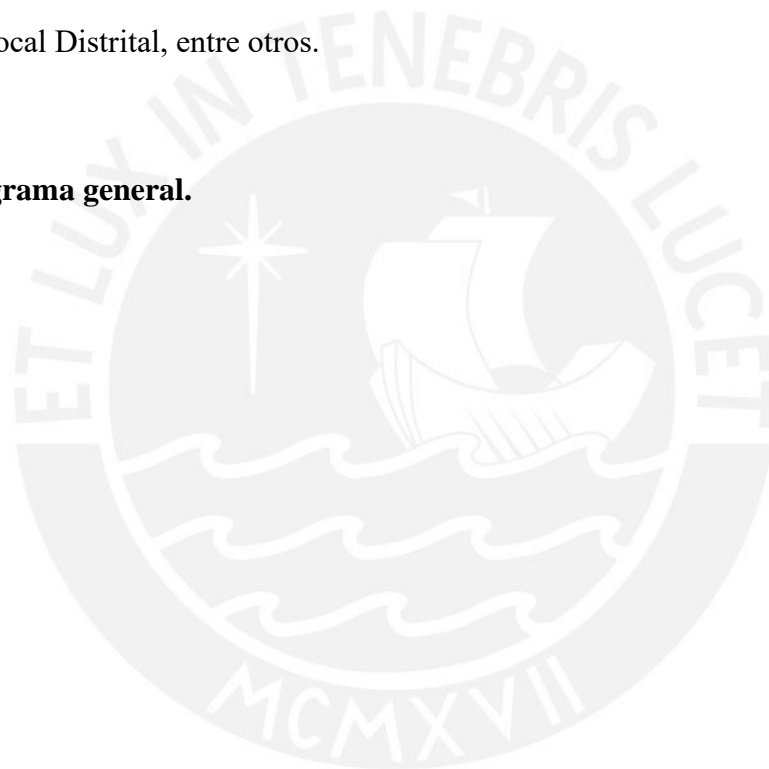
Órgano de asesoramiento: Gerencia de Asesoría Jurídica y Gerencia de Planeamiento Estratégico y Presupuesto.

Órgano de apoyo: Secretaría General, Gerencia de Administración y Finanzas.

Órgano de Línea: Gerencia de Desarrollo Urbano, Gerencia de Servicio de Administración Tributaria, Gerencia de Servicios Públicos, Gerencia de Promoción Económica y Social.

Otros Órganos: Órganos consultivos tales como Comisión de Regidores, Consejo de Coordinación Local Distrital, entre otros.

2.2.1 Organigrama general.



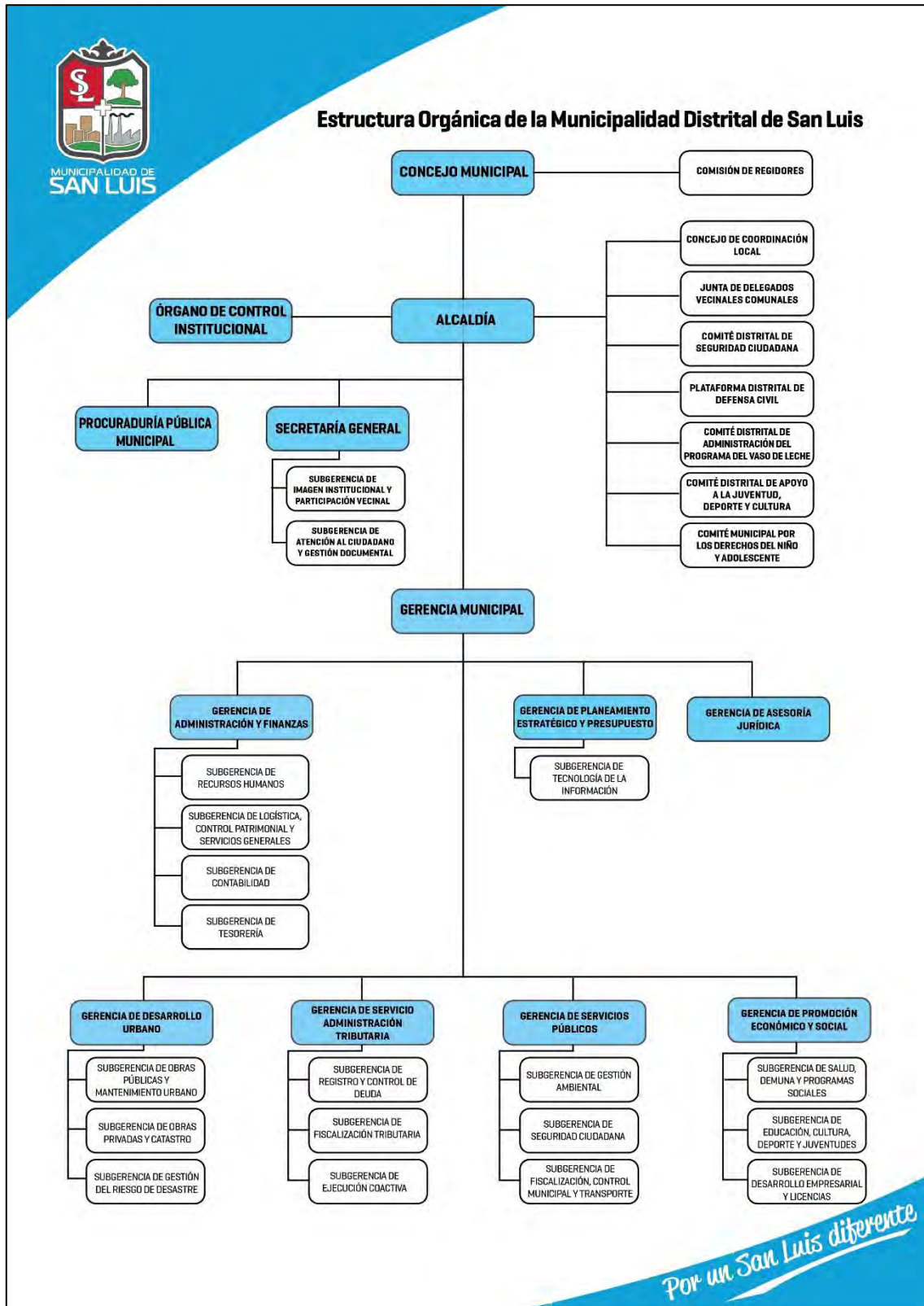


Figura 1. Organigrama General de la Municipalidad de San Luis.

Elaborado por la Municipalidad Distrital de San Luis (2020).

Como se observa el organigrama general de la Municipal Distrital de San Luis y de acuerdo con el Reglamento de Organización y Funciones (2020), el Consejo Municipal, conformado por el alcalde y los regidores, es el órgano de mayor jerarquía de la entidad. Respecto a los aspectos ambientales se encarga de aprobar el sistema de gestión ambiental local y sus instrumentos, aprobar, modificar o derogar ordenanzas, entre otros. Respecto a la Alcaldía, máxima autoridad ejecutiva y administrativa de la entidad, promulgar y publicar las ordenanzas, someter al Consejo Municipal la aprobación del sistema de gestión ambiental local y sus instrumentos. Respecto a la Gerencia Municipal, a cargo del Gerente Municipal quien es nombrado por el alcalde, es el órgano de dirección del más alto nivel administrativo y tiene como funciones planificar, organizar, dirigir y controlar los servicios públicos de acuerdo a la normativa vigente, proponer al Alcalde proyecto de ordenanzas y acuerdos, entre otros. (p.7).

2.3 La Gerencia de Servicios Públicos y Subgerencia de Gestión Ambiental

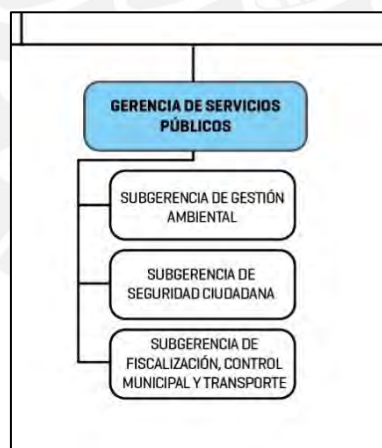


Figura 2. Organigrama de la Gerencia de Servicios a la Ciudad.

Elaborado por la Municipalidad Distrital de San Luis (2020).

La gestión ambiental en el distrito de San Luis depende directamente de la Gerencia de Servicios Públicos y Subgerencia de Gestión Ambiental. De acuerdo con el Reglamento de Organización y Funciones vigente (2020), la Gerencia de Servicios Públicos se encarga de

programar, organizar, conducir y controlar la prestación de los servicios públicos a los ciudadanos del distrito como la limpieza pública, protección del medio ambiente, entre otros. Adicionalmente, se encargan de proponer políticas y estrategias para la gestión ambiental y de residuos sólidos, así como normar y organizar sus actividades que provengan de ella. (p. 39).

Respecto a la Subgerencia de Gestión Ambiental, el ROF (MDSL, 2020) menciona que tiene como funciones elaborar y ejecutar el Plan de manejo de residuos sólidos, proponer mejoras en los servicios de limpieza de residuos que realiza la entidad, llevar a cabo el transporte, recolección, transferencia y disposición final de los residuos sólidos recolectados, desarrollar e implementar el plan de rutas de recojo de residuos sólidos que realizan las unidades de la entidad, así como formular la normatividad interna u otros documentos relacionados al ámbito ambiental como el Estudio de Caracterización de los residuos sólidos. (p. 41).

2.4 Actual gestión de recolección de residuos sólidos en el distrito

Actualmente el recojo de los residuos sólidos en el distrito de San Luis lo realiza una empresa externa a la municipalidad, es decir, el servicio de terceriza. Dicha empresa pone los camiones compactadores, su personal y demás recursos para el recojo. La Municipalidad de San Luis sólo se encarga de realizar la inspección de los servicios recibidos. Además del servicio de recolección, la empresa tercera se encarga del transporte y disposición final de los residuos sólidos de San Luis que se envía al relleno sanitario de Huaycoloro. Antes de iniciar la operación, los camiones compactadores destinan un tiempo a habilitar sus unidades y herramientas para iniciar el servicio desde un punto de concentración en el distrito.

Actualmente, existen cinco rutas de recojo de residuos en el distrito. Todas ellas inician a las 8:00 p.m. y terminan cerca de las 2:00 a.m. Además de ello, existe una ruta de repaso que inicia sus operaciones a las 7:00 a.m. y finaliza cerca del mediodía y recogen los residuos que

no fueron sacados a tiempo por los vecinos o los que no se lograron recolectar durante el horario regular. En total, la empresa tercera utiliza seis unidades de camiones compactadores para recoger los residuos sólidos que se generan a diario en el distrito de San Luis.

2.5 Clientes

En relación con el municipio de San Luis se podría determinar cómo sus clientes a la población en general quienes reciben los servicios públicos realizados por la municipalidad como la de recojo de residuos sólidos, serenazgo y limpieza pública de parques, jardines, plazas y veredas. Además, según el artículo 70 del Decreto Legislativo 1501 (2020) estos servicios son cobrados anualmente mediante los arbitrios y demás impuestos que la comuna debe recaudar para financiar estos servicios y que éste mismo calcula. (p.8). Se puede considerar también como clientes a las diversas empresas que existen en el distrito y que requieren de los servicios públicos de la municipalidad mientras no se trate de residuos peligrosos o del tipo no municipales de acuerdo con la normativa vigente.

Capítulo 3: Diagnóstico de la situación actual

3.1 Descripción del caso

El caso del presente estudio es el análisis y optimización de las rutas para el recojo de los residuos sólidos en el distrito de San Luis ubicado en Lima Metropolitana, Perú. Este se enfocó en hacer un diagnóstico de la gestión actual del servicio de recolección de residuos y, a partir de ello, presentar un rediseño a sus rutas en donde se aplique a investigación operativa. El objetivo es reducir los costos de este servicio, optimizar los recursos y satisfacer la demanda en el distrito.

La data inicial se obtuvo del estudio de caracterización de residuos sólidos que proporciona la cantidad de generación diaria para los residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios en el distrito. También se buscaron fuentes de datos en el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) respecto a la población del distrito y su distribución en cada una de las manzanas o conjuntos habitacionales que la conforman. Así mismo, se utilizó el plano de zonificación del distrito para entender la generación de residuo de cada zona.

Se va a emplear la investigación operativa para encontrar las rutas óptimas de recojo de residuos sólidos en el distrito. También se consideraron ciertas restricciones como capacidad de los camiones compactadores y la distribución de calles y avenidas en el distrito.

3.2 Gestión actual del recojo de residuos sólidos en el distrito de San Luis

De acuerdo con un documento interno de la municipalidad distrital (MDSL, 2021) a la que se tuvo acceso, el servicio de recolección de los residuos sólidos en la jurisdicción del distrito se terceriza en la actualidad. Es decir, una empresa externa lo realiza en acuerdo bajo contrato con la entidad. No obstante, a pesar de la tercerización del servicio, la Subgerencia de Gestión Ambiental es responsable de este servicio por lo que destina personal propio para la supervisión de las actividades de la empresa privada contratada. (p. 3).

La municipalidad actualmente realiza el servicio de recolección con seis camiones compactadores de lunes a domingo. Además, de acuerdo con el Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos 2020 – 2024, se cuentan con siete choferes de unidades compactadoras y 21 ayudantes de unidades compactadoras. (p. 26). Cada grupo (un chofer y tres ayudantes) descansa una vez a la semana. Así mismo, el servicio de recojo de los residuos sólidos se realizan en cinco rutas regulares más una de repaso por cada día en un horario determinado. A continuación, se muestran los detalles proporcionados por la entidad en la Tabla 1. Al término de cada ruta, los camiones compactadores se dirigen hacia el relleno sanitario de Huaycoloro para la disposición final de los residuos sólidos.

Tabla 1. Rutas actuales de recojo de residuos sólidos del distrito de San Luis.

RUTA	RECORRIDO	HORARIO	KM
ZONA I	URB. Tupac Amaru, Urb. Lincoln, Urb. Los Reyes, Urb. El Rincón, Urb. Ind. Castilla, Urb. Las Moras, Condominios del Aire	20:00 a 02:00	11,22
ZONA II	Urb. La Viña, Urb. La Marinera, Urb. El Trébol, Urb. San Luis, Urb. Las Moras	20:00 a 02:00	12,15
ZONA III	Urb. Villa Jardín, Urb. Cahuache, Urb. J. Prado IV Etapa y V Etapa, AA.HH. Limatambo Norte	20:00 a 02:00	18,82
ZONA IV	Urb. Jorge Chávez, Urb. San Jacinto, Urb. San Pablo I y II, Urb. San Luis	20:00 a 02:00	9,61
ZONA V	Urb. Mercurio, Urb. El Pino	07:00 a 12:00	16,17
ZONA VI	REPASO	04:00 a 08:00	22,63

Nota. Información extraída de informes de la Municipalidad Distrital de San Luis.

3.3 Análisis cuantitativo de la situación actual

3.3.1 Metodología a emplear para el análisis cualitativo.

Mediante este análisis matemático se pretende evaluar si la gestión actual de la recolección de los residuos sólidos tiene la capacidad de cubrir el 100% de la demanda de la población local.

Paso 1: Se extraerá los datos de la generación diaria de residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios del distrito en estudio del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos.

Este dato se presenta en kg de residuos generados por cada persona por día para el caso de los domiciliarios. Para los no domiciliarios, se presentan en kg por día.

A continuación, se debe calcular la generación diaria de residuos a nivel de manzanas.

Paso 2: Para el caso de los residuos domiciliarios, se recurrirá a la información que proporciona el Instituto Nacional de Estadística e Informática sobre la población residente en cada manzana del distrito en estudio de acuerdo con el censo realizado en el año 2017. Luego, se multiplicará la cantidad de habitantes de cada manzana por la cantidad de su generación per cápita diaria de residuos de acuerdo con el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos y al Plano Estratificado de Lima Metropolitana a Nivel de Manzana 2020 del INEI que nos indicará el estrato social de cada una de ellas en el distrito en estudio.

Paso 3: Para el caso de los residuos no domiciliarios, se asignará la cantidad de residuos sólidos diarios a cada manzana de manera proporcional al área de su superficie. Sin embargo, en este caso sólo serán considerados las manzanas que tengan zonificación del tipo comercial o similar de acuerdo con el Plano de Zonificación del Distrito.

Paso 4: Se sumará las cantidades de residuos diarios domiciliarios y no domiciliarios de cada manzana para obtener la cantidad total de cada una de ellas del distrito.

Paso 5: Posteriormente, cada manzana será agrupada en cada una de las cinco rutas regulares que realizan los camiones compactadores de acuerdo con el ruteo actual para obtener la cantidad de residuos que cada unidad deberá recolectar en un turno. Este dato obtenido será comparado con la capacidad del camión, que según la ficha técnica obtenida del fabricante consiste en 19 m³ de volumen útil y 15 556 kg de carga útil.

Paso 6: Se obtendrá la cantidad mínima de viajes que se debe realizar para poder cubrir el 100% de la demanda local para el servicio de recojo de residuos sólidos. Finalmente, se debe comparar con la cantidad de viajes realizados en la actualidad para calcular la brecha de cobertura del servicio de recolección de los residuos.

3.3.2 Generación per cápita diaria de residuos sólidos.

3.3.2.1 Residuos sólidos domiciliarios.

Paso 1. El Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos elaborado por la entidad municipal (2019) proporciona la generación per cápita (GPC) del distrito de acuerdo con tres niveles socioeconómicos que son las siguientes según se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios por estrato económico.

Estrato económico	N° manzanas	Población	GPC total del estrato validado (kg/persona/día)	Generación TOTAL (kg/día)
Medio Alto	195	35 730	0,75	26 797,64
Medio	87	14 206	0,72	10 228,64
Medio Bajo	13	856	0,70	599,39
Total	295	50 793		37 625,67

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Paso 2. Para calcular los residuos domiciliarios actuales, se debe obtener, el primer lugar, la información de la cantidad de habitantes de cada manzana del distrito. Esta información se encuentra disponible a través del Instituto Nacional de Estadística e Informática en su último Censo Nacional del año 2017. Cabe resaltar, que estos datos se han proyectado para el año 2022 a través de la tasa de crecimiento poblacional promedio que se muestra en el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos del distrito.

Paralelamente, se debe clasificar cada una de las manzanas del distrito en los tres estratos económicos presentados según el Plano Estratificado de Lima Metropolitana a Nivel de Manzana del INEI: Medio alto, medio y medio bajo. Finalmente, se debe multiplicar la cantidad de habitantes y los residuos producidos en cada persona (según en estrato del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos) para obtener la cantidad total a recolectar por cada manzana del distrito.

A continuación, se presenta los valores obtenidos de la generación diaria de residuos

sólidos domiciliarios por manzana. En la Tabla 3 se muestran los cálculos finales para el caso de la población de estrato económico medio bajo.

Tabla 3. Generación de residuos sólidos domiciliarios por manzana para el estrato socioeconómico medio bajo.

N° manzana	Población 2022	GPC DIARIO	Generación por manzana (kg/día)
1	20	0,70	14,34
2	43	0,70	30,04
3	37	0,70	25,94
4	30	0,70	21,16
5	33	0,70	23,21
6	20	0,70	13,65
7	23	0,70	16,38
8	8	0,70	5,46
9	31	0,70	21,85
10	25	0,70	17,75
11	30	0,70	21,16
12	341	0,70	238,94
13	214	0,70	149,51
TOTAL	856	9,10	599,39

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

De manera similar, se realiza el cálculo de la cantidad de residuos sólidos domiciliarios para las manzanas con estrato económico medio de acuerdo a la Tabla 4. Considerar GPC diaria de 0,72 kg / persona / día según el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos (2019).

Tabla 4. Generación de residuos sólidos domiciliarios por manzana para el estrato socioeconómico medio

N° manzana	Población 2022	Generación por manzana (kg/día)	N° manzana	Población 2022	Generación por manzana (kg/día)
14	33	23,87	58	22	16,15
15	110	79,35	59	17	11,94
16	157	113,05	60	13	9,13
17	113	81,45	61	180	129,90
18	298	214,87	62	26	18,96
19	298	214,87	65	221	159,39
20	140	101,11	69	359	258,40
21	227	163,61	70	57	40,73
22	100	72,32	71	266	191,69
23	179	129,20	72	222	160,10
24	130	93,39	73	89	63,90
25	133	95,50	74	2	1,40
26	228	164,31	75	280	201,53
27	0	0,00	76	289	207,85
28	217	156,59	77	302	217,68
29	92	66,00	78	21	15,45
30	87	62,49	80	374	268,93
31	188	135,52	81	337	242,95
32	39	28,09	82	372	267,53
33	178	128,50	177	78	56,17
34	196	141,14	178	275	198,01
35	262	188,89	179	298	214,87
36	62	44,94	181	282	202,93
37	126	90,58	182	360	259,10
38	202	145,35	183	67	48,45
39	259	186,78	184	57	40,73
40	270	194,50	185	180	129,90
41	0	0,00	186	582	419,20
42	41	29,49	187	414	298,43
43	0	0,00	188	38	27,38
44	0	0,00	189	153	110,24
45	0	0,00	190	259	186,78
46	9	6,32	191	357	257,00
47	12	8,43	192	475	341,96
48	18	12,64	193	108	77,94
49	5	3,51	194	4	2,81
50	0	0,00	195	12	8,43
51	80	57,58	196	0	0,00
52	121	87,07	211	253	181,86
53	0	0,00	213	15	10,53
54	4	2,81	292	519	373,56
55	38	27,38	293	594	427,63
56	0	0,00	294	715	514,70
57	7	4,92	TOTAL	14 206	10 228,64

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

De manera similar, se realiza el cálculo de la cantidad de residuos sólidos domiciliarios para las manzanas con estrato económico medio alto de acuerdo a la Tabla 5. Considerar GPC diaria de 0,75 kg / persona / día según el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos.



Tabla 5. Generación de residuos sólidos domiciliarios por manzana para el estrato socioeconómico medio alto.

N° manzana	Población 2022	Generación por manzana (kg/día)	N° manzana	Población 2022	Generación por manzana (kg/día)
63	116	87,04	175	353	264,78
64	22	16,82	176	55	40,96
66	49	36,57	180	358	268,44
67	67	50,47	197	16	11,70
68	816	612,21	198	37	27,79
79	256	191,64	199	64	48,27
83	420	315,25	200	117	87,77
84	271	203,34	201	74	55,59
85	414	310,13	202	113	84,85
86	288	215,77	203	75	56,32
87	134	100,21	204	282	211,39
88	341	256,00	205	146	109,72
89	229	171,89	206	438	328,42
90	115	86,31	207	145	108,98
91	182	136,78	208	231	173,35
92	88	65,83	209	0	0,00
93	157	117,76	210	37	27,79
94	186	139,70	212	292	218,70
95	274	205,53	214	165	123,61
96	478	358,40	215	179	134,58
97	167	125,08	216	203	152,14
98	187	140,44	217	246	184,32
99	196	147,02	218	110	82,65
100	121	90,70	219	22	16,82
101	182	136,78	220	82	61,44
102	279	209,19	221	20	15,36
103	86	64,37	222	21	16,09
104	163	122,15	223	347	260,39
105	273	204,80	224	0	0,00
106	73	54,86	225	103	77,53
107	135	100,94	226	122	91,43
108	141	106,06	227	106	79,73
109	201	150,68	228	249	186,52
110	251	187,98	229	108	81,19
111	160	119,96	230	100	75,34
112	111	83,38	231	108	81,19
113	133	99,48	232	139	104,60
114	138	103,13	233	80	59,98
115	93	69,49	234	145	108,98
116	15	10,97	235	86	64,37
117	107	80,46	236	152	114,10
118	115	86,31	237	141	106,06
119	153	114,84	238	52	38,77
120	140	105,33	239	185	138,97
121	48	35,84	240	0	0,00
122	316	236,99	241	114	85,58
123	277	207,73	242	135	100,94

124	47	35,11	243	119	89,24
125	177	133,12	244	95	70,95
126	34	25,60	245	158	118,49
127	127	95,09	246	126	94,36
128	167	125,08	247	82	61,44
129	134	100,21	248	71	53,39
130	161	120,69	249	82	61,44
131	155	116,30	250	71	53,39
132	196	147,02	251	242	181,40
133	193	144,82	252	114	85,58
134	224	168,23	253	114	85,58
135	202	151,41	254	77	57,78
136	157	117,76	255	4	2,93
137	157	117,76	256	386	289,65
138	182	136,78	257	423	317,44
139	107	80,46	258	461	345,97
140	219	164,57	259	137	102,40
141	227	170,42	260	4 471	3 352,91
142	216	161,65	261	132	98,74
143	150	112,64	262	93	69,49
144	207	155,06	263	130	97,28
145	125	93,62	264	229	171,89
146	165	123,61	265	102	76,80
147	176	131,66	266	90	67,29
148	288	215,77	267	112	84,12
149	194	145,56	268	111	83,38
150	69	51,93	269	177	132,39
151	187	140,44	270	7	5,12
152	80	59,98	271	131	98,01
153	78	58,51	272	141	106,06
154	215	160,92	273	88	65,83
155	33	24,87	274	166	124,34
156	74	55,59	275	157	117,76
157	223	167,50	276	100	75,34
158	364	272,83	277	116	87,04
159	157	117,76	278	187	140,44
160	141	106,06	279	136	101,67
161	132	98,74	280	23	17,55
162	0	0,00	281	52	38,77
163	97	72,41	282	34	25,60
164	51	38,03	283	111	83,38
165	68	51,20	284	58	43,15
166	32	24,14	285	48	35,84
167	215	160,92	286	146	109,72
168	183	137,51	287	148	111,18
169	64	48,27	288	121	90,70
170	286	214,31	289	268	201,15
171	325	243,57	290	167	125,08
172	318	238,45	291	111	83,38
173	272	204,07	295	1 105	828,72
174	131	98,01	TOTAL	26 798	13 008,60

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

3.3.2.2 Residuos sólidos no domiciliarios.

Paso 3. Para el caso de los residuos sólidos no domiciliarios, el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos nos presenta los siguientes datos para los residuos generados en establecimientos comerciales, hoteles, mercados, restaurantes, institutos públicos y privados, instituciones educativas, establecimientos especiales y barrido de calles como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 6. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en establecimientos comerciales.

ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO (kg/día)	TOTAL DE GENERADORES	Generación Total (kg/día)
CLASE 1	CLASE 1: BODEGAS - PANADERIAS - PASTELERIAS	6,02	598,00	3 600,61
CLASE 2	LIBRERIAS - BAZARES - CABINA INTERNET - LOCUTORIOS	2,91	436,00	1 270,71
CLASE 3	FERRETERIAS	13,02	253,00	3 295,10
CLASE 4	FARMACIAS - PELUQUERIAS	2,83	290,00	821,36
CLASE 5	DISCOTECA - KARAOKE	5,51	20,00	110,23
CLASE 6	SERVICIOS MECANICOS - TALLERES - CARWASH	12,47	816,00	10 178,29

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 7. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en hoteles.

HOTELES	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO (kg/día)	TOTAL DE GENERADORES	Generación Total (kg/día)
CLASE 1	HOTELES	11,92	3,00	35,77
CLASE 2	HOSTALES	12,58	15,00	188,76

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 8. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en mercados.

MERCADOS	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO (kg/día)	TOTAL DE GENERADORES	Generación Total (kg/día)
CLASE 1	600 M2 A MAS	90,25	7,00	631,78
CLASE 2	DE 400 M2 A 600 M2	52,18	4,00	208,72
CLASE 3	DE 200 M2 400 M2	35,55	9,00	319,91

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 9. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en restaurantes.

RESTAURANTES	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO (kg/día)	TOTAL DE GENERADORES	Generación Total (kg/día)
CLASE 1	CEVICHERIA - CHIFA - POLLERIA	16,41	182,00	2 987,21
CLASE 2	COMIDA RAPIDA	17,87	341,00	6 092,45

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 10. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en instituciones públicas y privadas.

INSTITUCIONES PÚBLICAS Y PRIVADAS	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO (kg/día)	TOTAL DE GENERADORES	Generación Total (kg/día)
CLASE 1	BANCOS	3,66	41,00	149,94
CLASE 2	OFICINAS ADMINISTRATIVAS	2,19	145,00	317,47

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 11. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en instituciones educativas.

INSTITUCIONES EDUCATIVAS	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO (kg/día)	TOTAL DE GENERADORES	Generación Total (kg/día)
CLASE 1	COLEGIOS CON MAS DE 200 ALUMNOS	94,47	11,00	1 039,20
CLASE 2	COLEGIOS CON MENOS DE 200 ALUMNOS	47,83	19,00	908,70
CLASE 3	INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR	30,98	5,00	154,91

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 12. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en establecimientos especiales.

ESTABLECIMIENTOS ESPECIALES	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO (kg/día)	TOTAL DE GENERADORES	Generación Total (kg/día)
CLASE 1	LUCRICENTROS	3,01	21,00	63,21
CLASE 2	CENTROS VETERINARIOS	2,65	13,00	34,45

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 13. Residuos sólidos recolectados en el barrido de calles.

BARRIDO DE CALLES	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO (kg/día)	KM RECCORRIDOS	Generación Total (kg/día)
CLASE 1	CALLES INTERNAS	92,31	47,00	4 338,60
CLASE 2	AVENIDAS	98,99	30,00	2 969,67

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

También estamos considerando el caso de los residuos recolectados a través del servicio de barrido de calles ya que los trabajadores que realizan este servicio colocan estos residuos a un camión compactador en el final de sus turnos.

Para obtener los residuos no domiciliarios generados por cada manzana del distrito se asignará el total de la generación diaria total de manera proporcional al área de las manzanas. De acuerdo con la zonificación del distrito sólo se considerará aquellas que tengan terreno del tipo comercial (Comercio Vecinal, Comercio Zonal) y Vivienda Taller para asignarles los residuos de establecimientos comerciales, hoteles, mercados, restaurantes y establecimientos especiales. Los residuos de instituciones públicas y privadas se asignarán a las manzanas con zonificación de Usos Especiales (OU). Para el caso de las instituciones educativas se considera la zonificación de Educación Básica (E1), Educación Superior Tecnológica (E2) y Educación Superior Universitaria (E3). Finalmente, para los residuos obtenidos del Barrido de calles, se asignarán a todas las manzanas del distrito ya que las rutas de barrido cubren todos los sectores del distrito.

3.3.2.2.1 *Residuos de establecimientos comerciales.*

A continuación, se procederá a calcular la generación por cada manzana de los residuos de establecimientos comerciales. Para este caso, sólo se consideraron las manzanas con tipo de zonificación Vivienda Taller, Comercio Vecinal y Comercio Zonal. Se asignará los residuos generados a cada manera de manera proporcional a su área (factor de asignación) y teniendo en cuenta a los establecimientos comerciales de acuerdo con el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos. Los resultados se presentan en la Tabla 14 y los detalles en el anexo A.

Tabla 14. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por manzana en establecimientos comerciales.

N° manzana	Generación por manzana (kg/día)	N° manzana	Generación por manzana (kg/día)	N° manzana	Generación por manzana (kg/día)
1	41,01	66	551,40	151	127,62
2	40,20	67	280,05	152	303,77
3	34,12	68	413,79	153	70,91
4	32,47	69	492,83	154	192,99
5	35,12	71	557,12	158	151,82
6	32,73	72	286,71	159	92,37
7	45,92	73	124,75	160	175,99
8	43,74	75	164,87	161	359,55
9	56,26	76	305,89	163	85,37
10	28,14	77	306,25	167	137,73
11	47,92	78	151,97	171	198,13
12	1 002,52	79	576,41	176	121,65
13	244,75	80	376,63	177	185,80
14	15,52	81	171,54	178	221,15
15	141,56	82	195,43	179	231,57
16	129,44	83	562,93	180	369,09
17	189,67	84	399,65	181	232,51
18	278,64	85	478,10	182	295,83
19	285,42	86	406,16	183	64,81
20	144,11	87	300,05	184	449,25
21	225,97	88	557,15	185	354,14
22	97,17	89	425,49	186	534,21
23	173,45	90	407,10	187	379,76
24	105,49	91	128,06	188	60,56
25	119,74	96	164,41	189	178,70
26	172,69	105	158,85	190	586,80
27	240,20	107	68,09	191	158,89
28	201,30	109	164,62	192	236,42
29	230,00	110	21,64	193	225,27
30	97,96	111	124,81	202	158,06
31	175,57	113	119,37	203	217,99
32	160,88	116	38,81	205	95,55
33	104,31	117	87,76	206	252,04
34	134,26	118	141,07	208	78,36
35	186,15	119	258,11	211	309,73
36	158,52	120	115,03	212	36,73
37	99,79	121	42,70	213	821,67
38	213,81	122	204,58	214	128,69
39	170,65	123	20,26	215	50,07
40	239,63	128	160,19	223	43,87
42	403,62	135	188,42	258	204,41
51	161,33	136	134,47	260	22,76
52	95,13	137	123,48	292	99,82
61	1 135,29	139	102,85	294	124,99
62	442,35	140	38,16	295	30,68
63	134,62	143	108,84	TOTAL	29 838,56
65	514,30	146	110,25		

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

3.3.2.2.2 Residuos de instituciones educativas.

Para este caso el análisis se procederá de manera análoga al apartado anterior de los residuos generados por establecimientos comerciales. Para este caso se consideraron las manzanas con tipos de zonificación E1 (educación básica), E2 (educación superior tecnológica) y E3 (educación superior universitaria). Se asignará los residuos generados a cada manera de manera proporcional a su área (factor de asignación). En la Tabla 15 tenemos la generación total de cada una de los de instituciones educativas y en la Tabla 16 tenemos los resultados de la generación de este tipo de residuos por cada manzana del distrito.

Tabla 15. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en instituciones educativas.

Tipo de zonificación	Generación total (kg/día)
CLASE 1 Y 2 (E1 y E2)	1 947,90
CLASE 3 (E3)	154,91
Total	2 102,81

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 16. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por manzana en instituciones educativas.

N° manzana	Área (m2)	Zonificación	Factor Asignación	Generación por manzana (kg/día)
37	1 733,36	E1 o E2	4,40%	85,69
74	5 605,10	E1 o E2	14,23%	277,11
80	1 720,44	E1 o E2	4,37%	85,06
103	3 046,56	E1 o E2	7,73%	150,62
162	9 644,60	E1 o E2	24,48%	476,81
166	2 137,78	E1 o E2	5,43%	105,69
184	3 078,58	E1 o E2	7,81%	152,20
223	678,11	E1 o E2	1,72%	33,52
224	3 684,50	E1 o E2	9,35%	182,16
255	5 004,64	E1 o E2	12,70%	247,42
270	3 066,89	E1 o E2	7,78%	151,62
Subtotal	39 400,54	E1 o E2	100,00%	1947,90
153	1 380,72	E3	100,00%	154,91
Subtotal	1 380,72	E3	100,00%	154,91

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

3.3.2.2.3 Residuos de instituciones públicas y privadas.

Para este caso el análisis se procederá de manera análoga al apartado anterior de los residuos generados por actividades comerciales. Para este caso se seleccionaron las manzanas

con tipo de zonificación Usos Especiales (OU). Se asignará los residuos generados a cada manera de manera proporcional a su área (factor de asignación). En Tabla 17 se muestra la cantidad total generado por las instituciones públicas y privadas y en la Tabla 18 se presenta la generación por manzana del distrito.

Tabla 17. Generación de residuos sólidos no domiciliarios en instituciones públicas y privadas.

Residuos de Instituciones públicas y privadas	Generación TOTAL (kg/día)
CLASE 1 y 2	467,41
Total	467,41

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 18. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por manzana en instituciones públicas y privadas.

Manzana	Área (m2)	Zonificación	Factor Asignación	Generación por manzana (kg/día)
46	6 006,16	OU	36,65%	171,28
91	1 285,27	OU	7,84%	36,65
103	729,81	OU	4,45%	20,81
196	1 992,95	OU	12,16%	56,84
295	6 375,69	OU	38,90%	181,82
TOTAL	16 389,89	OU	100,00%	467,41

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

3.3.2.2.4 Residuos del barrido de calles.

Para este caso el análisis se procederá de manera análoga a los casos anteriores. Se asignará los residuos generados a cada manera de manera proporcional a su área (factor de asignación). En la Tabla 19 se muestra la cantidad total generado por el servicio de barrido de calles y en la Tabla 20 la cantidad de residuos asignados a cada manzana por este concepto y en el Anexo B está más detallado.

Tabla 19. Distancia total recorrida en el barrido de calles.

Barrido de calles	Recorrido Total (m)
CALLES INTERNAS	4 338,60
AVENIDAS	2969,67

Nota. Información extraída del Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Tabla 20. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por manzana en barrido de calles.

N° manzana	Generación por manzana (kg/día)	N° manzana	Generación por manzana (kg/día)	N° manzana	Generación por manzana (kg/día)
1	3,50	100	12,06	199	41,85
2	3,43	101	21,51	200	67,80
3	2,91	102	18,71	201	78,70
4	2,77	103	24,89	202	17,96
5	3,00	104	20,27	203	18,61
6	2,79	105	27,12	204	17,63
7	3,92	106	11,38	205	16,31
8	3,73	107	15,81	206	39,66
9	4,80	108	17,10	207	13,33
10	2,40	109	28,10	208	27,69
11	4,09	110	24,98	209	5,62
12	85,57	111	21,31	210	2,56
13	20,89	112	13,43	211	26,44
14	1,32	113	20,38	212	22,22
15	12,08	114	10,93	213	70,14
16	11,05	115	10,82	214	21,97
17	16,19	116	3,31	215	23,74
18	23,79	117	14,98	216	21,12
19	24,36	118	20,58	217	21,25
20	12,30	119	34,75	218	6,16
21	19,29	120	19,64	219	1,15
22	8,29	121	7,29	220	2,52
23	14,81	122	30,37	221	0,68
24	9,00	123	27,09	222	0,76
25	10,22	124	6,48	223	29,86
26	14,74	125	27,59	224	14,36
27	20,50	126	16,48	225	10,09
28	17,18	127	20,01	226	8,39
29	19,63	128	27,35	227	7,65
30	8,36	129	19,86	228	18,63
31	14,99	130	21,72	229	10,30
32	13,73	131	18,66	230	6,73
33	15,66	132	28,40	231	6,74
34	11,46	133	17,73	232	16,77
35	15,89	134	26,12	233	5,93
36	13,53	135	27,54	234	8,41
37	8,52	136	22,96	235	6,68
38	18,25	137	21,08	236	7,70
39	14,57	138	20,50	237	10,09
40	20,45	139	14,68	238	6,68
41	69,71	140	19,96	239	5,92
42	166,37	141	24,22	240	7,59
43	29,50	142	20,45	241	7,62
44	28,99	143	9,29	242	8,44
45	152,98	144	23,56	243	6,75
46	44,84	145	14,15	244	7,56
47	73,50	146	18,82	245	16,90
48	106,60	147	14,52	246	8,47
49	112,61	148	21,81	247	5,93

50	98,03	149	22,25	248	8,45
51	41,41	150	12,16	249	5,90
52	51,78	151	21,79	250	8,42
53	111,55	152	25,93	251	17,45
54	98,97	153	26,34	252	9,30
55	34,23	154	28,65	253	8,41
56	64,84	155	4,68	254	10,11
57	125,93	156	12,11	255	19,51
58	122,62	157	26,32	256	40,13
59	102,40	158	25,92	257	34,75
60	73,60	159	13,31	258	34,90
61	96,91	160	23,97	259	11,50
62	37,76	161	30,69	260	135,18
63	11,49	162	37,60	261	11,24
64	94,87	163	14,57	262	11,25
65	45,73	164	15,56	263	13,09
66	47,07	165	10,90	264	23,45
67	23,91	166	24,27	265	8,43
68	35,32	167	23,51	266	8,42
69	42,07	168	24,75	267	9,36
70	37,59	169	8,37	268	8,43
71	47,56	170	31,13	269	11,23
72	24,47	171	33,83	270	11,96
73	10,65	172	20,37	271	10,30
74	21,85	173	14,16	272	8,43
75	14,07	174	9,42	273	10,35
76	26,11	175	18,34	274	22,52
77	26,14	176	10,38	275	11,28
78	12,97	177	15,86	276	10,33
79	49,20	178	18,88	277	9,63
80	38,86	179	19,77	278	15,35
81	14,64	180	31,51	279	15,14
82	16,68	181	19,85	280	0,72
83	48,05	182	25,25	281	1,16
84	34,11	183	5,53	282	1,72
85	40,81	184	50,35	283	3,81
86	34,67	185	30,23	284	2,03
87	25,61	186	45,60	285	2,29
88	47,56	187	32,42	286	15,04
89	36,32	188	5,17	287	10,50
90	34,75	189	15,25	288	13,17
91	21,95	190	50,09	289	19,30
92	12,00	191	13,56	290	14,34
93	20,26	192	20,18	291	7,66
94	18,22	193	33,30	292	17,04
95	22,95	194	46,73	293	16,70
96	28,07	195	34,88	294	21,34
97	18,76	196	7,77	295	56,03
98	15,85	197	99,83	TOTAL	7 308,27
99	19,73	198	61,05		

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

3.3.2.3 *Residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios.*

Paso 4. Finalmente, se suman los residuos domiciliarios y no domiciliarios generados en cada manzana para obtener el total de generación para cada uno de ellos como se observa en el Anexo C. A continuación, se presentan los datos en la Tabla 21.



Tabla 21. Generación diaria total de residuos por manzanas.

N° manzana	Generación diaria total (kg/día)	N° manzana	Generación diaria total (kg/día)	N° manzana	Generación diaria total (kg/día)
1	58,84	100	102,75	199	90,12
2	73,67	101	158,29	200	155,58
3	62,97	102	227,90	201	134,29
4	56,40	103	260,68	202	260,87
5	61,32	104	142,42	203	292,91
6	49,18	105	390,77	204	229,02
7	66,22	106	66,24	205	221,57
8	52,94	107	184,84	206	620,12
9	82,90	108	123,16	207	122,31
10	48,29	109	343,40	208	279,40
11	73,18	110	234,59	209	5,62
12	1 327,03	111	266,07	210	30,35
13	415,15	112	96,82	211	518,03
14	40,72	113	239,22	212	277,65
15	232,99	114	114,06	213	902,34
16	253,54	115	80,31	214	274,28
17	287,31	116	53,09	215	208,40
18	517,30	117	183,20	216	173,26
19	524,65	118	247,96	217	205,58
20	257,53	119	407,70	218	88,82
21	408,86	120	239,99	219	17,97
22	177,78	121	85,83	220	63,96
23	317,45	122	471,94	221	16,04
24	207,88	123	255,08	222	16,85
25	225,46	124	41,59	223	367,65
26	351,74	125	160,71	224	196,52
27	260,71	126	42,08	225	87,62
28	375,07	127	115,10	226	99,82
29	315,64	128	312,61	227	87,37
30	168,81	129	120,06	228	205,14
31	326,07	130	142,40	229	91,49
32	202,70	131	134,96	230	82,07
33	248,47	132	175,42	231	87,93
34	286,86	133	162,56	232	121,37
35	390,92	134	194,35	233	65,91
36	216,99	135	367,37	234	117,40
37	284,58	136	275,19	235	71,04
38	377,41	137	262,33	236	121,80
39	371,99	138	157,28	237	116,15
40	454,59	139	197,99	238	45,45
41	69,71	140	222,69	239	144,89
42	599,48	141	194,64	240	7,59
43	29,50	142	182,09	241	93,20
44	28,99	143	230,77	242	109,37
45	152,98	144	178,63	243	95,98
46	222,44	145	107,77	244	78,51
47	81,92	146	252,68	245	135,39
48	119,24	147	146,18	246	102,83

49	116,12	148	237,58	247	67,37
50	98,03	149	167,80	248	61,85
51	260,32	150	64,09	249	67,34
52	233,97	151	289,84	250	61,82
53	111,55	152	389,67	251	198,84
54	101,78	153	310,68	252	94,87
55	61,61	154	382,55	253	93,99
56	64,84	155	29,55	254	67,90
57	130,84	156	67,70	255	269,86
58	138,77	157	193,82	256	329,77
59	114,34	158	450,57	257	352,19
60	82,73	159	223,44	258	585,27
61	1 362,10	160	306,03	259	113,90
62	499,07	161	488,99	260	3 510,85
63	233,15	162	514,41	261	109,98
64	111,70	163	172,36	262	80,74
65	719,43	164	53,60	263	110,37
66	635,04	165	62,10	264	195,34
67	354,43	166	154,09	265	85,23
68	1 061,33	167	322,16	266	75,71
69	793,30	168	162,26	267	93,47
70	78,32	169	56,64	268	91,81
71	796,37	170	245,44	269	143,62
72	471,28	171	475,53	270	168,70
73	199,29	172	258,82	271	108,32
74	300,36	173	218,23	272	114,49
75	380,47	174	107,44	273	76,18
76	539,85	175	283,12	274	146,86
77	550,06	176	172,99	275	129,04
78	180,39	177	257,84	276	85,66
79	817,25	178	438,04	277	96,67
80	769,48	179	466,20	278	155,78
81	429,14	180	669,04	279	116,81
82	479,64	181	455,29	280	18,28
83	926,23	182	580,19	281	39,92
84	637,10	183	118,79	282	27,32
85	829,04	184	692,52	283	87,20
86	656,60	185	514,27	284	45,19
87	425,86	186	999,01	285	38,13
88	860,72	187	710,60	286	124,75
89	633,69	188	93,11	287	121,67
90	528,16	189	304,20	288	103,87
91	323,45	190	823,67	289	220,45
92	77,83	191	429,45	290	139,42
93	138,02	192	598,56	291	91,05
94	157,92	193	336,51	292	490,42
95	228,48	194	49,53	293	444,33
96	550,88	195	43,31	294	661,02
97	143,84	196	64,60	295	1 097,25
98	156,29	197	111,53	Total	77 342,72
99	166,74	198	88,85		

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

Seguidamente, en el Paso 5, se agrupa la generación total de residuos sólidos de cada manzana de acuerdo con cada una de las rutas regulares de los camiones compactadores. Se calculará la cantidad total de residuos que se deben recolectar en cada viaje. Para la ruta Zona VI (repasso) se considera a su cantidad de residuos a recolectar como parte de las otras rutas ya que en el repaso se recoge lo que otras rutas han dejado como pendiente durante el día. Estos datos se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Cantidad de residuos a recolectar en cada una de las rutas actuales.

RUTAS	N° manzanas	Residuos sólidos a recolectar (kg/día)
ZONA I	197 al 291	17 256,11
ZONA II	66 al 67, 84 al 90, 160 al 196	18 259,58
ZONA III	91 al 159, 292 al 295	16 797,54
ZONA IV	1 al 40, 68 al 83	19 284,89
ZONA V	41 al 65	5 744,61
ZONA VI	66 al 295	REPASO
TOTAL		77 342,72

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

A continuación, procedemos a calcular la capacidad de recojo de residuos (en kg) de un camión compactador de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante (19 m³ de volumen y 15 556 kg de carga útil del camión). Adicionalmente, de acuerdo con la Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2002) tenemos que la densidad de la basura compactada de 500 kg/m³. Los datos recolectados y procesados se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23. Capacidad unitaria y total en Kg para el recojo de residuos sólidos.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Unidades
Camiones compactadores	5	camiones
Total de viajes diarios	6	viajes
Capacidad unitaria por compactador	19	m ³
Densidad de basura compactada	500	kg / m ³
Capacidad unitaria de recojo	9 500	kg
Capacidad máxima unitaria por camión	15 556	kg
Capacidad diaria total de recojo	57 000	kg

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

De la anterior tabla se observa que existe una capacidad no utilizada del camión compactador ya que sólo se utilizan 9 500 de los 15 556 kg de carga útil de la unidad. Sin embargo, para mejorar este factor de eficiencia tendrá que ser a partir de una mejora en la tecnología de compactación de la basura ya que se aumentaría los 500 kg / m³ de densidad de los residuos, sin embargo, esto no es objeto de estudio en la presente investigación. Finalmente, la capacidad diaria de recojo se obtiene a partir de la capacidad unitaria de cada camión multiplicada por la cantidad de viajes al día (cinco regulares y uno de repaso).

3.3.2.4 Brecha de cobertura del servicio de recojo de residuos sólidos.

Paso 6. A continuación, con los datos obtenidos se procede a calcular la cantidad de viajes mínimos requeridos para cubrir toda la demanda del servicio de recolección de residuos (100% de cobertura). En la Tabla 24, los viajes requeridos se obtiene a partir de la división entre la cantidad de residuos a recolectar entre la capacidad unitaria de recojo que se presenta en la Tabla 23. La columna de viajes programados se considera como uno para cada una de las rutas actuales (regulares y de repaso). Para la ruta Zona VI no se calcula viaje requerido ya que es una del tipo repaso en donde debe recoger la cantidad que no se pudo recolectar en el turno regular de las anteriores rutas. De la Tabla 24, como mínimo se necesitan 8,14 viajes para recolectar todos los residuos del distrito en estudio.

Tabla 24. Cálculo de viajes mínimo requeridos para satisfacer la demanda del servicio de recojo de residuos sólidos.

RUTAS	Nº manzanas	Residuos sólidos a recolectar (kg/día)	Viajes requeridos	Viajes programados
ZONA I	197 al 291	17 256,11	1,82	1
ZONA II	66 al 67, 84 al 90, 160 al 196	18 259,58	1,92	1
ZONA III	91 al 159, 292 al 295	16 797,54	1,77	1
ZONA IV	1 al 40, 68 al 83	19 284,89	2,03	1
ZONA V	41 al 65	5 744,61	0,60	1
ZONA VI	66 al 295	REPASO		1
TOTAL		77 342,72	8,14	6

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

De la Tabla 25, se calcula la cobertura del servicio de recolección de residuos en donde se dividen los viajes programados entre el mínimo requerido de cada ruta. Sólo una de las cinco rutas cubre en 100% de este servicio público en el distrito en su respectivo sector. En general, la gestión de recolección de residuos sólo cubre el 73,70% de la demanda actual, siendo necesario elevar la cantidad de viajes a nueve.

Tabla 25. Cálculo actual de la cobertura del servicio de recojo de residuos sólidos.

RUTAS	Residuos sólidos a recolectar (kg/día)	Viajes requeridos	Viajes programados	Cobertura del servicio (%)
ZONA I	17 256,11	1,82	1	55,05%
ZONA II	18 259,58	1,92	1	52,03%
ZONA III	16 797,54	1,77	1	56,56%
ZONA IV	19 284,89	2,03	1	49,26%
ZONA V	5 744,61	0,60	1	165,37%
ZONA VI	REPASO		1	
TOTAL	77 342,72	8,14	6	73,70%

Nota. Elaboración propia. Fuente: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos de San Luis (2019).

3.3.3 Consecuencias de la brecha de cobertura del servicio de recolección.

La existencia de una brecha de cobertura en el servicio de recolección de residuos genera que la cantidad faltante que no se recoge tenga como destino lugares públicos como las avenidas o las veredas, los cuales se convierten en botaderos clandestinos. La entidad distrital los reconoce en su Plan de Manejo de Residuos Sólidos 2020 – 2024 (2020) como puntos críticos ya que son lugares de acumulación temporal y que se convierten en un foco infeccioso de enfermedades para las personas. En su momento, la entidad identificó alrededor de 41 casos de este tipo a lo largo de sus calles y avenidas. (p. 15).

En el plazo inmediato la solución a este problema es la planificación adecuada de las rutas de los camiones compactadores y su optimización mediante la investigación operativa, así como utilizar el total de la capacidad instalada total, a través de los camiones compactadores, para el servicio de recolección de la basura.

Capítulo 4: Sectorización físico del distrito en estudio

4.1 Gestión de residuos diarios por manzana

Para iniciar con la sectorización de los residuos generados por día en una manzana en el distrito tenemos que hallar el valor de los residuos generados para cada una de las 295 identificadas según el *Plano estratificado a nivel de manzana* (INEI, 2020). Este ejercicio ya se resolvió en el capítulo anterior (los datos se muestran en la Tabla 21) por lo que se tomará estos datos para proceder con la generación de los sectores.

4.1.1 Generación de los sectores.

Para la agrupación de la cantidad de los residuos sólidos generados por manzanas, se procedió a calcular la cantidad total de sectores (conjuntos de manzanas) en función de la capacidad de carga unitaria de un camión compactador que está fijada en 15 556 kg. No obstante, debido a la densidad de la basura (500 kg/m³) la capacidad de recojo es de 9 500 kg por camión. Se dividió la generación total del distrito entre este valor para obtener el número de sectores como se muestra en la Tabla 26. Se considera que un sector es el viaje realizado por un camión compactador que cubre un determinado número de manzanas.

Tabla 26. Cálculo para la obtención de la cantidad de números de sectores

Concepto	Cantidad	Unidad
Generación diaria total	77 342,72	kg / día
Capacidad de un compactador	9 500,00	kg
Número de sectores calculados	8,14	
Número de sectores totales	9,00	

Nota. Elaboración propia.

Como se demuestra en la Tabla 26, se procederá a agrupar las manzanas del distrito en estudio en nueve sectores para el diseño de las rutas óptimas. Esto quiere decir que en total las seis unidades compactadoras deberán realizar nueve viajes para cubrir el 100% del servicio de recojo de residuos sólidos.

4.1.1.1 Primera sectorización.

Para iniciar con la sectorización, se procedió a dividir el distrito en nueve potenciales sectores. El primer criterio para dicho agrupamiento o división entre grupos será las principales avenidas del distrito, ya que se tratará de reducir los cruces en avenidas metropolitanas o de mayor flujo vehicular con las rutas de los camiones compactadores, y así reducir el tiempo de recorrido. Respecto a la primera sectorización, se muestra la Figura 3. Luego, se debe asegurar de que cada sector cumple con la condición de generación de residuos diarios en menor o igual cantidad a 9 500 kg para asegurar que un sector será el viaje de un camión compactador como se muestra en la Tabla 27.

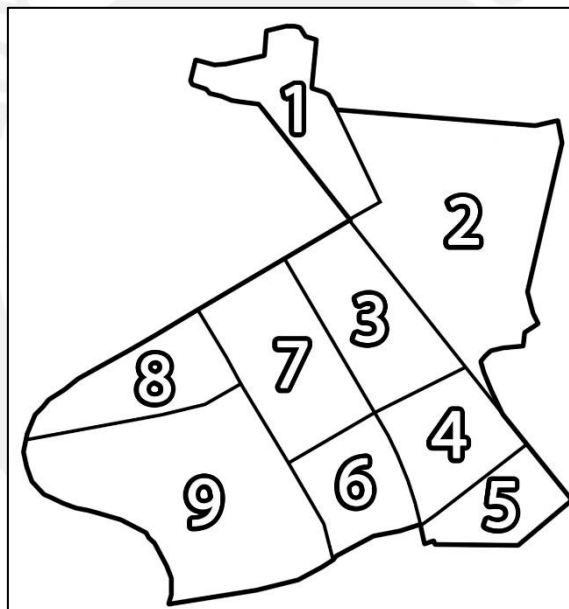


Figura 3. Primera sectorización del distrito de San Luis.

Nota: Elaboración propia.

Tabla 27. Primera validación de cada sector creado para cada camión compactador.

Sector	N° manzana	Generación total (kg/día)	¿Cumple capacidad de compactador?
1	1 al 40	10 512,12	NO
2	41 al 65	5 744,61	SI
3	66 al 90	14 333,40	NO
4	91 al 118	5 459,21	SI
5	119 al 134	3 062,38	SI
6	135 al 159	5 582,92	SI
7	160 al 196	12 698,94	NO
8	197 al 213	4 340,57	SI
9	214 al 295	15 608,56	NO
TOTAL		77 342,72	

Nota. Elaboración propia.

Se observa que cuatro de los nueve sectores no cumplen con la capacidad del camión compactador en la primera sectorización. En consecuencia, procederemos a una segunda sectorización, agrupando las manzanas más cercanas para cumplir el límite de los 9 500 kg de basura recolectada. El criterio para la segunda sectorización será reducir aquellas que superaron el límite hasta los 9 500 kg por día y asignarlas a aquellas que aún no llegan a esta cantidad reduciendo el cruce a avenidas principales y el agrupamiento entre urbanizaciones.

4.1.1.2 Segunda sectorización.

Para continuar con este paso, tomaremos los sectores iniciales y se irá reagrupando conforme a un sector se acerque a los 9 500 kg de residuos sólidos. La reagrupación será en función a la primera sectorización y tratando de que las principales vías del distrito y las urbanizaciones sean las divisiones.

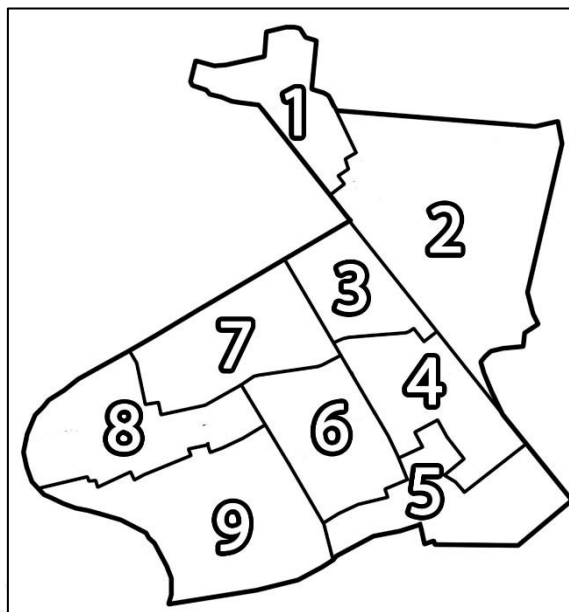


Figura 4. Segunda sectorización del distrito de San Luis

Nota: Elaboración propia.

Tabla 28. Segunda validación de cada sector creado para cada camión compactador.

Sector	N° manzana	Generación (kg/día)	¿Cumple capacidad de compactador?
1	1 al 37	9 308,13	SI
2	38 al 65	6 948,60	SI
3	68 al 83	8 772,77	SI
4	66 al 67, 84 al 102, 108 al 114	9 410,35	SI
5	103 al 107, 115 al 142	6 531,47	SI
6	143 al 176, 180	8 446,58	SI
7	177 al 179, 181 al 202, 205	9 038,52	SI
8	203 al 204, 206 al 259	9 440,40	SI
9	260 al 295	9 445,92	SI
TOTAL		77 342,72	

Nota. Elaboración propia.

Para evaluar la efectividad de la agrupación de manzanas se procedió a corroborar si cada sector cumple con los 9 500 kg de generación diaria que deberá recolectar cada camión compactador. Como se visualiza en la Tabla 28, los nueve sectores cumplen con esta condición por lo que se da por concluido esta etapa y podemos proceder al modelamiento del problema.

Capítulo 5: Modelamiento del problema

5.1 Programación de las rutas

Para resolver obtener el ruteo de los compactadores del distrito en estudio utilizaremos *el problema del cartero chino*, puesto que es posible armar una ruta donde se recorra al menos una vez todas las aristas de un grafo cerrado y obtener el óptimo que sería reflejado en un recorrido más corto. Para dicha resolución, se optará por la programación lineal en donde la función objetivo será minimizar el recorrido de los camiones compactadores y las restricciones serán recorrer todos los caminos (arista del grafo) al menos una vez y cruzar por todos los nodos. Para el caso de las avenidas principales (vías metropolitanas) se representarán con dos aristas unidireccionales en la que cada una será el sentido del tráfico en avenidas anchas o de gran tránsito, por las que deberá circular un camión compactador y que cada una será de recorrido obligatorio debido a la anchura de la vía en comparación a un pasaje o calle. En ciertos sectores se presentan los casos de *caminos sin salida* que impedirían un recorrido cerrado y fluido de un camión compactador. Sin embargo, como se busca obtener un recorrido cerrado, se considerará que, en *caminos sin salida*, el camión hará su ruta como ida y vuelta para poder continuar y culminar el circuito.

El software a utilizar será AMPL. La programación se adjunta en este capítulo del presente estudio. Se optó por considerar grafos dirigidos de acuerdo con el sentido de circulación de cada vía en el distrito. Se creó una formulación del problema en AMPL por cada uno de los sectores que tendrán una ruta y que se pretende optimizar en el presente estudio. El producto final será la ruta óptima para un camión compactador en un sector.

5.1.1 Primer sector.

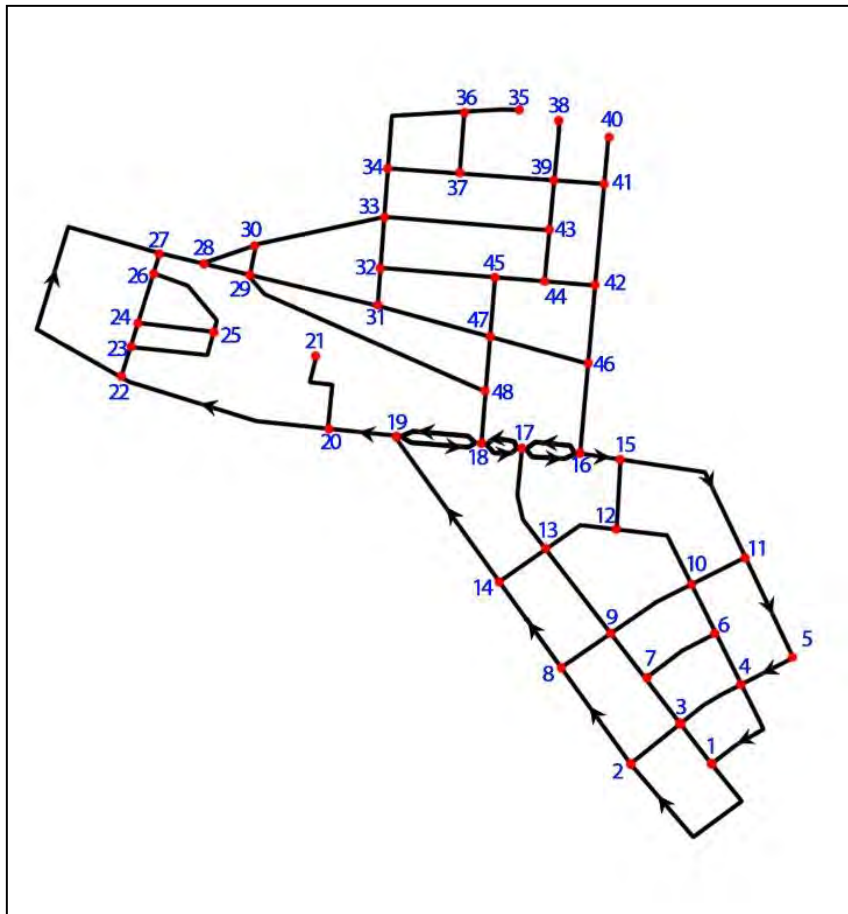


Figura 5. Sector 1 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.

Nota. Elaboración propia.

El sector 1 se presenta como en el grafo de la Figura 5, de acuerdo con los cálculos obtenidos en el Capítulo 4 que se muestran en la Tabla 28. El grafo fue ilustrado de manera direccional teniendo en cuenta el sentido de las vías. Las aristas sin flechas indican que el camión compactador puede circular en cualquier dirección; las que tiene flecha se consideran a las vías metropolitanas, de gran flujo vehicular o generalmente, los bordes territoriales de los sectores conformados.

En presente grafo consta de 48 nodos con 18 aristas unidireccionales y 56 bidireccionales. La función objetivo es realizar el menor recorrido para el circuito cerrado a obtener. La primera restricción será que el camión compactador deberá recorrer al menos una vez todas las aristas

del grafo. La siguiente, el recorrido será en función de las direcciones del grafo. Las variables de decisión serán enteras. A continuación, se muestra la programación en AMPL (archivo .mod) en la Figura 6 donde se observa que las distancias entre nodos son insertadas como parámetro, que la variable es entera positiva, la función objetivo minimizando el recorrido total y las restricciones que permiten que todas las aristas sean recorridas al menos una vez en la solución óptima. Al final se coloca como restricción que ciertos arcos que deben ser recorridos en sus dos direcciones ya que están reflejando aquellas avenidas metropolitanas o de doble flujo vehicular. El camión compactador debe pasar por ambos lados de la vía.

```

set NODOS := 1..48;

param dist {i in NODOS, j in NODOS} >= 0;

var x {i in NODOS, j in NODOS} integer >=0;

minimize recorrido_total: sum {i in NODOS, j in NODOS} dist[i,j] * x[i,j];

s.t. entrada_salida_nodos {i in NODOS}:
    sum {j in NODOS} x[j,i] = sum {j in NODOS} x[i,j];

s.t. arcos_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] < 9990}:
    x[i,j] + x[j,i] >= 1;

s.t. arcos_no_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] >= 9990}:
    x[i,j] = 0;

s.t. arco_17_16:
x[17,16] >= 1;

s.t. arco_16_17:
x[16,17] >= 1;

s.t. arco_17_18:
x[17,18] >= 1;

s.t. arco_18_17:
x[18,17] >= 1;

s.t. arco_18_19:
x[18,19] >= 1;

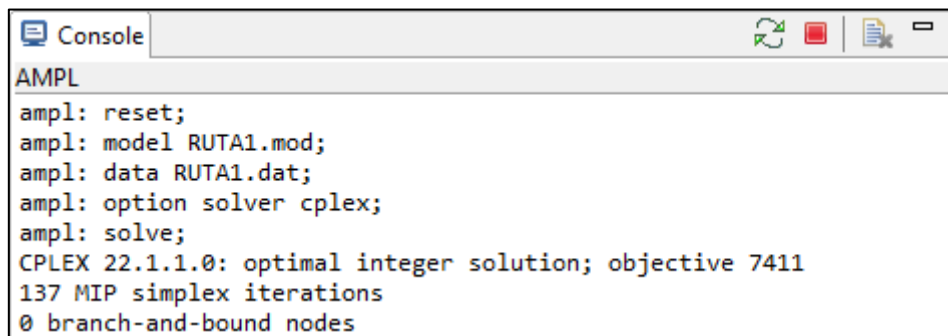
s.t. arco_19_18:
x[19,18] >= 1;

```

Figura 6. Programación en AMPL para el sector 1.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados en la Figura 7 donde se muestra la distancia mínima a recorrer según función objetivo son 7411 metros para la ruta óptima del sector 1. En la Tabla 29 se presenta un cuadro resumen de la cantidad de veces que recorrerá una vía (arista del grafo) según el nuevo plan de ruta propuesto. En el Anexo D se presentan los diferentes valores que toma la variable x en cada nodo.



```

Console
-----
AMPL
ampl: reset;
ampl: model RUTA1.mod;
ampl: data RUTA1.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 7411
137 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
  
```

Figura 7. Solución óptima para la ruta del sector 1.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 29. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 1.

Recorridos	Cantidad de aristas
Un recorrido	92
Dos recorridos	3
Total	95

Nota. Elaboración propia.

A continuación, evaluaremos el tiempo de recojo de cada una de las rutas propuestas. Durante la visita en campo a este proceso del recojo de residuos se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido del camión compactador fue de 4 km/h considerando las paradas intermedias. Esto fue posible al sistema GPS de los camiones y el personal que lo monitorea. Teniendo los datos previamente calculados, tenemos los tiempos de recojo de residuos sólidos.

Tabla 30. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 1.

Concepto	Valor	Unidad
Velocidad promedio	4	km/h
Recorrido	7,41	km
Tiempo de recorrido	1,85	h
Traslado hacia el relleno sanitario	0,75	h
Tiempo de instalación diaria	1,00	h
TOTAL	3,60	h

Nota. Elaboración propia.

5.1.2 Segundo sector.

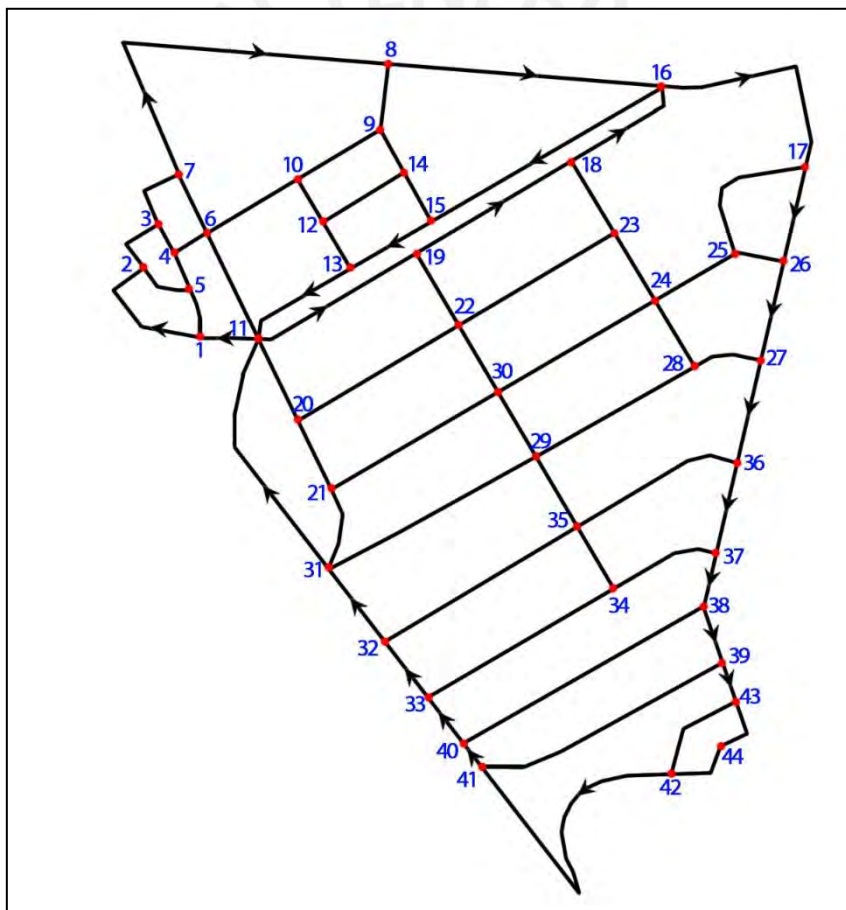


Figura 8. Sector 2 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.

Nota. Elaboración propia.

El sector 2 se presenta como en el grafo de la Figura 8, de acuerdo con los cálculos obtenido en el Capítulo 4 que se muestran en la Tabla 28. El grafo fue ilustrado de manera direccional teniendo en cuenta el sentido de las vías. Las aristas sin flechas indican que el

camión compactador puede circular en cualquier dirección; las que tiene flecha se consideran a las vías metropolitanas, de gran flujo vehicular o generalmente, los bordes territoriales de los sectores conformados.

En presente grafo consta de 44 nodos con 24 aristas unidireccionales y 47 bidireccionales. La función objetivo es realizar el menor recorrido para el circuito cerrado a obtener. La primera restricción será que el camión compactador deberá recorrer al menos una vez todas las aristas del grafo. La siguiente, el recorrido será en función de las direcciones del grafo. Las variables de decisión serán enteras. A continuación, se muestra la programación en AMPL (archivo .mod) en la Figura 9 donde se observa que las distancias entre nodos son insertadas como parámetro, que la variable es entera positiva, la función objetivo minimizando el recorrido total y las restricciones que permiten que todas las aristas sean recorridas al menos una vez en la solución óptima.

```

set NODOS := 1..44;

param dist {i in NODOS, j in NODOS} >= 0;

var x {i in NODOS, j in NODOS} integer >=0;

minimize recorrido_total: sum {i in NODOS, j in NODOS} dist[i,j] * x[i,j];

s.t. entrada_salida_nodos {i in NODOS}:
    sum {j in NODOS} x[j,i] = sum {j in NODOS} x[i,j];

s.t. arcos_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] < 9990}:
    x[i,j] + x[j,i] >= 1;

s.t. arcos_no_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] >= 9990}:
    x[i,j] = 0;

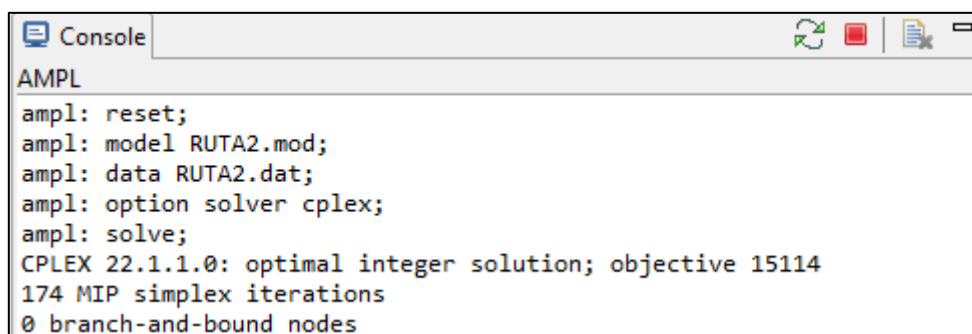
```

Figura 9. Programación en AMPL para el sector 2.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados en la Figura 10 donde se muestra la distancia mínima a recorrer según función objetivo son 15 114 metros para la ruta óptima del sector 2. En la Tabla 31 se presenta un cuadro resumen de la cantidad de veces que recorrerá una vía (arista del grafo) según el nuevo plan de ruta propuesto. En el Anexo E se presentan los

diferentes valores que toma la variable x en cada nodo.



```

Console
AMPL
ampl: reset;
ampl: model RUTA2.mod;
ampl: data RUTA2.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 15114
174 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
  
```

Figura 10. Solución óptima para la ruta del sector 2.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 31. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 2

Recorridos	Cantidad variables
Un recorrido	73
Dos recorridos	9
Total	82

Nota. Elaboración propia.

A continuación, evaluaremos el tiempo de recojo de cada una de las rutas propuestas en la Tabla 32. Durante la visita en campo a este proceso del recojo de residuos se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido del camión compactador fue de 4 km/h considerando las paradas intermedias. Esto fue posible al sistema GPS de los camiones y el personal que lo monitorea. Teniendo los datos previamente calculados, tenemos los tiempos de recojo de residuos sólidos.

Tabla 32. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 2.

Concepto	Valor	Unidad
Velocidad promedio	4	km/h
Recorrido	15,11	km
Tiempo de recorrido	3,78	h
Traslado hacia el relleno sanitario	0,70	h
Tiempo de instalación diaria	1,00	h
TOTAL	5,48	h

Nota. Elaboración propia.

5.1.3 Tercer sector.

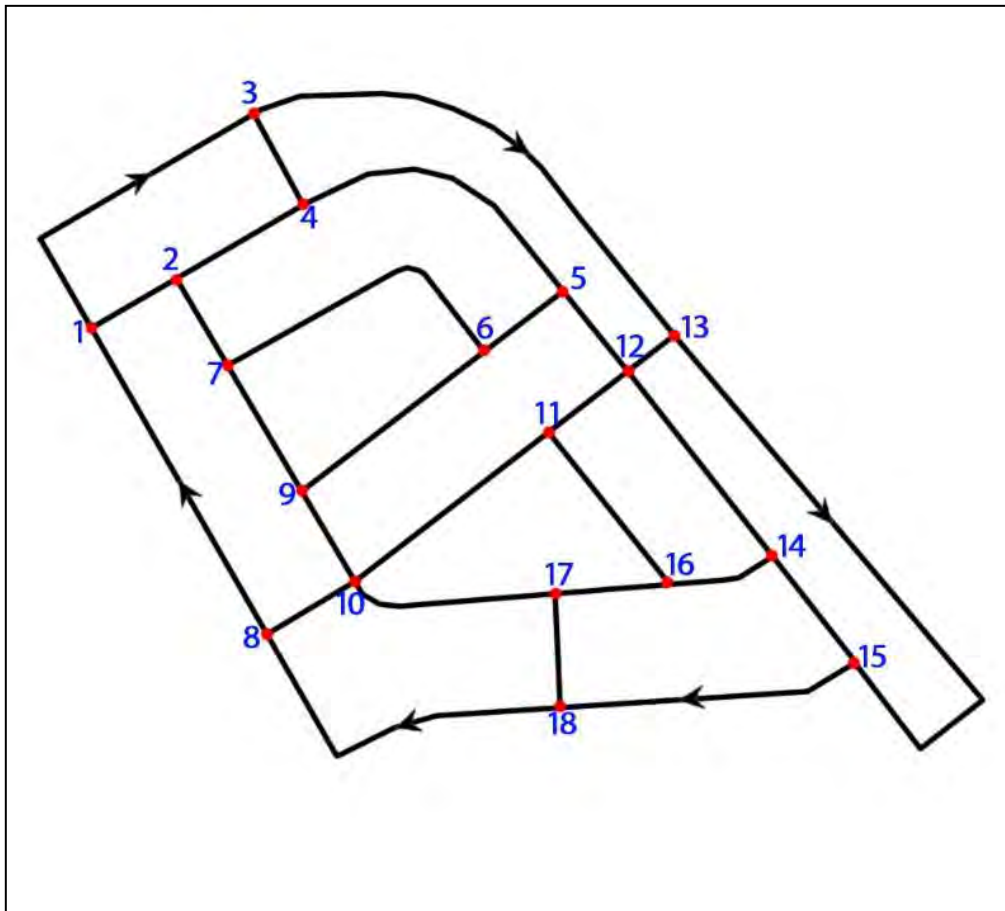


Figura 11. Sector 3 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.

Nota. Elaboración propia.

El sector 3 se presenta como en el grafo de la Figura 11, de acuerdo con los cálculos obtenidos en el Capítulo 4 que se muestran en la Tabla 28. En presente grafo consta de 18 nodos con aristas unidireccionales y bidireccionales. La función objetivo es realizar el menor recorrido para el circuito cerrado a obtener. La primera restricción será que el camión compactador deberá recorrer al menos una vez todas las aristas del grafo. La siguiente, el recorrido será en función de las direcciones del grafo. Las variables de decisión serán enteras. A continuación, se muestra la programación en AMPL (archivo .mod) en la Figura 12 donde se observa que las distancias entre nodos son insertadas como parámetro, que la variable es entera positiva, la función objetivo minimizando el recorrido total y las restricciones que permiten que todas las aristas sean recorridas al menos una vez en la solución óptima.

```

set NODOS := 1..18;

param dist {i in NODOS, j in NODOS} >= 0;

var x {i in NODOS, j in NODOS} integer >=0;

minimize recorrido_total: sum {i in NODOS, j in NODOS} dist[i,j] * x[i,j];

s.t. entrada_salida_nodos {i in NODOS}:
    sum {j in NODOS} x[j,i] = sum {j in NODOS} x[i,j];

s.t. arcos_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] < 9990}:
    x[i,j] + x[j,i] >= 1;

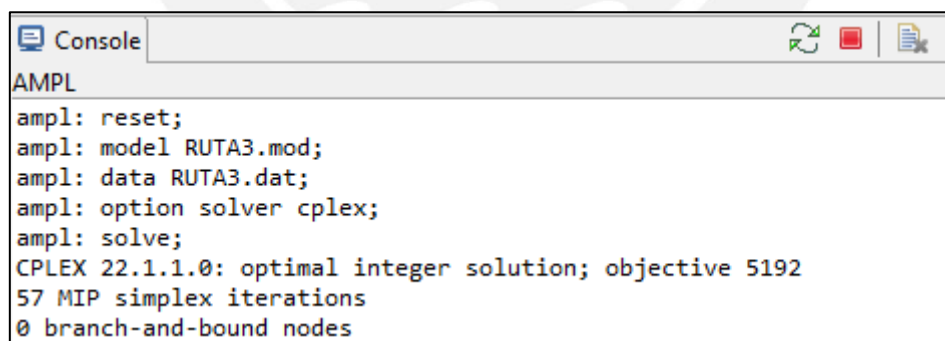
s.t. arcos_no_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] >= 9990}:
    x[i,j] = 0;

```

Figura 12. Programación en AMPL para el sector 3.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados en la Figura 13 donde se muestra la distancia mínima a recorrer según función objetivo son 5 192 metros para la ruta óptima del sector 3. En la Tabla 33 se presenta un cuadro resumen de la cantidad de veces que recorrerá una vía (arista del grafo) según el nuevo plan de ruta propuesto. En el Anexo F se presentan los diferentes valores que toma la variable x en cada nodo.



```

Console
AMPL
ampl: reset;
ampl: model RUTA3.mod;
ampl: data RUTA3.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 5192
57 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes

```

Figura 13. Solución óptima para la ruta del sector 3.

Nota. Elaboración propia

Tabla 33. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 3.

Recorridos	Cantidad variables
Un recorrido	31
Dos recorridos	3
Total	34

Nota. Elaboración propia.

A continuación, evaluaremos el tiempo de recojo de cada una de las rutas propuestas en la Tabla 34. Durante la visita en campo a este proceso del recojo de residuos se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido del camión compactador fue de 4 km/h considerando las paradas intermedias. Esto fue posible al sistema GPS de los camiones y el personal que lo monitorea. Teniendo los datos previamente calculados, tenemos los tiempos de recojo de residuos sólidos.

Tabla 34. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 3.

Concepto	Valor	Unidad
Velocidad promedio	4	km/h
Recorrido	5,19	km
Tiempo de recorrido	1,30	h
Traslado hacia el relleno sanitario	0,75	h
Tiempo de instalación diaria	1,00	h
TOTAL	3,05	h

Nota. Elaboración propia.

5.1.4 Cuarto sector.

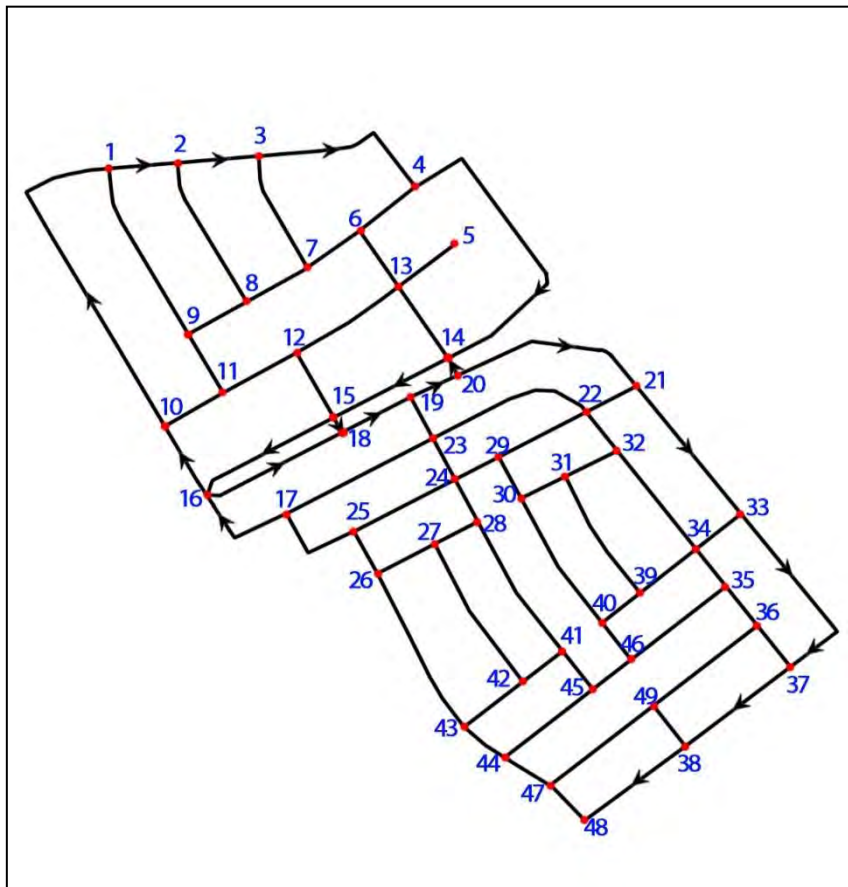


Figura 14. Sector 4 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.

Nota. Elaboración propia.

El sector 4 se presenta como en el grafo de la Figura 14, de acuerdo con los cálculos obtenidos en el Capítulo 4 que se muestran en la Tabla 28. En presente grafo consta de 48 nodos con aristas unidireccionales y bidireccionales. La función objetivo es realizar el menor recorrido para el circuito cerrado a obtener. La primera restricción será que el camión compactador deberá recorrer al menos una vez todas las aristas del grafo. La siguiente, el recorrido será en función de las direcciones del grafo. Las variables de decisión serán enteras. A continuación, se muestra la programación en AMPL (archivo .mod) en la Figura 15 donde se observa que las distancias entre nodos son insertadas como parámetro, que la variable es entera positiva, la función objetivo minimizando el recorrido total y las restricciones que permiten que todas las aristas sean recorridas al menos una vez en la solución óptima.


```

set NODOS := 1..49;

param dist {i in NODOS, j in NODOS} >= 0;

var x {i in NODOS, j in NODOS} integer >=0;

minimize recorrido_total: sum {i in NODOS, j in NODOS} dist[i,j] * x[i,j];

s.t. entrada_salida_nodos {i in NODOS}:
    sum {j in NODOS} x[j,i] = sum {j in NODOS} x[i,j];

s.t. arcos_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] < 9990}:
    x[i,j] + x[j,i] >= 1;

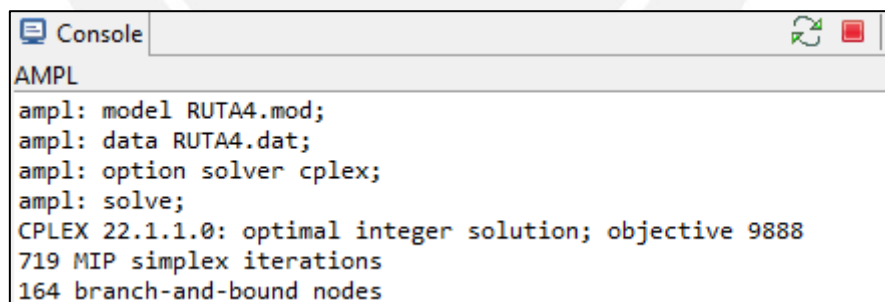
s.t. arcos_no_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] >= 9990}:
    x[i,j] = 0;

```

Figura 15. Programación en AMPL para el sector 4.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados en la Figura 16 donde se muestra la distancia mínima a recorrer según función objetivo son 9 888 metros para la ruta óptima del sector 4. En la Tabla 35 se presenta un cuadro resumen de la cantidad de veces que recorrerá una vía (arista del grafo) según el nuevo plan de ruta propuesto. En el Anexo G se presentan los diferentes valores que toma la variable x en cada nodo.



```

Console
AMPL
ampl: model RUTA4.mod;
ampl: data RUTA4.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 9888
719 MIP simplex iterations
164 branch-and-bound nodes

```

Figura 16. Solución óptima para la ruta del sector 4.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 35. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 4.

Recorridos	Cantidad variables
Un recorrido	92
Dos recorridos	5
Total	97

Nota. Elaboración propia.

A continuación, evaluaremos el tiempo de recojo de cada una de las rutas propuestas en la Tabla 36. Durante la visita en campo a este proceso del recojo de residuos se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido del camión compactador fue de 4 km/h considerando las paradas intermedias. Esto fue posible al sistema GPS de los camiones y el personal que lo monitorea. Teniendo los datos previamente calculados, tenemos los tiempos de recojo de residuos sólidos.

Tabla 36. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 4.

Concepto	Valor	Unidad
Velocidad promedio	4	km/h
Recorrido	9,89	km
Tiempo de recorrido	2,47	h
Traslado hacia el relleno sanitario	0,75	h
Tiempo de instalación diaria	1,00	h
TOTAL	4,22	h

Nota. Elaboración propia.

5.1.5 Quinto sector.

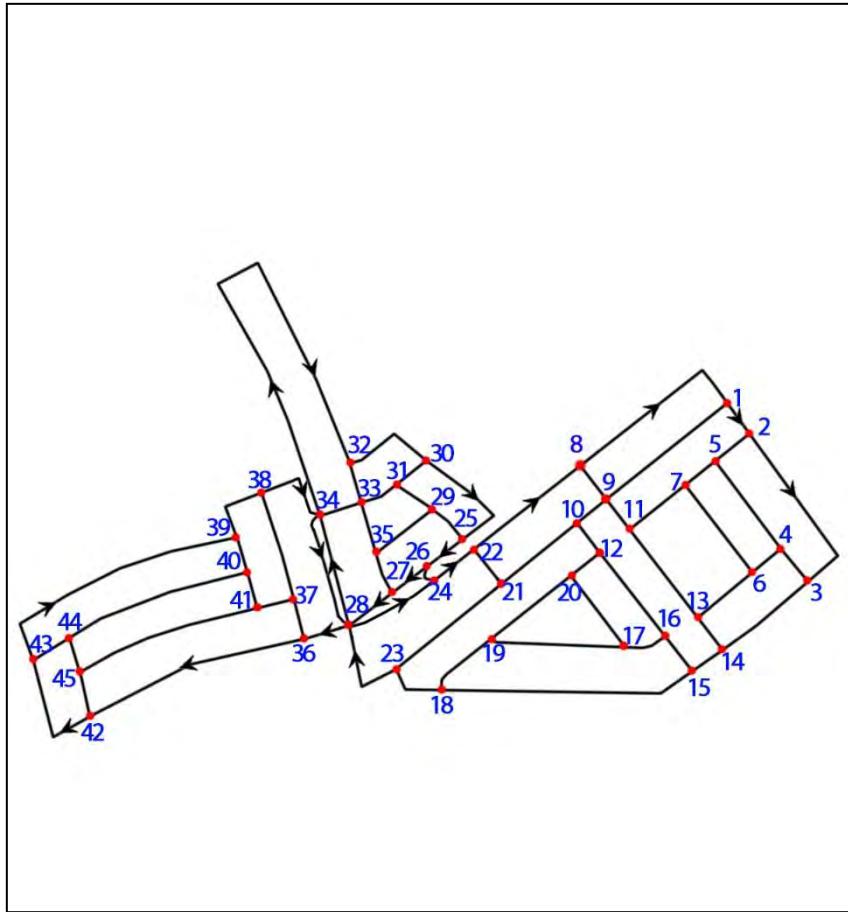


Figura 17. Sector 5 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.

Nota. Elaboración propia.

El sector 5 se presenta como en el grafo de la Figura 17, de acuerdo con los cálculos obtenidos en el Capítulo 4 que se muestran en la Tabla 28. En presente grafo consta de 18 nodos con aristas unidireccionales y bidireccionales. La función objetivo es realizar el menor recorrido para el circuito cerrado a obtener. La primera restricción será que el camión compactador deberá recorrer al menos una vez todas las aristas del grafo. La siguiente, el recorrido será en función de las direcciones del grafo. Las variables de decisión serán enteras. A continuación, se muestra la programación en AMPL (archivo .mod) en la Figura 18 donde se observa que las distancias entre nodos son insertadas como parámetro, que la variable es entera positiva, la función objetivo minimizando el recorrido total y las restricciones que

permiten que todas las aristas sean recorridas al menos una vez en la solución óptima. Al final se coloca como restricción que ciertos arcos que deben ser recorridos en sus dos direcciones ya que están reflejando aquellas avenidas metropolitanas o de doble flujo vehicular. El camión compactador debe pasar por ambos lados de la vía.

```

set NODOS := 1..45;

param dist {i in NODOS, j in NODOS} >= 0;

var x {i in NODOS, j in NODOS} integer >=0;

minimize recorrido_total: sum {i in NODOS, j in NODOS} dist[i,j] * x[i,j];

s.t. entrada_salida_nodos {i in NODOS}:
    sum {j in NODOS} x[j,i] = sum {j in NODOS} x[i,j];

s.t. arcos_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] < 9990}:
    x[i,j] + x[j,i] >= 1;

s.t. arcos_no_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] >= 9990}:
    x[i,j] = 0;

s.t. arco_28_34:
x[28,34] >= 1;

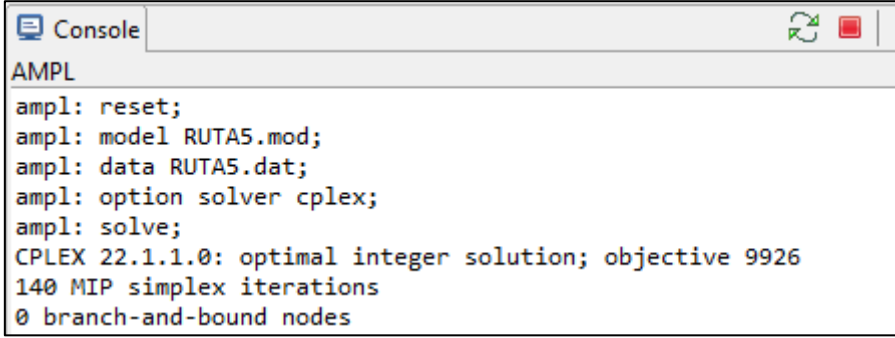
s.t. arco_34_28:
x[34,28] >= 1;

```

Figura 18. Programación en AMPL para el sector 5.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados en la Figura 19 donde se muestra la distancia mínima a recorrer según función objetivo son 9 926 metros para la ruta óptima del sector 5. En la Tabla 37 se presenta un cuadro resumen de la cantidad de veces que recorrerá una vía (arista del grafo) según el nuevo plan de ruta propuesto. En el Anexo H se presentan los diferentes valores que toma la variable x en cada nodo.



```

Console
AMPL
ampl: reset;
ampl: model RUTA5.mod;
ampl: data RUTA5.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 9926
140 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes

```

Figura 19. Solución óptima para la ruta del sector 5.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 37. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 5.

Recorridos	Cantidad variables
Un recorrido	76
Dos recorridos	9
Total	85

Nota. Elaboración propia.

A continuación, evaluaremos el tiempo de recojo de cada una de las rutas propuestas en la Tabla 38. Durante la visita en campo a este proceso del recojo de residuos se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido del camión compactador fue de 4 km/h considerando las paradas intermedias. Esto fue posible al sistema GPS de los camiones y el personal que lo monitorea. Teniendo los datos previamente calculados, tenemos los tiempos de recojo de residuos sólidos.

Tabla 38. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 5.

Concepto	Valor	Unidad
Velocidad promedio	4	km/h
Recorrido	9,93	km
Tiempo de recorrido	2,48	h
Traslado hacia el relleno sanitario	0,75	h
Tiempo de instalación diaria	1,00	h
TOTAL	4,23	h

Nota. Elaboración propia.

5.1.6 Sexto sector.

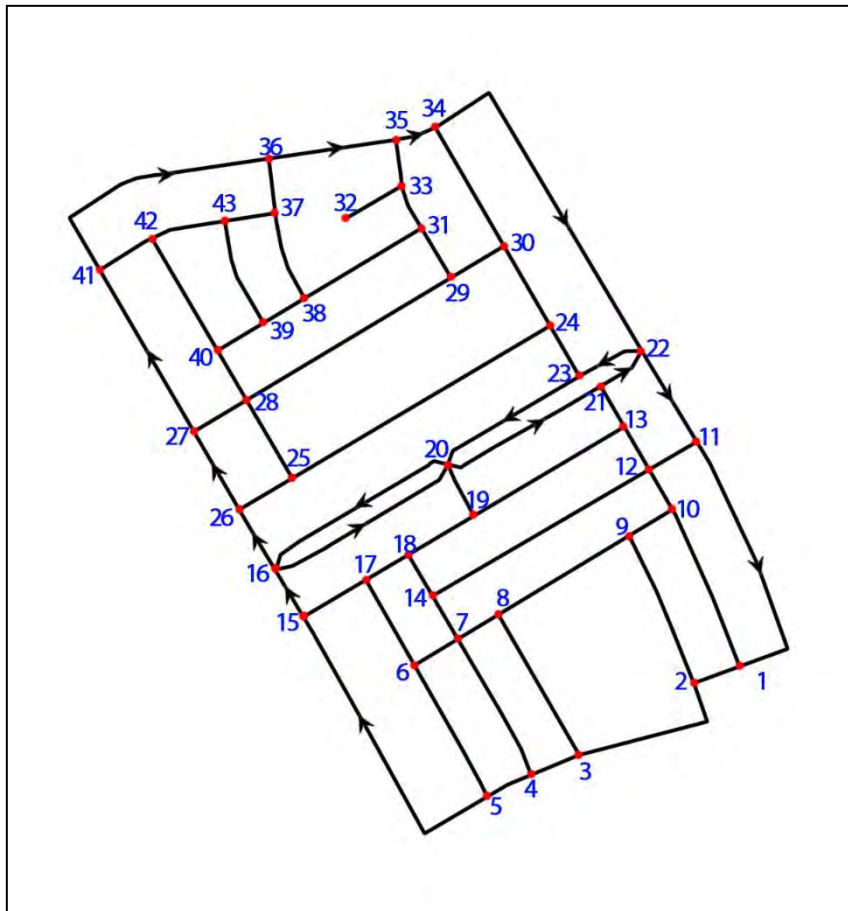


Figura 20. Sector 6 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.

Nota. Elaboración propia.

El sector 6 se presenta como en el grafo de la Figura 20, de acuerdo con los cálculos obtenidos en el Capítulo 4 que se muestran en la Tabla 28. En presente grafo consta de 43 nodos con aristas unidireccionales y bidireccionales. La función objetivo es realizar el menor recorrido para el circuito cerrado a obtener. La primera restricción será que el camión compactador deberá recorrer al menos una vez todas las aristas del grafo. La siguiente, el recorrido será en función de las direcciones del grafo. Las variables de decisión serán enteras. A continuación, se muestra la programación en AMPL (archivo .mod) en la Figura 21 donde se observa que las distancias entre nodos son insertadas como parámetro, que la variable es entera positiva, la función objetivo minimizando el recorrido total y las restricciones que

permiten que todas las aristas sean recorridas al menos una vez en la solución óptima. Al final se coloca como restricción que ciertos arcos que deben ser recorridos en sus dos direcciones ya que están reflejando aquellas avenidas metropolitanas o de doble flujo vehicular. El camión compactador debe pasar por ambos lados de la vía.

```

set NODOS := 1..43;

param dist {i in NODOS, j in NODOS} >= 0;

var x {i in NODOS, j in NODOS} integer >=0;

minimize recorrido_total: sum {i in NODOS, j in NODOS} dist[i,j] * x[i,j];

s.t. entrada_salida_nodos {i in NODOS}:
    sum {j in NODOS} x[j,i] = sum {j in NODOS} x[i,j];

s.t. arcos_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] < 9990}:
    x[i,j] + x[j,i] >= 1;

s.t. arcos_no_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] >= 9990}:
    x[i,j] = 0;

s.t. arco_16_20:
    x[16,20] >= 1;

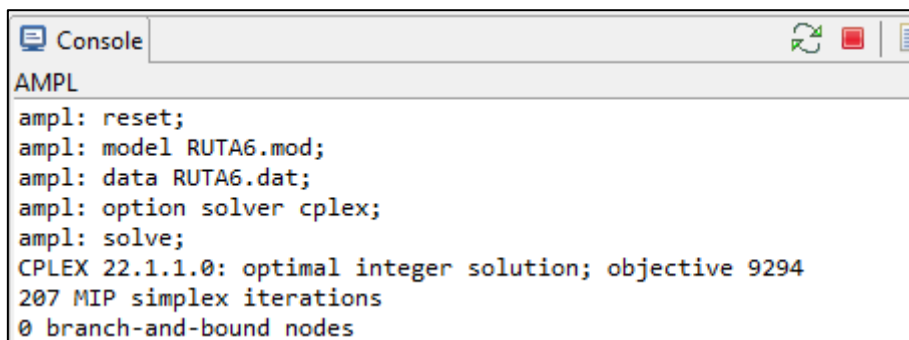
s.t. arco_20_16:
    x[20,16] >= 1;

```

Figura 21. Programación en AMPL para el sector 6.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados en la Figura 22 donde se muestra la distancia mínima a recorrer según función objetivo son 9 294 metros para la ruta óptima del sector 6. En la Tabla 39 se presenta un cuadro resumen de la cantidad de veces que recorrerá una vía (arista del grafo) según el nuevo plan de ruta propuesto. En el Anexo I se presentan los diferentes valores que toma la variable x en cada nodo.



```

Console
AMPL
ampl: reset;
ampl: model RUTA6.mod;
ampl: data RUTA6.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 9294
207 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes

```

Figura 22. Solución óptima para la ruta del sector 6.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 39. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 6.

Recorridos	Cantidad variables
Un recorrido	80
Dos recorridos	4
Total	84

Nota. Elaboración propia.

A continuación, evaluaremos el tiempo de recojo de cada una de las rutas propuestas en la Tabla 40. Durante la visita en campo a este proceso del recojo de residuos se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido del camión compactador fue de 4 km/h considerando las paradas intermedias. Esto fue posible al sistema GPS de los camiones y el personal que lo monitorea. Teniendo los datos previamente calculados, tenemos los tiempos de recojo de residuos sólidos.

Tabla 40. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 6.

Concepto	Valor	Unidad
Velocidad promedio	4	km/h
Recorrido	9,30	km
Tiempo de recorrido	2,32	h
Traslado hacia el relleno sanitario	0,80	h
Tiempo de instalación diaria	1,00	h
TOTAL	4,12	h

Nota. Elaboración propia.

5.1.7 Sétimo sector.

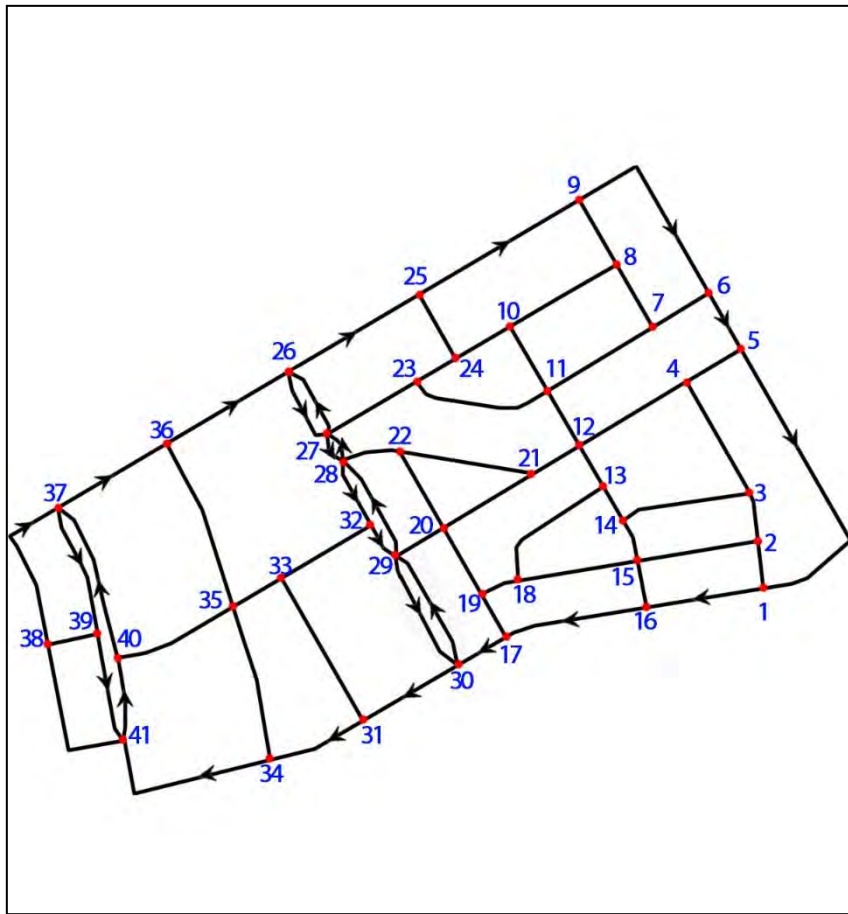


Figura 23. Sector 7 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.

Nota. Elaboración propia.

El sector 7 se presenta como en el grafo de la Figura 23, de acuerdo con los cálculos obtenidos en el Capítulo 4 que se muestran en la Tabla 28. En presente grafo consta de 41 nodos con aristas unidireccionales y bidireccionales. La función objetivo es realizar el menor recorrido para el circuito cerrado a obtener. La primera restricción será que el camión compactador deberá recorrer al menos una vez todas las aristas del grafo. La siguiente, el recorrido será en función de las direcciones del grafo. Las variables de decisión serán enteras. A continuación, se muestra la programación en AMPL (archivo .mod) en la Figura 24 donde se observa que las distancias entre nodos son insertadas como parámetro, que la variable es entera positiva, la función objetivo minimizando el recorrido total y las restricciones que permiten que todas las aristas sean recorridas al menos una vez en la solución óptima. Al final

se coloca como restricción que ciertos arcos que deben ser recorridos en sus dos direcciones ya que están reflejando aquellas avenidas metropolitanas o de doble flujo vehicular. El camión compactador debe pasar por ambos lados de la vía.

```

set NODOS := 1..41;

param dist {i in NODOS, j in NODOS} >= 0;

var x {i in NODOS, j in NODOS} integer >=0;

minimize recorrido_total: sum {i in NODOS, j in NODOS} dist[i,j] * x[i,j];

s.t. entrada_salida_nodos {i in NODOS}:
    sum {j in NODOS} x[j,i] = sum {j in NODOS} x[i,j];

s.t. arcos_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] < 9990}:
    x[i,j] + x[j,i] >= 1;

s.t. arcos_no_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] >= 9990}:
    x[i,j] = 0;

s.t. arco_26_27:
x[26,27] >= 1;

s.t. arco_27_26:
x[27,26] >= 1;

s.t. arco_27_28:
x[27,28] >= 1;

s.t. arco_28_27:
x[28,27] >= 1;

s.t. arco_29_30:
x[29,30] >= 1;

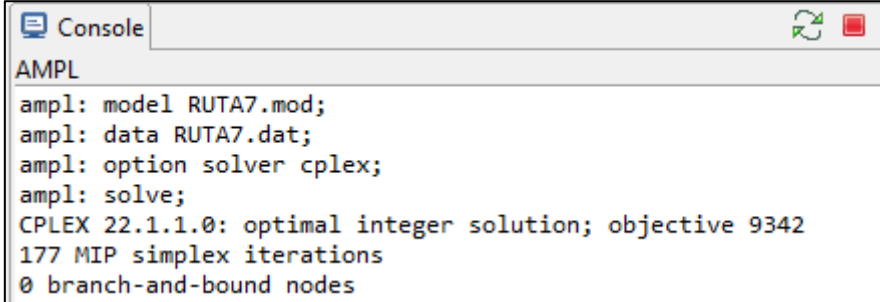
s.t. arco_30_29:
x[30,29] >= 1;

```

Figura 24. Programación en AMPL para el sector 7.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados en la Figura 25 donde se muestra la distancia mínima a recorrer según función objetivo son 9 342 metros para la ruta óptima del sector 7. En la Tabla 41 se presenta un cuadro resumen de la cantidad de veces que recorrerá una vía (arista del grafo) según el nuevo plan de ruta propuesto. En el Anexo J se presentan los diferentes valores que toma la variable x en cada nodo.



```

Console
AMPL
ampl: model RUTA7.mod;
ampl: data RUTA7.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 9342
177 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes

```

Figura 25. Solución óptima para la ruta del sector 7.

Nota. Elaboración propia

Tabla 41. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 7.

Recorridos	Cantidad variables
Un recorrido	71
Dos recorridos	9
Total	80

Nota. Elaboración propia.

A continuación, evaluaremos el tiempo de recojo de cada una de las rutas propuestas en la Tabla 42. Durante la visita en campo a este proceso del recojo de residuos se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido del camión compactador fue de 4 km/h considerando las paradas intermedias. Esto fue posible al sistema GPS de los camiones y el personal que lo monitorea. Teniendo los datos previamente calculados, tenemos los tiempos de recojo de residuos sólidos.

Tabla 42. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 7.

Concepto	Valor	Unidad
Velocidad promedio	4	km/h
Recorrido	9,34	km
Tiempo de recorrido	2,34	h
Traslado hacia el relleno sanitario	0,75	h
Tiempo de instalación diaria	1,00	h
TOTAL	4,09	h

Nota. Elaboración propia.

5.1.8 Octavo sector.

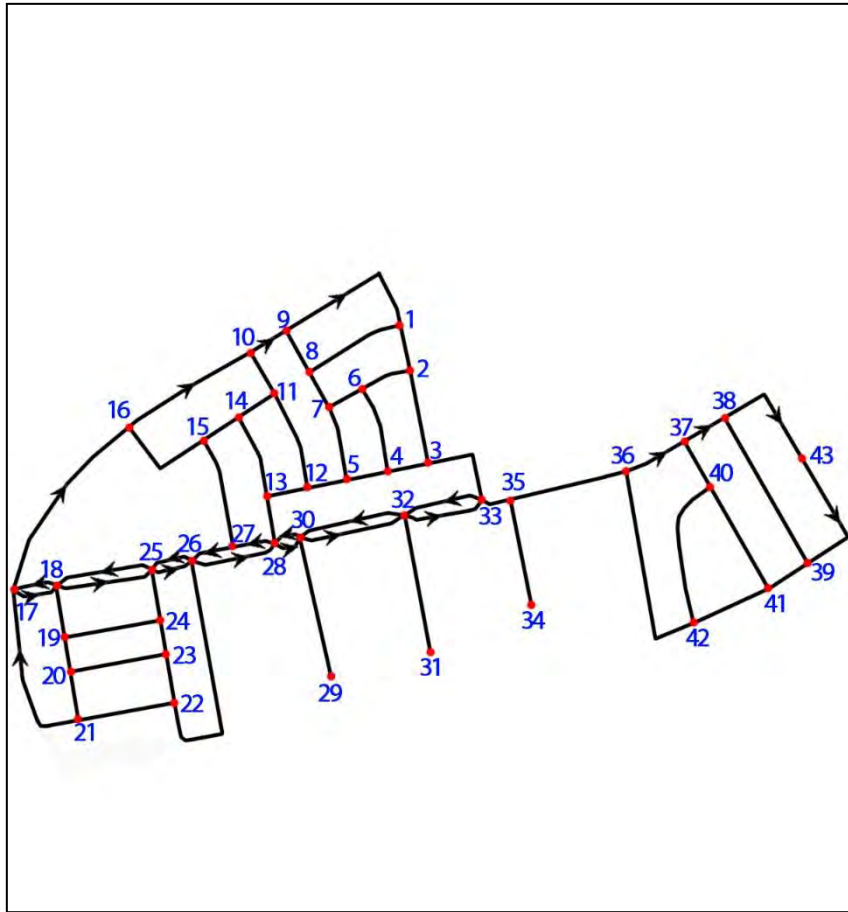


Figura 26. Sector 8 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.

Nota. Elaboración propia.

El sector 8 se presenta como en el grafo de la Figura 26, de acuerdo con los cálculos obtenidos en el Capítulo 4 que se muestran en la Tabla 28. En presente grafo consta de 43 nodos con aristas unidireccionales y bidireccionales. La función objetivo es realizar el menor recorrido para el circuito cerrado a obtener. La primera restricción será que el camión compactador deberá recorrer al menos una vez todas las aristas del grafo. La siguiente, el recorrido será en función de las direcciones del grafo. Las variables de decisión serán enteras. A continuación, se muestra la programación en AMPL (archivo .mod) en la Figura 27 donde se observa que las distancias entre nodos son insertadas como parámetro, que la variable es entera positiva, la función objetivo minimizando el recorrido total y las restricciones que

permiten que todas las aristas sean recorridas al menos una vez en la solución óptima. Al final se coloca como restricción que ciertos arcos que deben ser recorridos en sus dos direcciones ya que están reflejando aquellas avenidas metropolitanas o de doble flujo vehicular. El camión compactador debe pasar por ambos lados de la vía.

```

set NODOS := 1..43;

param dist {i in NODOS, j in NODOS} >= 0;

var x {i in NODOS, j in NODOS} integer >=0;

minimize recorrido_total: sum {i in NODOS, j in NODOS} dist[i,j] * x[i,j];

s.t. entrada_salida_nodos {i in NODOS}:
    sum {j in NODOS} x[j,i] = sum {j in NODOS} x[i,j];

s.t. arcos_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] < 9990}:
    x[i,j] + x[j,i] >= 1;

s.t. arcos_no_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] >= 9990}:
    x[i,j] = 0;

s.t. arco_17_18:
    x[17,18] >= 1;

s.t. arco_18_17:
    x[18,17] >= 1;

s.t. arco_18_25:
    x[18,25] >= 1;

s.t. arco_25_18:
    x[25,18] >= 1;

s.t. arco_25_26:
    x[25,26] >= 1;

s.t. arco_26_25:
    x[26,25] >= 1;

s.t. arco_28_30:
    x[25,26] >= 1;

s.t. arco_30_28:
    x[26,25] >= 1;

s.t. arco_30_32:
    x[30,32] >= 1;

s.t. arco_32_30:
    x[32,30] >= 1;

s.t. arco_32_33:
    x[32,33] >= 1;

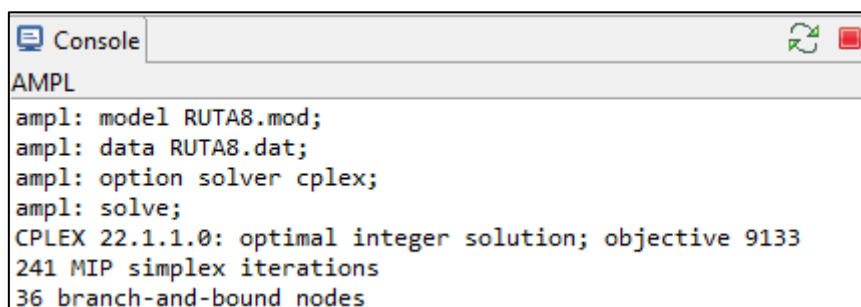
s.t. arco_33_32:
    x[33,32] >= 1;

```

Figura 27. Programación en AMPL para el sector 8.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados en la Figura 28 donde se muestra la distancia mínima a recorrer según función objetivo son 9 133 metros para la ruta óptima del sector 8. En la Tabla 43 se presenta un cuadro resumen de la cantidad de veces que recorrerá una vía (arista del grafo) según el nuevo plan de ruta propuesto. En el Anexo K se presentan los diferentes valores que toma la variable x en cada nodo.



```

Console
AMPL
ampl: model RUTA8.mod;
ampl: data RUTA8.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 9133
241 MIP simplex iterations
36 branch-and-bound nodes

```

Figura 28. Solución óptima para la ruta del sector 8.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 43. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 8.

Recorridos	Cantidad variables
Un recorrido	78
Dos recorridos	6
Total	84

Nota. Elaboración propia.

A continuación, evaluaremos el tiempo de recojo de cada una de las rutas propuestas en la Tabla 44. Durante la visita en campo a este proceso del recojo de residuos se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido del camión compactador fue de 4 km/h considerando las paradas intermedias. Esto fue posible al sistema GPS de los camiones y el personal que lo monitorea. Teniendo los datos previamente calculados, tenemos los tiempos de recojo de residuos sólidos.

Tabla 44. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 8.

Concepto	Valor	Unidad
Velocidad promedio	4	km/h
Recorrido	9,13	km
Tiempo de recorrido	2,28	h
Traslado hacia el relleno sanitario	0,75	h
Tiempo de instalación diaria	1,00	h
TOTAL	4,03	h

Nota. Elaboración propia.



5.1.9 Noveno sector.

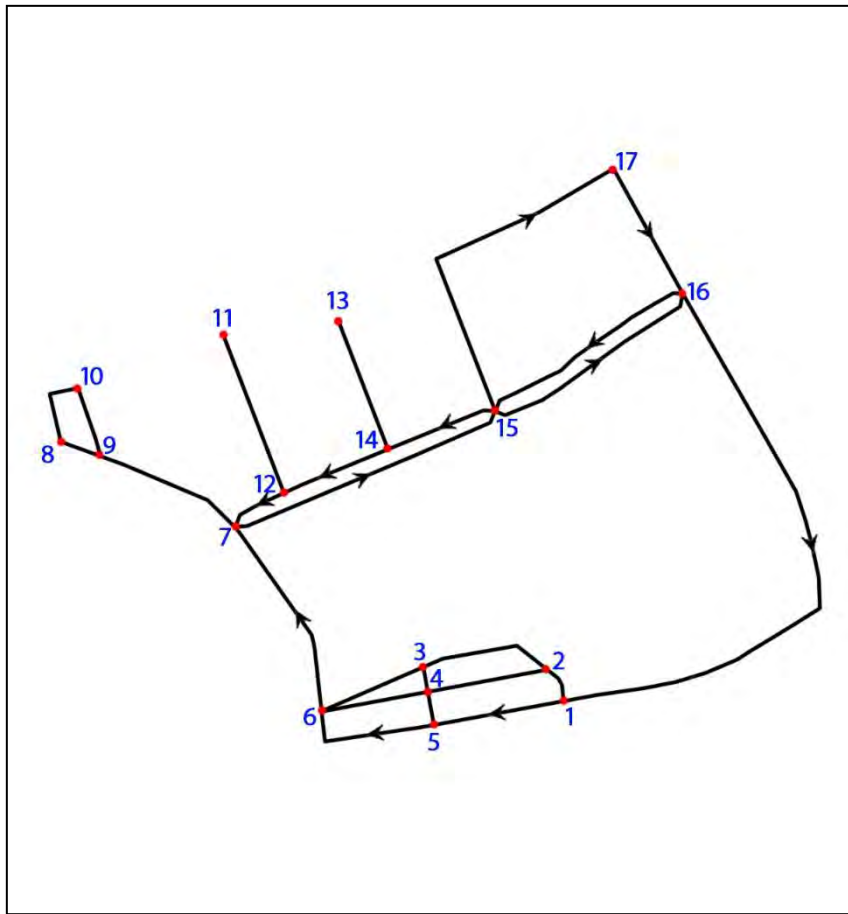


Figura 29. Sector 9 y sus vías disponibles del distrito de San Luis.

Nota. Elaboración propia.

El sector 9 se presenta como en el grafo de la Figura 29, de acuerdo con los cálculos obtenidos en el Capítulo 4 que se muestran en la Tabla 28. En presente grafo consta de 18 nodos con aristas unidireccionales y bidireccionales. La función objetivo es realizar el menor recorrido para el circuito cerrado a obtener. La primera restricción será que el camión compactador deberá recorrer al menos una vez todas las aristas del grafo. La siguiente, el recorrido será en función de las direcciones del grafo. Las variables de decisión serán enteras. A continuación, se muestra la programación en AMPL (archivo .mod) en la Figura 30 donde se observa que las distancias entre nodos son insertadas como parámetro, que la variable es entera positiva, la función objetivo minimizando el recorrido total y las restricciones que permiten que todas las aristas sean recorridas al menos una vez en la solución óptima. Al final

se coloca como restricción que ciertos arcos que deben ser recorridos en sus dos direcciones ya que están reflejando aquellas avenidas metropolitanas o de doble flujo vehicular. El camión compactador debe pasar por ambos lados de la vía.

```

set NODOS := 1..17;

param dist {i in NODOS, j in NODOS} >= 0;

var x {i in NODOS, j in NODOS} integer >=0;

minimize recorrido_total: sum {i in NODOS, j in NODOS} dist[i,j] * x[i,j];

s.t. entrada_salida_nodos {i in NODOS}:
    sum {j in NODOS} x[j,i] = sum {j in NODOS} x[i,j];

s.t. arcos_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] < 9990}:
    x[i,j] + x[j,i] >= 1;

s.t. arcos_no_posibles {i in NODOS, j in NODOS: i <> j and dist[i,j] >= 9990}:
    x[i,j] = 0;

s.t. arco_15_16:
    x[15,16] >= 1;

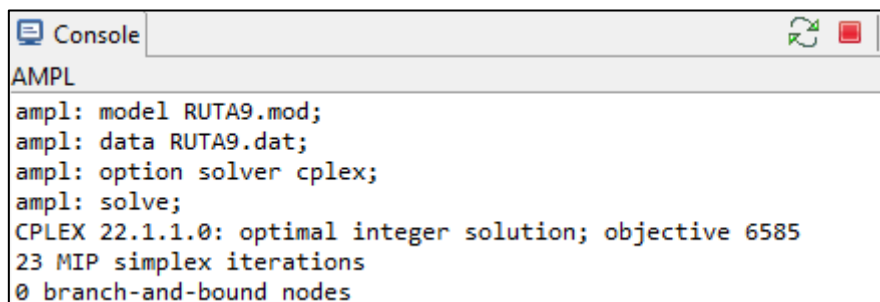
s.t. arco_16_15:
    x[16,15] >= 1;

```

Figura 30. Programación en AMPL para el sector 9.

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados en la Figura 31 donde se muestra la distancia mínima a recorrer según función objetivo son 6 585 metros para la ruta óptima del sector 9. En la Tabla 45 se presenta un cuadro resumen de la cantidad de veces que recorrerá una vía (arista del grafo) según el nuevo plan de ruta propuesto. En el Anexo L se presentan los diferentes valores que toma la variable x en cada nodo.



```

Console
AMPL
ampl: model RUTA9.mod;
ampl: data RUTA9.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 6585
23 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes

```

Figura 31. Solución óptima para la ruta del sector 8.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 45. Resumen de veces que se recorren una arista en el grafo del Sector 9.

Recorridos	Cantidad variables
Un recorrido	28
Dos recorridos	2
Total	30

Nota. Elaboración propia.

A continuación, evaluaremos el tiempo de recojo de cada una de las rutas propuestas en la Tabla 46. Durante la visita en campo a este proceso del recojo de residuos se obtuvo que la velocidad promedio de recorrido del camión compactador fue de 4 km/h considerando las paradas intermedias. Esto fue posible al sistema GPS de los camiones y el personal que lo monitorea. Teniendo los datos previamente calculados, tenemos los tiempos de recojo de residuos sólidos.

Tabla 46. Tiempo total del servicio de recojo de residuos sólidos para el Sector 9.

Concepto	Valor	Unidad
Velocidad promedio	4	km/h
Recorrido	6,59	km
Tiempo de recorrido	1,65	h
Traslado hacia el relleno sanitario	0,75	h
Tiempo de instalación diaria	1,00	h
TOTAL	3,40	h

Nota. Elaboración propia.

Capítulo 6: Análisis de resultados

6.1 Cobertura del servicio

Como se presentó en el capítulo 3, uno de los mayores impactos es que el servicio de recolección de residuos sólidos no logra cubrir el 100% de toda la demanda existente en el distrito. En la modelación del problema, la función objetivo es lograr que el camión compactador pueda movilizarse por todas las calles de su sector asignado.

6.1.1 Escenario actual.

Tabla 47. Cobertura del servicio en las rutas del escenario actual.

RUTAS	Residuos sólidos a recolectar (kg/día)	Viajes requeridos	Viajes programados	Cobertura del servicio (%)
ZONA I	17 256,11	1,82	1	55,05%
ZONA II	18 259,58	1,92	1	52,03%
ZONA III	16 797,54	1,77	1	56,56%
ZONA IV	19 284,89	2,03	1	49,26%
ZONA V	5 744,61	0,60	1	165,37%
ZONA VI	REPASO		1	
TOTAL	77 342,72	8,14	6	73,70%

Nota. Elaboración propia.

En el escenario actual se evaluaron las seis rutas actuales existentes. En la segunda columna de la Tabla 47 se observa la cantidad de residuos a recolectar según cada ruta establecida. En base a esto y a la capacidad de un camión compactador se calculó la cantidad de viajes requeridos (asumiendo que lo realiza un solo camión con capacidad de 9 500 kg) para cubrir la demanda de su sector y este valor será comparado con los viajes programados (un viaje por un camión) para calcular la brecha de cobertura del servicio. Para el caso de la ruta “Zona VI”, al ser de repaso, no posee residuos sólidos a recolectar ya que esta cantidad sería la que no se puede recoger de las demás rutas.

En la Tabla 47 se observa la brecha de cobertura de cada ruta. Para obtener este valor

respecto a todo el distrito se dividió el valor de la suma total de los viajes requeridos (8,14 en la fila “TOTAL” de la Tabla 47 entre el valor de la suma de los viajes programados (6 en la Tabla 56 fila “TOTAL”). Del resultado se obtiene que el actual servicio de recolección de residuos sólidos sólo logra cubrir el 73,70% de la demanda total en el distrito. Se entiende que la demanda restante (26,30%) no es cubierta por el servicio municipal y que son residuos que tienen como destino botaderos clandestinos en las calles del distrito.

Esta brecha cobertura del servicio hallada resulta ser un problema crítico para el distrito ya que la demanda que no se logra cubrir y que son residuos que de alguna manera se acumularán en la vía pública son focos infecciosos de diversas enfermedades lo que se convierte en un problema de salud pública. En base a ello, en la propuesta de mejora se tendrá como objetivo principal que un camión compactador tendrá como recorrer por lo menos una vez cada calle o avenida de su sector que se le asigne. Con ello se busca asegurar que la cobertura del servicio respecto a la demanda sea del 100% para mitigar el problema de los botaderos clandestinos en la vía pública.

6.1.2 Escenario propuesto.

Tabla 48. Cobertura del servicio en las rutas del escenario propuesto.

RUTAS	Generación (kg/día)	Viajes requeridos	Viajes diseñados	Cobertura del servicio (%)
SECTOR I	9 308,13	0,98	1	102%
SECTOR II	6 948,60	0,73	1	137%
SECTOR III	8 772,77	0,92	1	108%
SECTOR IV	9 161,15	0,96	1	104%
SECTOR V	6 780,66	0,71	1	140%
SECTOR VI	8 446,58	0,89	1	112%
SECTOR VII	9 038,52	0,95	1	105%
SECTOR VIII	9 440,40	0,99	1	101%
SECTOR IX	9 445,92	0,99	1	101%
TOTAL	77 342,72	8,14	9	111%

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 48 del escenario propuesto se observa que se las nueve rutas diseñadas todas tiene como viaje requerido menor a uno. Es decir, la capacidad de un camión compactador logra cubrir la demanda de recolección de residuos de su sector asignado. En cada ruta, la cobertura del servicio excede el 100% lo que refleja que se cumplieron los objetivos del modelamiento y presente estudio que son cubrir toda la demanda del distrito y recorrer todas las calles y avenidas por lo menos una vez.

La cobertura del servicio total se obtiene del cálculo de la división de la suma total de los viajes requeridos entre los viajes diseñados. El valor de 111% sugiere que la capacidad instalada en el escenario propuesto cubre la demanda actual del distrito por lo que todos los ciudadanos del distrito pueden sentirse satisfechos con este servicio. Adicional a ello, se demuestra que con este escenario propuesto se logran mitigar los problemas de botaderos clandestinos que atentan contra la salud pública generando un ahorro en esta materia y que puede ser objeto de otro estudio.

6.1.3 Comparación entre escenario actual y propuesto.

Tabla 49. Kilómetros recorridos en las rutas del escenario actual y propuesto.

ESCENARIO	Viajes requeridos	Viajes programados	Cobertura del servicio (%)	Variación
ACTUAL	8,14	6,00	73,70%	-
PROPUESTO	9,00	9,00	100,00%	35,69%

Nota. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 49, la cobertura del servicio se incrementa en 35,69% para cubrir la demanda total con el escenario propuesto. Es decir, se logra el objetivo del presente estudio que cubre la totalidad del servicio de recojo de residuos sólidos.

6.2 Rutas

Según los datos proporcionados por la entidad municipal, de las seis rutas actuales tenemos sus recorridos en km según la tabla siguiente. En base a ello y comparando con lo obtenido del escenario propuesto se podrá comparar el recorrido contra la cobertura del servicio que fue obtenido en el apartado previo.

6.2.1 Escenario actual.

Tabla 50. Kilómetros recorridos en las rutas del escenario actual.

RUTAS	Km recorridos	Tipo servicio	Cobertura del servicio (%)
ZONA I	11,22	Regular	55,05%
ZONA II	12,15	Regular	52,03%
ZONA III	18,82	Regular	56,56%
ZONA IV	9,61	Regular	49,26%
ZONA V	16,17	Regular	165,37%
ZONA VI	22,63	Repaso	
TOTAL	90,60		73,70%

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 50 se muestran los resultados de los km recorridos de las rutas actuales que fueron proporcionados por la entidad municipal. También se coloca la cobertura del servicio para poder tener una base para realizar una comparación con el recorrido en km que se obtenga de las rutas diseñadas del escenario propuesto. A diferencia de lo que se propondrá en el escenario propuesto, en el actual tiene una ruta que es de repaso y que debe recoger todos aquellos residuos que quedaron pendiente de las demás rutas.

6.2.2 Escenario propuesto.

Tabla 51. Kilómetros recorridos en las rutas del escenario propuesto.

RUTAS	Km recorridos	Tipo servicio	Cobertura del servicio (%)
SECTOR I	7,411	Regular	100%
SECTOR II	15,114	Regular	100%
SECTOR III	5,192	Regular	100%
SECTOR IV	9,888	Regular	100%
SECTOR V	9,926	Regular	100%
SECTOR VI	9,294	Regular	100%
SECTOR VII	9,342	Regular	100%
SECTOR VIII	9,133	Regular	100%
SECTOR IX	6,585	Regular	100%
TOTAL	81,885		100%

Nota. Elaboración propia

De la Tabla 51 del escenario propuesto se tiene que se obtuvieron los km recorridos de cada ruta diseñada a partir del software que procesó el modelamiento del problema. A diferencia del escenario actual, no existe alguna ruta de repaso al resultar innecesaria debido a que la capacidad diseñada cubre la demanda del servicio de recojo de residuos. Esta afirmación se sustenta en el cálculo de la cobertura del servicio que es del 100% para las nueve rutas diseñadas en el escenario propuesto con la cantidad de kilómetros recorridos que se muestran en la segunda columna.

6.2.3 Comparación entre escenario actual y propuesto.

Tabla 52. Kilómetros recorridos en las rutas del escenario actual y propuesto.

ESCENARIO	Km recorridos	Variación	Tipo servicios	Cobertura del servicio (%)	Variación
ACTUAL	90,600	-	Regular y repaso	73,70%	-
PROPUESTO	81,885	-9,62%	Regular	100,00%	35,69%

Nota. Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 52, la cobertura del servicio se incrementa en 35,69% para

cubrir la demanda total con el escenario propuesto. Una mejor cobertura del servicio a priori significaría un aumento en el recorrido total de los camiones compactadores, sin embargo, se observa que esta se reduce en 9,62% ya que se recorrerán con el nuevo sistema de rutas un total de 8,715 km diarios menos a comparación del sistema actual tal como se muestra en la Tabla 52. Esto también se traducirá en ahorro para los gastos operativos del servicio.

6.3 Horario de recojo de residuos

6.3.1 Escenario actual.

Tabla 53. Tiempo total de servicio en las rutas del escenario actual.

Rutas actuales	Tiempo Total de servicio	Unidad
ZONA I	6,75	h
ZONA II	6,75	h
ZONA III	6,75	h
ZONA IV	6,75	h
ZONA V	5,75	h
ZONA VI	4,75	h
TOTAL	37,5	h

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 53 se observa las horas actuales de servicio de cada camión compactador con su personal (un chofer y tres ayudantes) para cada ruta que cubre todo el distrito en estudio. En adición al tiempo efectivo de recorrido de una ruta, se está considerando el tiempo de preparación de cada turno y el de recorrido hacia el relleno sanitario de Huaycoloro. En total la sumatoria del tiempo de servicio de todas las rutas para el recojo es de 34,25 horas.

6.3.2 Escenario propuesto.

Tabla 54. Tiempo total de servicio en las rutas del escenario propuesto.

Rutas propuestas	Tiempo Total de servicio	Unidad
SECTOR I	3,60	h
SECTOR II	5,48	h
SECTOR III	3,05	h
SECTOR IV	4,22	h
SECTOR V	4,23	h
SECTOR VI	4,12	h
SECTOR VII	4,09	h
SECTOR VIII	4,03	h
SECTOR IX	3,40	h
TOTAL	36,22	h

Nota. Elaboración propia

Para el escenario propuesto se observa en la Tabla 54 los tiempos del servicio de recojo de residuos para las nueve rutas propuestas. Dentro de este tiempo se conciben el recorrido efectivo de un camión compactador en cada sector adicionando el tiempo de preparación en cada turno y el recorrido hasta el relleno sanitario de Huaycoloro para la disposición final de los residuos. Como se observa, se tiene que la sumatoria de los tiempos es de 36,22 horas. Finalmente, como las nueve rutas propuestas consta de menos de ocho horas, se podrá mantener una jornada laboral de ochos horas que podrá establecer el municipio para llevar un adecuado servicio de recojo de residuos; además, que un camión compactador puede ser utilizado más de una vez por día incrementando su utilización.

6.3.3 Comparación entre escenario actual y propuesto.

Tabla 55. Tiempo total de servicio en las rutas del escenario actual y propuesto.

ESCENARIO	Km recorridos	Variación	Cobertura del servicio (%)	Tiempo de servicio (h)	Variación
ACTUAL	90,600	-	73,70%	37,50	-
PROPUESTO	81,885	-9,62%	100,00%	36,22	-3,41%

Nota. Elaboración propia

De la Tabla 55 se observa la comparación entre la sumatoria del tiempo de servicio total de los escenarios actual y propuesto. El tiempo de servicio se reduce en 3,41% en total debido, en parte, a la reducción del recorrido total de las rutas en 9,62%. También se debe tener en cuenta que este incremento permite cubrir la demanda del servicio en un 100% que fue el objetivo del modelamiento del problema.

En síntesis, con los tres aspectos mejorados en el escenario propuesto permite que se tenga un impacto directo en la satisfacción del cliente, en este caso, los vecinos del distrito de San Luis, ya que presenciarán que su municipio los atiende en el tema del recojo de los residuos sólidos. Asimismo, esta mejora permite que el ciudadano tenga una mayor predisposición a pagar sus impuestos, transacciones, registros, entre otros, generando más ingresos a la municipalidad. Éste, al tratarse de un servicio público, su prioridad está en satisfacer a la ciudadanía.

6.4 Análisis económico

6.4.1 Escenario actual.

De acuerdo con las estructuras de costos totales de los servicios públicos para el ejercicio de los años fiscales 2021 y 2022, estos se dividieron de la siguiente manera para el servicio de recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos.

Tabla 56. Estructura de costos totales de los servicios públicos para el ejercicio fiscal de los años 2021 y 2022.

CONCEPTO	COSTO MENSUAL (S/.)	COSTO ANUAL (S/.)
COSTOS DIRECTOS	280 249,79	3 362 997,51
- OTROS COSTOS Y GASTOS VARIABLES	280 249,79	3 362 997,51
Servicios de Tercero	280 249,79	3 362 997,51
Servicio de Recolección, Transporte y Disposición Final de Residuos Sólidos	280 249,79	3 362 997,51
Empresa Tecnologías Ecológicas Prisma S.A.C. (*)	280 249,79	3 362 997,51
COSTOS INDIRECTOS Y GASTOS ADMINISTRATIVOS	8 100,92	97 211,05
- COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTA	8 092,12	97 105,43
Personal Contratado CAS (D.L. 1057)	8 092,12	97 105,43
Gerente de Servicios Públicos	758,36	9 100,36
Subgerente de Gestión Ambiental	1 718,43	20 621,18
Coordinador de Unidad Funcional de Limpieza Pública	2 256,91	27 082,86
Supervisor de Limpieza Pública	2 724,15	32 689,80
Secretaría de Subgerencia de Gestión Ambiental	634,27	7 611,24
- COSTO DE MATERIALES Y UTILES DE OFICINA	8,80	105,62
Útiles de Oficina	8,80	105,62
Archivador de/cartón plastificado lomo ancho	1,12	13,44
Borrador grande	0,06	0,67
Caja de Grapas 26/6 x 5000 und	0,15	1,79
Cinta adhesiva transparente	0,13	1,60
Cinta de embalaje	0,22	2,67
Corrector líquido tipo bolígrafo	0,11	1,33
Cuaderno A4 x 100	0,72	8,67
Engrampadoras cuerpo plástico	1,03	12,33
Fastenes metálico caja x 50 unidades	0,10	1,25
Folder manila sin esfuerzo t:a-4 bolsa x 25 unidades	0,21	2,58
Forro adhesivo x 3 mt	0,26	3,07
Goma en barra	0,07	0,80
Lapiceros color azul	0,08	0,96
Lápices de madera 2b	0,03	0,33
Papel bond 75 grs tamaño A4	3,27	39,20
Papel lustre colores variados	0,07	0,80
Plumón para pizarras (de colores)	0,06	0,77
Pos it	0,14	1,67
Regla	0,03	0,33
Resaltador amarillo	0,33	4,00
Sobre manila t:a-4 bolsa x 50 unidades	0,50	6,00
Tajador metálico lápiz de bolsillo	0,02	0,27
Tijera metálica c/mango plástico	0,09	1,11
COSTOS FIJOS	49,73	596,70
Servicios	49,73	596,70

Agua Potable (Palacio Municipal) - Suministro 4035688	15,86	190,31
Energía Eléctrica (Palacio Municipal) - Suministro 991680	33,87	406,40
COSTO TOTAL ANUAL	288 400,44	3 460 805,26

Nota. Elaboración por la Municipalidad Distrital de San Luis. Informe Técnico Financiero 2021.

Como se observa en la Tabla 56, actualmente el costo total anual para el servicio de recojo de residuos sólidos en la Municipalidad de San Luis es de S/. 3 460 805,26 soles. De este monto total observamos que el monto de costo directo corresponde a un S/. 3 362 997,51 soles (97,17%) lo cual corresponde por concepto de recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos. Los costos indirectos y gastos administrativos comprenden el pago por actividades desarrolladas por mano de obra indirecta que supervisan, hacen de labores administrativas y otras relacionadas que en total ascienden a S/. 97 211,05 soles (2,81%). Por último, los costos fijos que comprenden el costo por el servicio de agua potable y energía eléctrica para la oficina de la Subgerencia de Gestión Ambiental que se encarga de supervisar el servicio de recolección de residuos sólidos y que asciende S/. 596,70 soles (0,02%).

6.4.2 Escenario propuesto.

De acuerdo con las nuevas rutas propuestas y considerando que en el escenario propuesto que recolectan el 100% de los residuos generados en el distrito, se calcula el costo promedio para el servicio de recolección de residuos sólidos que tendrá una variación en los costos directos y que está en función de las toneladas recolectadas.

Tabla 57. Propuesta de estructura de costos totales de los servicios públicos.

CONCEPTO	COSTO MENSUAL (S/.)	COSTO ANUAL (S/.)
COSTOS DIRECTOS	340 474,69	4 085 696,25
- OTROS COSTOS Y GASTOS VARIABLES	340 474,69	4 085 696,25
Servicios de Tercero	340 474,69	4 085 696,25
Servicio de Recolección, Transporte y Disposición Final de Residuos Sólidos	340 474,69	4 085 696,25
Empresa Tecnologías Ecológicas Prisma S.A.C. (*)	340 474,69	4 085 696,25
COSTOS INDIRECTOS Y GASTOS ADMINISTRATIVOS	8 100,92	97 211,05
- COSTO DE MANO DE OBRA INDIRECTA	8 092,12	97 105,43
Personal Contratado CAS (D.L. 1057)	8 092,12	97 105,43
Gerente de Servicios Públicos	758,36	9 100,36
Subgerente de Gestión Ambiental	1 718,43	20 621,18
Coordinador de Unidad Funcional de Limpieza Pública	2 256,91	27 082,86
Supervisor de Limpieza Pública	2 724,15	32 689,80
Secretaría de Subgerencia de Gestión Ambiental	634,27	7 611,24
- COSTO DE MATERIALES Y UTILES DE OFICINA	8,80	105,62
Útiles de Oficina	8,80	105,62
Archivador de/cartón plastificado lomo ancho	1,12	13,44
Borrador grande	0,06	0,67
Caja de Grapas 26/6 x 5000 und	0,15	1,79
Cinta adhesiva transparente	0,13	1,60
Cinta de embalaje	0,22	2,67
Corrector líquido tipo bolígrafo	0,11	1,33
Cuaderno A4 x 100	0,72	8,67
Engramadoras cuerpo plástico	1,03	12,33
Fastenes metálico caja x 50 unidades	0,10	1,25
Folder manila sin esfuerzo t:a-4 bolsa x 25 unidades	0,21	2,58
Forro adhesivo x 3 mt	0,26	3,07
Goma en barra	0,07	0,80
Lapiceros color azul	0,08	0,96
Lápices de madera 2b	0,03	0,33
Papel bond 75 grs tamaño A4	3,27	39,20
Papel lustre colores variados	0,07	0,80
Plumón para pizarras (de colores)	0,06	0,77
Pos it	0,14	1,67
Regla	0,03	0,33
Resaltador amarillo	0,33	4,00
Sobre manila t:a-4 bolsa x 50 unidades	0,50	6,00
Tajador metálico lápiz de bolsillo	0,02	0,27
Tijera metálica c/mango plástico	0,09	1,11
COSTOS FIJOS	49,73	596,70
Servicios	49,73	596,70

Agua Potable (Palacio Municipal) - Suministro 4035688	15,86	190,31
Energía Eléctrica (Palacio Municipal) - Suministro 991680	33,87	406,40
COSTO TOTAL ANUAL	348 625,34	4 183 504,00

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 57 se observa que el costo total anual propuesto para el servicio de recojo de residuos sólidos en la Municipalidad de San Luis es de S/. 4 183 504,00 soles con las nuevas rutas asignadas. De este monto total observamos que el monto de costo directo corresponde a un S/. 4 3085 696,25 soles (97,66%). Los costos indirectos y gastos administrativos ascienden a S/. 97 211,05 soles (2,32%). Por último, los costos fijos ascienden S/. 596,70 soles (0,02%).

6.4.3 Comparación entre escenario actual y propuesto.

Tabla 58. Comparación del costo anual del servicio de recolección de residuos sólidos para escenario actual y propuesto

ESCENARIO	Cobertura del servicio	Costo Anual del servicio	Variación
ACTUAL	73,70%	S/ 3 460 805,26	-
PROPUESTO	100,00%	S/ 4 183 504,00	20,88%

Nota. Elaboración propia.

De la Tabla 58 se observa la comparación el costo total anual del servicio del servicio de recolección de residuos sólidos para los escenarios actual y propuesto. El costo se incrementa en 20,88% que justifica el incremento de la cobertura del servicio en 35,69% logrando que sea del 100% para la demanda que existe en el distrito.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Es estudio de caracterización de los residuos sólidos es un documento clave en el presente estudio que nos permite concluir la cantidad de residuos diarios generados en el distrito y calcular, para el caso de los residuos sólidos domiciliarios, la generación por manzanas. De la misma forma, el plazo de zonificación del distrito nos permite obtener por manzanas la generación de residuos sólidos no domiciliarios asignando un factor de acuerdo al área de su superficie. Con los documentos de la entidad municipal sobre su gestión de residuos sólidos, tenemos las rutas actuales de los camiones compactadores los cuales nos permiten calcular la cantidad que son recolectados por estas unidades.

Seguidamente, se evaluó la actual cobertura del servicio de recojo de residuos sólidos del distrito. Actualmente existen seis rutas de camiones compactadores de los cuales se calculó para cada uno el mínimo de cantidad de viajes por unidad para lograr cubrir el 100% de la demanda del servicio. Para la ruta de la Zona I, hace falta 1,82 viajes para recolectar 17 256,11 kg diarios; sin embargo, la cobertura es de 55,05%. Para la ruta de la Zona II, hace falta 1,92 viajes para recolectar 18 259,58 kg diarios; sin embargo, la cobertura es de 52,03%. Para la ruta de la Zona III, hace falta 1,77 viajes para recolectar 16 797,54 kg diarios; sin embargo, la cobertura es de 56,56%. Para la ruta de la Zona IV, hace falta 2,03 viajes para recolectar 19 284,89 kg diarios; sin embargo, la cobertura es de 49,26%. Para la ruta de la Zona V, hace falta 0,60 viajes para recolectar 5 744,61 kg diarios; la cobertura es de 165,37%. La ruta de la Zona VI es una de repaso para aquellas que no lograron recolectar la totalidad de los residuos. En general, para todo el distrito, se calculó que la cantidad de viajes requeridos como mínimo son de 8,14 (nueve) por día para satisfacer la demanda del distrito sin embargo realmente sólo se programan seis viajes diarios por lo que la cobertura general de este servicio es de 73,70%. Por lo tanto, la actual gestión de recojo de residuos sólidos no logra cubrir la demanda total

(100%) del distrito de San Luis para este servicio ya que sólo se recoge de manera efectiva el 73,70% de los residuos diarios y el resto (26,60%) se acumula en botaderos clandestinos o en la vía pública. De igual manera, se observa que apenas una (Zona V) de las seis rutas actuales cumplen con cubrir la demanda que existe en su ruta asignada al exceder en 100% la cobertura respectiva.

Esta situación demostrada también refleja que la entidad municipal sólo tiene el 73,70% de la capacidad requerida para atender el total de lo requerido que se reflejan en seis camiones compactadores, seis choferes y 18 ayudantes para recojo de residuos en ruta. Ello además de ser un problema de gestión respecto a las rutas actuales causa un problema de salud pública para la entidad debido a los materiales y basura que se terminan acumulando en sus calles. Así mismo, genera insatisfacción en la población del distrito debido a que este servicio no los satisface en cuanto a sus requerimientos del recojo del 100% de los residuos generados diariamente en el distrito.

Ante este problema, se aplicó la investigación de operaciones para mejorar las rutas actuales de los camiones compactadores que realizan el servicio de recojo de residuos sólidos en el distrito de San Luis. Se obtuvieron nueve rutas propuestas asignando un camión compactador a un sector o ruta de acuerdo con su capacidad de máxima cantidad de residuos sólidos recolectados con el software AMPL. Para la ruta del Sector I se logra la recolección del 9 308,13 kg por viaje logrando un excedente de cobertura en 102%; para la ruta del Sector II, 6 948,60 kg con un excedente de 137%; para la ruta del Sector III, 8 772,77 kg con un excedente de 108%; para la ruta del Sector III, 9 161,15 kg con un excedente de 104%; para la ruta del Sector IV, 9 161,15 kg con un excedente de 104%; para la ruta del Sector V, 6 780,66 kg con un excedente de 140%; para la ruta del Sector VI, 8 446,58 kg con un excedente de 112%; para la ruta del Sector VII, 9 038,52 kg con un excedente de 105%; para la ruta del Sector VIII, 9 440,40 kg con un excedente de 101%; para la ruta del Sector IX, 9 445,92 kg con un excedente

de 101%; siendo el total general 77 342,72 kg con un excedente de 111% para la cobertura del servicio. Por el contrario, la actual gestión de recolección de residuos sólidos apenas cubre el 73,70% de la demanda del distrito. Con esto se demuestra que las nuevas rutas propuestas logran cubrir toda la demanda del distrito para el servicio de recolección de residuos sólidos. Se ha realizado una reasignación de rutas e incremento de recursos con la optimización a través del software AMPL para lograr el objetivo de este servicio.

De la misma manera, las rutas óptimas tienen las siguientes distancias, para la ruta del Sector I un total de 7,411 km por viaje; para la ruta del Sector II, 15,114 km; para la ruta del Sector III, 5,192 km; para la ruta del Sector IV, 9,888 km; para la ruta del Sector V, 9,926 km; para la ruta del Sector VI, 9,294 km; para la ruta del Sector VII, 9,342 km; para la ruta del Sector VIII, 9,133 km; para la ruta del Sector IX, 6,585 km; siendo el total general 81,885 km para este escenario propuesto. Con la actual gestión de recojo de residuos sólidos la distancia total de las rutas es 90,600 km; es decir, las rutas propuestas del presente estudio reducen en 9,62% la distancia total recorrida por todos los camiones compactadores ampliando a 100% la cobertura del servicio. Esto obedece a que las nueve rutas se optimizaron mediante la investigación operativa para obtener la ruta mínima para cada sector. Estos también se traducen en una reducción de combustible y gastos operativos concernientes a las operaciones del transporte del servicio de recojo de residuos sólidos. La recolección de residuos se realiza en todas las calles del distrito, pero la optimización mediante la investigación operativa logra reducir la distancia total recorrida.

Seguidamente, las rutas óptimas tienen los siguientes horarios de servicio calculados; para la ruta del Sector I, 3,60 h; para la ruta del Sector II, 5,48 h; para la ruta del Sector III, 3,05 h; para la ruta del Sector IV, 4,22 h; para la ruta del Sector V, 4,23 h; para la ruta del Sector VI, 4,12 h; para la ruta del Sector VII, 4,09 h; para la ruta del Sector VIII, 4,03 h; para la ruta del Sector IX, 3,40 h, siendo un total general de 36,22 horas de servicio total para el

recojo de residuos. Con la actual gestión este tiempo está en 37,50 horas. Esta reducción obedece a la optimización de las rutas con la investigación operativa ya que el tiempo se acorta en 3,41% y contrariamente se está logrando la cobertura del servicio en 100%.

El costo anual del servicio se incrementa en 20,88%. No obstante, este aumento en S/. 722 698,74 es justificable para la entidad municipal al beneficiar a los usuarios con la cobertura del 100% de la demanda y la optimización en cuanto a las distancias recorrida y horario del servicio. Así mismo, se puede predecir que al aumentar el cumplimiento del servicio más vecinos del distrito van a cumplir con sus pagos de arbitrios e impuesto municipales lo que significará mayores recursos destinados para este servicio que pueden aportar en la aplicación o estudio similares a este. De igual manera, estos beneficios pueden permitir ahorros en materia de salud ya que al cubrir el 100% del servicio de recojo de residuos se mitigan los botaderos clandestinos y centros de acumulación clandestinos de basura que son perjudiciales para el ser humano.

Respecto a las horas de servicio, las nueve rutas del escenario propuestos muestran una reducción de 3,41% respecto al horario total diario de la gestión actual. Estas 1,28 horas diaria permitirá que el servicio de recolección de residuos sólidos se realice en un menor tiempo ampliando la cobertura y la satisfacción en los vecinos del distrito. Este dato también nos indica que la actual gestión de residuos sólidos tiene muchas falencias en cuanto a su ejecución ya que no optimiza su recorrido ni recurso y es por ello que aplicando la investigación operativa logramos reducir varias variables de la operación ampliando el cumplimiento del servicio.

Al lograr la cobertura del 100% de la demanda del servicio de recojo de residuos sólidos se mitigan varios problemas. El primero, la eliminación de los focos infecciosos en la vía pública debido a botaderos clandestinos o acumulación de basura por la falta de presencia de un camión compactador. El segundo, se evita un gran inconveniente a la salud pública del distrito a eliminarse los puntos críticos de acumulación de basura y que podría causar

problemas de salud a la población como enfermedades respiratorias o dermatológicas. Finalmente, la cobertura al 100% del servicio se reflejaría en la satisfacción de la ciudadanía con este al cumplirse los objetivos propuestos como el recojo de la totalidad de los residuos generados por día y pasar al menos una vez en cada calle del distrito.

7.2 Recomendaciones

- Para la aplicación del presente estudio, se recomienda actualizar el estudio de caracterización de residuos sólidos en un plazo máximo de cada cinco años para tener conocimiento de la situación real.

- Es necesario que cada entidad municipal tenga claramente documentado la distribución de su población en su territorio por manzana para una eficiente asignación de la generación de los residuos sólidos en cada una de ellas. Actualmente, la información que se cuenta es del INEI a través del censo de población y vivienda que se realiza cada diez años. Para un cálculo más preciso del presente estudio se recomienda mejorar este lapso de años a cinco o menos.

- Para un tiempo óptimo para este servicio es recomendable informar a los vecinos el horario en que pasará el camión compactador en sus casas. Esto hará que los residuos sólidos ya estén colocados en la fachada o las que haga de contenedor de basura para que el personal operativo sólo tenga que recogerlos y colocarlo en la unidad.

- Se recomienda que las entidades municipales tengan dentro de su oficina de Gestión de Servicios Ambientales o las que haga sus veces, a un personal que supervise las operaciones del servicio de recojo de residuos sólidos y que aplique este estudio que permita optimizar los recursos y alcanzar los objetivos del servicio.

- El presente estudio debe actualizarse en un plazo no mayor a cinco años. Este debe estar sincronizado con el estudio de caracterización de los residuos sólidos.

- Para un uso óptimo del tiempo, la entidad municipal deberá programar la ejecución de este servicio en un horario de poca afluencia vehicular el cual permita la fluidez de la operación.

- El presente estudio se puede adaptar a la recolección de residuos sólidos segregada que permita el reciclaje y aprovechamiento de la basura. Para ello se deberá contar con la data disgregada a este nivel en el distrito por cada habitante y diseñar las rutas de recolección con la investigación operativa.

- El tiempo del servicio se puede optimizar aún más con la implementación de contenedores soterrados que albergue los residuos sólidos de ciertas manzanas. Para la programación de la ruta óptima los nodos ya no serían cada cruce sino la ubicación de un contenedor soterrado. Esto también optimizaría la distancia total recorrido por todos los camiones compactadores.

- El presente estudio también se puede aplicar para el diseño de las rutas del barrido de calles que se realizan a pie. Ello requerirá de otro tipo de data que deberá incluir el estudio de caracterización de residuos sólidos tales como la cantidad recolectada en cada avenida o calle del distrito. Esto permitirá optimizar estos recorridos y proteger la integridad física de los trabajadores ya que se optará por el recorrido mínimo.

- En el largo plazo, se debe tener por objetivo masificar el presente estudio con la investigación operativa a la optimización de recursos para la recolección de residuos sólidos.

- Lo anterior también puede implementarse en servicios municipales barrido de calles, rutas de patrullaje para serenazgo y personal motorizado, entre otros. Esto puede ser objeto para futuros estudios.

Bibliografía

- Cáric, T., Gold, H. (2008). *Vehicle routing problema*. Viena, Austria: In-Tech. Recuperado de: https://bib.irb.hr/datoteka/433524.Vehnicle_Routing_Problem.pdf
- Gutiérrez, E. (2019). *Modelos de optimización para el problema de inspección de rutas de camiones interurbanos*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/19959/1/1080314447b.pdf>
- Henao, B., Piedrahita, J. (2015). *Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de Zarzal, Valle del Cauca. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial*. Ecuador: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9103/1/CB-0524924.pdf>
- Hillier, F., Lieberman, G. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. (9na. Edición). México D.F.: Mc Graw Hill.
- IBM. (2021). *All products. ILOG CPLEX Optimization Studio. Introduction*. Recuperado de: <https://www.ibm.com/docs/en/icos/20.1.0?topic=2010-introduction>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). *Anuario de Estadísticas Ambientales. Capítulo 5: Residuos sólidos*. Lima, Perú. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1342/ca_p05.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Censos nacionales 2017, XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas: Sistema de consulta de abastecimiento de agua por red pública a nivel de manzana*. Lima, Perú. Recuperado de: <https://agua.inei.gob.pe/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Planos estratificados de Lima Metropolitana a Nivel de Manzanas 2020 según ingreso per cápita del hogar*. Lima, Perú. Recuperado de: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1744/libro.pdf

International Camiones del Perú. (2021). *Especificaciones Workstar*. Lima, Perú: International Camiones del Perú.

Jaramillo, Jorge. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales: Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Lima: Perú. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Recuperado de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55275>

Lima Cómo Vamos. (2022). *Lima y Callao según sus habitantes. Reporte urbano de percepción ciudadana 2022*. Lima, Perú. Recuperado de: <https://www.limacomovamos.org/wp-content/uploads/2022/11/EncuestaLCV2022.pdf>

Ministerio de Ambiente. (2017). Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Lima, 20 de diciembre de 2017. Recuperado de: http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf

Ministerio de Ambiente. (2018). Gestión de residuos sólidos. Lima, Perú. Recuperado de: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/gestion-de-residuos-solidos/>

Ministerio de Ambiente. (2019). Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales. Lima, Perú. Recuperado de: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/707>

Municipalidad Distrital de San Luis. (2019). Estudio de Caracterización de los residuos sólidos municipales. Gerencia de servicios a la ciudad. Lima, Perú: Municipalidad Distrital de San Luis.

Municipalidad Distrital de San Luis. (2021, 12 de julio). *Información solicitada para la elaboración de ordenanza de arbitrios municipales 2022*. Subgerencia de Gestión Ambiental. Lima, Perú: Municipalidad Distrital de San Luis.

Municipalidad Distrital de San Luis. (2020). Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos 2020 - 2024. Gerencia de Servicios Públicos. Lima, Perú: Municipalidad Distrital de San Luis.

Municipalidad Distrital de San Luis. (2016). Plano de zonificación de los usos del suelo área de tratamiento normativo II. Gerencia de Desarrollo Urbano. Lima, Perú: Municipalidad Distrital de San Luis.

Municipalidad Distrital de San Luis. (2020). *Reglamento de Organización y Funciones 2020*. Lima, Perú: Municipalidad Distrital de San Luis.

Municipalidad Distrital de San Luis. (2017). *Rutas de recolección domiciliaria – Municipalidad de San Luis*. SubGerencia de Gestión Ambiental. Lima, Perú: Municipalidad Distrital de San Luis.

- Organismo De Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2020). *OEFA lanza aplicativo “Reporte Residuos” para alertar la acumulación de residuos sólidos en las calles*. Lima, Perú. Recuperado de: <https://www.oefa.gob.pe/oefa-lanza-aplicativo-reporta-residuos-para-alertar-la-acumulacion-de-residuos-solidos-en-las-calles/ocac06/>
- Olivera, A. (2004). *Heurística para problemas de ruteos de vehículos*. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. Recuperado de: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/3508/1/TR0408.pdf>
- Orihuela, J. (2018). *Un análisis de la Eficiencia de la Gestión Municipal de los Residuos Sólidos en el Perú y sus Determinantes*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Lima, Perú. Recuperado en: <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/investigaciones/residuos-solidos.pdf>
- Presidencia de la República del Perú (2020). Decreto Legislativo N° 1501. Decreto Legislativo que modifica el Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley De Gestión Integral De Residuos Sólido. Lima, 11 de mayo de 2020. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-legislativo-que-modifica-decreto-legislativo-no-1278-que-aprueba>
- Programa De Las Naciones Unidad Para El Medio Ambiente. (2020). *Articulando la política social y ambiental para la recuperación pos-COVID-19 en América Latina y el Caribe*. Policy and strategy, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Recuperado de: <https://www.unep.org/es/resources/informe-de-politicas/articulando-la-politica-social-y-ambiental-para-la-recuperacion-pos>
- Racero, J., Pérez, E. (2006, 7 y 8 de setiembre). *X Congreso de Ingeniería de Organización*. Valencia, España. Recuperado de:

http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2006/aprov_distr_transporte/000226_final.pdf

Sáez, A., Urdaneta, J. (2014, setiembre - diciembre). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Revista Omnia*, vol. 20, núm. 3. Universidad de Zulia, Venezuela. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>

Sierra, P. (S/A.) *Plano del distrito de San Luis – Lima - Perú*. Bibliocad. Recuperado (agosto del 2019) en: https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/plano-del-distrito-de-san-luis-lima-peru_17743/

Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones*. (9na. Edición). México D.F.: Pearson Education.

Taquía, J. (2013). *Optimización de rutas en una empresa de recojo de residuos sólidos en el distrito de Los Olivos. Tesis de Licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Recuperado en http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4603/TAQUIA_JOSE_OPTIMIZACION_RUTAS.pdf?sequence=1

Yordá, J. (2015). *El problema del cartero chino. Máster Interuniversitario en Técnicas Estadísticas*. Universidad de Santiago de Compostela, Universidad de Vigo y Universidad de da Coruña. Recuperado de: http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto_1257.pdf

Anexos

Anexo A

Tabla A 1. Cálculo de la generación diario por manzana de los residuos comerciales.

N° manzana	Área (m2)	Factor de asignación (%)	Generación diaria de residuos (kg / día)	N° manzana	Área (m2)	Factor de asignación (%)	Generación diaria de residuos (kg / día)
1	897.84	0.14%	41.01	91	2,803.98	0.43%	128.06
2	880.17	0.13%	40.20	96	3,599.69	0.55%	164.41
3	747.02	0.11%	34.12	105	3,478.02	0.53%	158.85
4	710.91	0.11%	32.47	107	1,490.85	0.23%	68.09
5	768.88	0.12%	35.12	109	3,604.43	0.55%	164.62
6	716.65	0.11%	32.73	110	473.74	0.07%	21.64
7	1,005.42	0.15%	45.92	111	2,732.75	0.42%	124.81
8	957.71	0.15%	43.74	113	2,613.63	0.40%	119.37
9	1,231.76	0.19%	56.26	116	849.70	0.13%	38.81
10	616.03	0.09%	28.14	117	1,921.49	0.29%	87.76
11	1,049.30	0.16%	47.92	118	3,088.86	0.47%	141.07
12	21,950.35	3.36%	1,002.52	119	5,651.38	0.87%	258.11
13	5,358.85	0.82%	244.75	120	2,518.53	0.39%	115.03
14	339.74	0.05%	15.52	121	934.99	0.14%	42.70
15	3,099.47	0.47%	141.56	122	4,479.35	0.69%	204.58
16	2,834.14	0.43%	129.44	123	443.61	0.07%	20.26
17	4,152.90	0.64%	189.67	128	3,507.39	0.54%	160.19
18	6,101.00	0.93%	278.64	135	4,125.58	0.63%	188.42
19	6,249.44	0.96%	285.42	136	2,944.21	0.45%	134.47
20	3,155.38	0.48%	144.11	137	2,703.72	0.41%	123.48
21	4,947.59	0.76%	225.97	139	2,252.02	0.34%	102.85
22	2,127.47	0.33%	97.17	140	835.53	0.13%	38.16
23	3,797.63	0.58%	173.45	143	2,383.03	0.36%	108.84
24	2,309.73	0.35%	105.49	146	2,413.91	0.37%	110.25
25	2,621.73	0.40%	119.74	151	2,794.30	0.43%	127.62
26	3,781.00	0.58%	172.69	152	6,651.02	1.02%	303.77
27	5,259.32	0.81%	240.20	153	1,552.65	0.24%	70.91
28	4,407.44	0.67%	201.30	154	4,225.47	0.65%	192.99
29	5,035.98	0.77%	230.00	158	3,324.18	0.51%	151.82
30	2,144.83	0.33%	97.96	159	2,022.41	0.31%	92.37
31	3,844.07	0.59%	175.57	160	3,853.43	0.59%	175.99
32	3,522.57	0.54%	160.88	161	7,872.49	1.20%	359.55
33	2,283.90	0.35%	104.31	163	1,869.17	0.29%	85.37
34	2,939.76	0.45%	134.26	167	3,015.62	0.46%	137.73
35	4,075.72	0.62%	186.15	171	4,338.18	0.66%	198.13

36	3,470.89	0.53%	158.52	176	2,663.56	0.41%	121.65
37	2,184.86	0.33%	99.79	177	4,068.24	0.62%	185.80
38	4,681.38	0.72%	213.81	178	4,842.12	0.74%	221.15
39	3,736.33	0.57%	170.65	179	5,070.30	0.78%	231.57
40	5,246.79	0.80%	239.63	180	8,081.42	1.24%	369.09
42	8,837.32	1.35%	403.62	181	5,090.84	0.78%	232.51
51	3,532.29	0.54%	161.33	182	6,477.26	0.99%	295.83
52	2,082.79	0.32%	95.13	183	1,419.00	0.22%	64.81
61	24,857.41	3.80%	1,135.29	184	9,836.39	1.51%	449.25
62	9,685.43	1.48%	442.35	185	7,754.04	1.19%	354.14
63	2,947.47	0.45%	134.62	186	11,696.64	1.79%	534.21
65	11,260.82	1.72%	514.30	187	8,314.88	1.27%	379.76
66	12,073.03	1.85%	551.40	188	1,325.89	0.20%	60.56
67	6,131.84	0.94%	280.05	189	3,912.73	0.60%	178.70
68	9,060.09	1.39%	413.79	190	12,848.25	1.97%	586.80
69	10,790.67	1.65%	492.83	191	3,478.97	0.53%	158.89
71	12,198.34	1.87%	557.12	192	5,176.52	0.79%	236.42
72	6,277.50	0.96%	286.71	193	4,932.30	0.75%	225.27
73	2,731.35	0.42%	124.75	202	3,460.85	0.53%	158.06
75	3,609.92	0.55%	164.87	203	4,772.88	0.73%	217.99
76	6,697.53	1.03%	305.89	205	2,092.03	0.32%	95.55
77	6,705.37	1.03%	306.25	206	5,518.57	0.84%	252.04
78	3,327.52	0.51%	151.97	208	1,715.62	0.26%	78.36
79	12,620.68	1.93%	576.41	211	6,781.60	1.04%	309.73
80	8,246.48	1.26%	376.63	212	804.25	0.12%	36.73
81	3,755.92	0.57%	171.54	213	17,990.69	2.75%	821.67
82	4,279.02	0.65%	195.43	214	2,817.78	0.43%	128.69
83	12,325.51	1.89%	562.93	215	1,096.40	0.17%	50.07
84	8,750.35	1.34%	399.65	223	960.58	0.15%	43.87
85	10,468.19	1.60%	478.10	258	4,475.58	0.69%	204.41
86	8,892.89	1.36%	406.16	260	498.33	0.08%	22.76
87	6,569.57	1.01%	300.05	292	2,185.50	0.33%	99.82
88	12,199.05	1.87%	557.15	294	2,736.63	0.42%	124.99
89	9,316.13	1.43%	425.49	295	671.74	0.10%	30.68
90	8,913.52	1.36%	407.10	TOTAL	653,323.55	100.00%	29,838.56

Nota. Elaboración propia. Fuente: INEI, Estudio de caracterización de residuos sólidos.

Anexo B

Tabla A 2. Cálculo de la generación diario por manzana de los residuos recolectados del barrido de calles y avenidas.

N° manzana	Factor de corrección (%)	Calles internas	Avenidas	Generación por manzana (kg/día)	N° manzana	Factor de corrección (%)	Calles internas	Avenidas	Generación por manzana (kg/día)
1	0,05%	2,08	1,42	3,50	149	0,30%	13,21	9,04	22,25
2	0,05%	2,04	1,39	3,43	150	0,17%	7,22	4,94	12,16
3	0,04%	1,73	1,18	2,91	151	0,30%	12,93	8,85	21,79
4	0,04%	1,65	1,13	2,77	152	0,35%	15,39	10,54	25,93
5	0,04%	1,78	1,22	3,00	153	0,36%	15,64	10,70	26,34
6	0,04%	1,66	1,14	2,79	154	0,39%	17,01	11,64	28,65
7	0,05%	2,33	1,59	3,92	155	0,06%	2,78	1,90	4,68
8	0,05%	2,22	1,52	3,73	156	0,17%	7,19	4,92	12,11
9	0,07%	2,85	1,95	4,80	157	0,36%	15,63	10,70	26,32
10	0,03%	1,43	0,98	2,40	158	0,35%	15,39	10,53	25,92
11	0,06%	2,43	1,66	4,09	159	0,18%	7,90	5,41	13,31
12	1,17%	50,80	34,77	85,57	160	0,33%	14,23	9,74	23,97
13	0,29%	12,40	8,49	20,89	161	0,42%	18,22	12,47	30,69
14	0,02%	0,79	0,54	1,32	162	0,51%	22,32	15,28	37,60
15	0,17%	7,17	4,91	12,08	163	0,20%	8,65	5,92	14,57
16	0,15%	6,56	4,49	11,05	164	0,21%	9,24	6,32	15,56
17	0,22%	9,61	6,58	16,19	165	0,15%	6,47	4,43	10,90
18	0,33%	14,12	9,66	23,79	166	0,33%	14,41	9,86	24,27
19	0,33%	14,46	9,90	24,36	167	0,32%	13,96	9,55	23,51
20	0,17%	7,30	5,00	12,30	168	0,34%	14,69	10,06	24,75
21	0,26%	11,45	7,84	19,29	169	0,11%	4,97	3,40	8,37
22	0,11%	4,92	3,37	8,29	170	0,43%	18,48	12,65	31,13
23	0,20%	8,79	6,02	14,81	171	0,46%	20,08	13,74	33,83
24	0,12%	5,35	3,66	9,00	172	0,28%	12,09	8,28	20,37
25	0,14%	6,07	4,15	10,22	173	0,19%	8,40	5,75	14,16
26	0,20%	8,75	5,99	14,74	174	0,13%	5,59	3,83	9,42
27	0,28%	12,17	8,33	20,50	175	0,25%	10,89	7,45	18,34
28	0,24%	10,20	6,98	17,18	176	0,14%	6,16	4,22	10,38
29	0,27%	11,66	7,98	19,63	177	0,22%	9,42	6,44	15,86
30	0,11%	4,96	3,40	8,36	178	0,26%	11,21	7,67	18,88
31	0,21%	8,90	6,09	14,99	179	0,27%	11,73	8,03	19,77
32	0,19%	8,15	5,58	13,73	180	0,43%	18,70	12,80	31,51
33	0,21%	9,30	6,36	15,66	181	0,27%	11,78	8,06	19,85
34	0,16%	6,80	4,66	11,46	182	0,35%	14,99	10,26	25,25
35	0,22%	9,43	6,46	15,89	183	0,08%	3,28	2,25	5,53
36	0,19%	8,03	5,50	13,53	184	0,69%	29,89	20,46	50,35
37	0,12%	5,06	3,46	8,52	185	0,41%	17,95	12,28	30,23
38	0,25%	10,83	7,42	18,25	186	0,62%	27,07	18,53	45,60

39	0,20%	8,65	5,92	14,57	187	0,44%	19,24	13,17	32,42
40	0,28%	12,14	8,31	20,45	188	0,07%	3,07	2,10	5,17
41	0,95%	41,38	28,33	69,71	189	0,21%	9,06	6,20	15,25
42	2,28%	98,77	67,60	166,37	190	0,69%	29,74	20,35	50,09
43	0,40%	17,51	11,99	29,50	191	0,19%	8,05	5,51	13,56
44	0,40%	17,21	11,78	28,99	192	0,28%	11,98	8,20	20,18
45	2,09%	90,82	62,16	152,98	193	0,46%	19,77	13,53	33,30
46	0,61%	26,62	18,22	44,84	194	0,64%	27,74	18,99	46,73
47	1,01%	43,63	29,87	73,50	195	0,48%	20,71	14,17	34,88
48	1,46%	63,28	43,32	106,60	196	0,11%	4,61	3,16	7,77
49	1,54%	66,85	45,76	112,61	197	1,37%	59,27	40,57	99,83
50	1,34%	58,20	39,83	98,03	198	0,84%	36,24	24,81	61,05
51	0,57%	24,58	16,83	41,41	199	0,57%	24,84	17,00	41,85
52	0,71%	30,74	21,04	51,78	200	0,93%	40,25	27,55	67,80
53	1,53%	66,22	45,33	111,55	201	1,08%	46,72	31,98	78,70
54	1,35%	58,75	40,22	98,97	202	0,25%	10,66	7,30	17,96
55	0,47%	20,32	13,91	34,23	203	0,25%	11,05	7,56	18,61
56	0,89%	38,49	26,35	64,84	204	0,24%	10,47	7,17	17,63
57	1,72%	74,76	51,17	125,93	205	0,22%	9,68	6,63	16,31
58	1,68%	72,79	49,82	122,62	206	0,54%	23,54	16,12	39,66
59	1,40%	60,79	41,61	102,40	207	0,18%	7,91	5,42	13,33
60	1,01%	43,69	29,91	73,60	208	0,38%	16,44	11,25	27,69
61	1,33%	57,53	39,38	96,91	209	0,08%	3,34	2,28	5,62
62	0,52%	22,42	15,34	37,76	210	0,03%	1,52	1,04	2,56
63	0,16%	6,82	4,67	11,49	211	0,36%	15,70	10,74	26,44
64	1,30%	56,32	38,55	94,87	212	0,30%	13,19	9,03	22,22
65	0,63%	27,15	18,58	45,73	213	0,96%	41,64	28,50	70,14
66	0,64%	27,94	19,13	47,07	214	0,30%	13,04	8,93	21,97
67	0,33%	14,19	9,71	23,91	215	0,32%	14,09	9,65	23,74
68	0,48%	20,97	14,35	35,32	216	0,29%	12,54	8,58	21,12
69	0,58%	24,97	17,09	42,07	217	0,29%	12,62	8,64	21,25
70	0,51%	22,32	15,28	37,59	218	0,08%	3,66	2,50	6,16
71	0,65%	28,23	19,32	47,56	219	0,02%	0,68	0,47	1,15
72	0,33%	14,53	9,94	24,47	220	0,03%	1,50	1,03	2,52
73	0,15%	6,32	4,33	10,65	221	0,01%	0,41	0,28	0,68
74	0,30%	12,97	8,88	21,85	222	0,01%	0,45	0,31	0,76
75	0,19%	8,35	5,72	14,07	223	0,41%	17,73	12,13	29,86
76	0,36%	15,50	10,61	26,11	224	0,20%	8,53	5,84	14,36
77	0,36%	15,52	10,62	26,14	225	0,14%	5,99	4,10	10,09
78	0,18%	7,70	5,27	12,97	226	0,11%	4,98	3,41	8,39
79	0,67%	29,21	19,99	49,20	227	0,10%	4,54	3,11	7,65
80	0,53%	23,07	15,79	38,86	228	0,25%	11,06	7,57	18,63
81	0,20%	8,69	5,95	14,64	229	0,14%	6,12	4,19	10,30
82	0,23%	9,90	6,78	16,68	230	0,09%	3,99	2,73	6,73
83	0,66%	28,53	19,53	48,05	231	0,09%	4,00	2,74	6,74

84	0,47%	20,25	13,86	34,11	232	0,23%	9,96	6,82	16,77
85	0,56%	24,23	16,58	40,81	233	0,08%	3,52	2,41	5,93
86	0,47%	20,58	14,09	34,67	234	0,12%	4,99	3,42	8,41
87	0,35%	15,20	10,41	25,61	235	0,09%	3,96	2,71	6,68
88	0,65%	28,23	19,33	47,56	236	0,11%	4,57	3,13	7,70
89	0,50%	21,56	14,76	36,32	237	0,14%	5,99	4,10	10,09
90	0,48%	20,63	14,12	34,75	238	0,09%	3,97	2,72	6,68
91	0,30%	13,03	8,92	21,95	239	0,08%	3,52	2,41	5,92
92	0,16%	7,12	4,88	12,00	240	0,10%	4,50	3,08	7,59
93	0,28%	12,03	8,23	20,26	241	0,10%	4,52	3,10	7,62
94	0,25%	10,82	7,40	18,22	242	0,12%	5,01	3,43	8,44
95	0,31%	13,62	9,32	22,95	243	0,09%	4,01	2,74	6,75
96	0,38%	16,66	11,40	28,07	244	0,10%	4,49	3,07	7,56
97	0,26%	11,14	7,62	18,76	245	0,23%	10,03	6,87	16,90
98	0,22%	9,41	6,44	15,85	246	0,12%	5,03	3,44	8,47
99	0,27%	11,71	8,02	19,73	247	0,08%	3,52	2,41	5,93
100	0,16%	7,16	4,90	12,06	248	0,12%	5,02	3,44	8,45
101	0,29%	12,77	8,74	21,51	249	0,08%	3,50	2,40	5,90
102	0,26%	11,11	7,60	18,71	250	0,12%	5,00	3,42	8,42
103	0,34%	14,77	10,11	24,89	251	0,24%	10,36	7,09	17,45
104	0,28%	12,03	8,24	20,27	252	0,13%	5,52	3,78	9,30
105	0,37%	16,10	11,02	27,12	253	0,12%	4,99	3,42	8,41
106	0,16%	6,75	4,62	11,38	254	0,14%	6,00	4,11	10,11
107	0,22%	9,38	6,42	15,81	255	0,27%	11,58	7,93	19,51
108	0,23%	10,15	6,95	17,10	256	0,55%	23,82	16,30	40,13
109	0,38%	16,68	11,42	28,10	257	0,48%	20,63	14,12	34,75
110	0,34%	14,83	10,15	24,98	258	0,48%	20,72	14,18	34,90
111	0,29%	12,65	8,66	21,31	259	0,16%	6,83	4,67	11,50
112	0,18%	7,97	5,46	13,43	260	1,85%	80,25	54,93	135,18
113	0,28%	12,10	8,28	20,38	261	0,15%	6,67	4,57	11,24
114	0,15%	6,49	4,44	10,93	262	0,15%	6,68	4,57	11,25
115	0,15%	6,43	4,40	10,82	263	0,18%	7,77	5,32	13,09
116	0,05%	1,97	1,35	3,31	264	0,32%	13,92	9,53	23,45
117	0,21%	8,89	6,09	14,98	265	0,12%	5,00	3,43	8,43
118	0,28%	12,22	8,36	20,58	266	0,12%	5,00	3,42	8,42
119	0,48%	20,63	14,12	34,75	267	0,13%	5,55	3,80	9,36
120	0,27%	11,66	7,98	19,64	268	0,12%	5,00	3,42	8,43
121	0,10%	4,33	2,96	7,29	269	0,15%	6,67	4,56	11,23
122	0,42%	18,03	12,34	30,37	270	0,16%	7,10	4,86	11,96
123	0,37%	16,08	11,01	27,09	271	0,14%	6,12	4,19	10,30
124	0,09%	3,85	2,63	6,48	272	0,12%	5,00	3,43	8,43
125	0,38%	16,38	11,21	27,59	273	0,14%	6,15	4,21	10,35
126	0,23%	9,78	6,70	16,48	274	0,31%	13,37	9,15	22,52
127	0,27%	11,88	8,13	20,01	275	0,15%	6,70	4,58	11,28
128	0,37%	16,24	11,11	27,35	276	0,14%	6,13	4,20	10,33

129	0,27%	11,79	8,07	19,86	277	0,13%	5,72	3,91	9,63
130	0,30%	12,89	8,82	21,72	278	0,21%	9,11	6,24	15,35
131	0,26%	11,08	7,58	18,66	279	0,21%	8,99	6,15	15,14
132	0,39%	16,86	11,54	28,40	280	0,01%	0,43	0,29	0,72
133	0,24%	10,53	7,21	17,73	281	0,02%	0,69	0,47	1,16
134	0,36%	15,51	10,61	26,12	282	0,02%	1,02	0,70	1,72
135	0,38%	16,35	11,19	27,54	283	0,05%	2,26	1,55	3,81
136	0,31%	13,63	9,33	22,96	284	0,03%	1,21	0,83	2,03
137	0,29%	12,52	8,57	21,08	285	0,03%	1,36	0,93	2,29
138	0,28%	12,17	8,33	20,50	286	0,21%	8,93	6,11	15,04
139	0,20%	8,72	5,97	14,68	287	0,14%	6,23	4,27	10,50
140	0,27%	11,85	8,11	19,96	288	0,18%	7,82	5,35	13,17
141	0,33%	14,38	9,84	24,22	289	0,26%	11,46	7,84	19,30
142	0,28%	12,14	8,31	20,45	290	0,20%	8,51	5,83	14,34
143	0,13%	5,52	3,78	9,29	291	0,10%	4,55	3,11	7,66
144	0,32%	13,99	9,57	23,56	292	0,23%	10,12	6,92	17,04
145	0,19%	8,40	5,75	14,15	293	0,23%	9,91	6,79	16,70
146	0,26%	11,17	7,65	18,82	294	0,29%	12,67	8,67	21,34
147	0,20%	8,62	5,90	14,52	295	0,77%	33,26	22,77	56,03
148	0,30%	12,95	8,86	21,81	TOTAL	100,00%	4 338,60	2 969,67	7 308,27

Nota. Elaboración propia. Fuente: INEI, Estudio de caracterización de residuos sólidos.



Anexo C

Tabla A 3. Cálculo de la generación diario por manzana de los residuos domiciliarios y no domiciliarios.

N° manzana	Residuos domiciliarios (kg)	No domiciliarios (kg)	Generación diaria total (kg/día)	N° manzana	Residuos domiciliarios (kg)	No domiciliarios (kg)	Generación diaria total (kg/día)
1	14,34	44,51	58,84	149	145,56	22,25	167,80
2	30,04	43,63	73,67	150	51,93	12,16	64,09
3	25,94	37,03	62,97	151	140,44	149,41	289,84
4	21,16	35,24	56,40	152	59,98	329,69	389,67
5	23,21	38,11	61,32	153	58,51	252,17	310,68
6	13,65	35,52	49,18	154	160,92	221,64	382,55
7	16,38	49,84	66,22	155	24,87	4,68	29,55
8	5,46	47,47	52,94	156	55,59	12,11	67,70
9	21,85	61,06	82,90	157	167,50	26,32	193,82
10	17,75	30,54	48,29	158	272,83	177,74	450,57
11	21,16	52,01	73,18	159	117,76	105,68	223,44
12	238,94	1 088,09	1 327,03	160	106,06	199,97	306,03
13	149,51	265,64	415,15	161	98,74	390,24	488,99
14	23,87	16,84	40,72	162	0,00	514,41	514,41
15	79,35	153,64	232,99	163	72,41	99,94	172,36
16	113,05	140,49	253,54	164	38,03	15,56	53,60
17	81,45	205,86	287,31	165	51,20	10,90	62,10
18	214,87	302,43	517,30	166	24,14	129,95	154,09
19	214,87	309,79	524,65	167	160,92	161,24	322,16
20	101,11	156,41	257,53	168	137,51	24,75	162,26
21	163,61	245,25	408,86	169	48,27	8,37	56,64
22	72,32	105,46	177,78	170	214,31	31,13	245,44
23	129,20	188,25	317,45	171	243,57	231,96	475,53
24	93,39	114,49	207,88	172	238,45	20,37	258,82
25	95,50	129,96	225,46	173	204,07	14,16	218,23
26	164,31	187,43	351,74	174	98,01	9,42	107,44
27	0,00	260,71	260,71	175	264,78	18,34	283,12
28	156,59	218,48	375,07	176	40,96	132,03	172,99
29	66,00	249,64	315,64	177	56,17	201,66	257,84
30	62,49	106,32	168,81	178	198,01	240,03	438,04
31	135,52	190,55	326,07	179	214,87	251,34	466,20
32	28,09	174,62	202,70	180	268,44	400,60	669,04
33	128,50	119,97	248,47	181	202,93	252,36	455,29
34	141,14	145,73	286,86	182	259,10	321,08	580,19
35	188,89	202,04	390,92	183	48,45	70,34	118,79
36	44,94	172,05	216,99	184	40,73	651,80	692,52
37	90,58	194,00	284,58	185	129,90	384,37	514,27
38	145,35	232,06	377,41	186	419,20	579,81	999,01
39	186,78	185,21	371,99	187	298,43	412,17	710,60

40	194,50	260,09	454,59	188	27,38	65,73	93,11
41	0,00	69,71	69,71	189	110,24	193,96	304,20
42	29,49	569,99	599,48	190	186,78	636,89	823,67
43	0,00	29,50	29,50	191	257,00	172,45	429,45
44	0,00	28,99	28,99	192	341,96	256,60	598,56
45	0,00	152,98	152,98	193	77,94	258,57	336,51
46	6,32	216,12	222,44	194	2,81	46,73	49,53
47	8,43	73,50	81,92	195	8,43	34,88	43,31
48	12,64	106,60	119,24	196	0,00	64,60	64,60
49	3,51	112,61	116,12	197	11,70	99,83	111,53
50	0,00	98,03	98,03	198	27,79	61,05	88,85
51	57,58	202,74	260,32	199	48,27	41,85	90,12
52	87,07	146,90	233,97	200	87,77	67,80	155,58
53	0,00	111,55	111,55	201	55,59	78,70	134,29
54	2,81	98,97	101,78	202	84,85	176,02	260,87
55	27,38	34,23	61,61	203	56,32	236,59	292,91
56	0,00	64,84	64,84	204	211,39	17,63	229,02
57	4,92	125,93	130,84	205	109,72	111,86	221,57
58	16,15	122,62	138,77	206	328,42	291,70	620,12
59	11,94	102,40	114,34	207	108,98	13,33	122,31
60	9,13	73,60	82,73	208	173,35	106,05	279,40
61	129,90	1 232,19	1 362,10	209	0,00	5,62	5,62
62	18,96	480,11	499,07	210	27,79	2,56	30,35
63	87,04	146,11	233,15	211	181,86	336,17	518,03
64	16,82	94,87	111,70	212	218,70	58,95	277,65
65	159,39	560,04	719,43	213	10,53	891,81	902,34
66	36,57	598,47	635,04	214	123,61	150,66	274,28
67	50,47	303,96	354,43	215	134,58	73,81	208,40
68	612,21	449,11	1 061,33	216	152,14	21,12	173,26
69	258,40	534,90	793,30	217	184,32	21,25	205,58
70	40,73	37,59	78,32	218	82,65	6,16	88,82
71	191,69	604,68	796,37	219	16,82	1,15	17,97
72	160,10	311,18	471,28	220	61,44	2,52	63,96
73	63,90	135,39	199,29	221	15,36	0,68	16,04
74	1,40	298,96	300,36	222	16,09	0,76	16,85
75	201,53	178,95	380,47	223	260,39	107,25	367,65
76	207,85	332,00	539,85	224	0,00	196,52	196,52
77	217,68	332,39	550,06	225	77,53	10,09	87,62
78	15,45	164,95	180,39	226	91,43	8,39	99,82
79	191,64	625,61	817,25	227	79,73	7,65	87,37
80	268,93	500,55	769,48	228	186,52	18,63	205,14
81	242,95	186,18	429,14	229	81,19	10,30	91,49
82	267,53	212,11	479,64	230	75,34	6,73	82,07
83	315,25	610,98	926,23	231	81,19	6,74	87,93
84	203,34	433,76	637,10	232	104,60	16,77	121,37

85	310,13	518,91	829,04	233	59,98	5,93	65,91
86	215,77	440,82	656,60	234	108,98	8,41	117,40
87	100,21	325,66	425,86	235	64,37	6,68	71,04
88	256,00	604,71	860,72	236	114,10	7,70	121,80
89	171,89	461,81	633,69	237	106,06	10,09	116,15
90	86,31	441,85	528,16	238	38,77	6,68	45,45
91	136,78	186,67	323,45	239	138,97	5,92	144,89
92	65,83	12,00	77,83	240	0,00	7,59	7,59
93	117,76	20,26	138,02	241	85,58	7,62	93,20
94	139,70	18,22	157,92	242	100,94	8,44	109,37
95	205,53	22,95	228,48	243	89,24	6,75	95,98
96	358,40	192,47	550,88	244	70,95	7,56	78,51
97	125,08	18,76	143,84	245	118,49	16,90	135,39
98	140,44	15,85	156,29	246	94,36	8,47	102,83
99	147,02	19,73	166,74	247	61,44	5,93	67,37
100	90,70	12,06	102,75	248	53,39	8,45	61,85
101	136,78	21,51	158,29	249	61,44	5,90	67,34
102	209,19	18,71	227,90	250	53,39	8,42	61,82
103	64,37	196,32	260,68	251	181,40	17,45	198,84
104	122,15	20,27	142,42	252	85,58	9,30	94,87
105	204,80	185,97	390,77	253	85,58	8,41	93,99
106	54,86	11,38	66,24	254	57,78	10,11	67,90
107	100,94	83,90	184,84	255	2,93	266,93	269,86
108	106,06	17,10	123,16	256	289,65	40,13	329,77
109	150,68	192,73	343,40	257	317,44	34,75	352,19
110	187,98	46,61	234,59	258	345,97	239,30	585,27
111	119,96	146,12	266,07	259	102,40	11,50	113,90
112	83,38	13,43	96,82	260	3 352,91	157,94	3 510,85
113	99,48	139,75	239,22	261	98,74	11,24	109,98
114	103,13	10,93	114,06	262	69,49	11,25	80,74
115	69,49	10,82	80,31	263	97,28	13,09	110,37
116	10,97	42,12	53,09	264	171,89	23,45	195,34
117	80,46	102,74	183,20	265	76,80	8,43	85,23
118	86,31	161,65	247,96	266	67,29	8,42	75,71
119	114,84	292,86	407,70	267	84,12	9,36	93,47
120	105,33	134,66	239,99	268	83,38	8,43	91,81
121	35,84	49,99	85,83	269	132,39	11,23	143,62
122	236,99	234,95	471,94	270	5,12	163,58	168,70
123	207,73	47,35	255,08	271	98,01	10,30	108,32
124	35,11	6,48	41,59	272	106,06	8,43	114,49
125	133,12	27,59	160,71	273	65,83	10,35	76,18
126	25,60	16,48	42,08	274	124,34	22,52	146,86
127	95,09	20,01	115,10	275	117,76	11,28	129,04
128	125,08	187,54	312,61	276	75,34	10,33	85,66
129	100,21	19,86	120,06	277	87,04	9,63	96,67

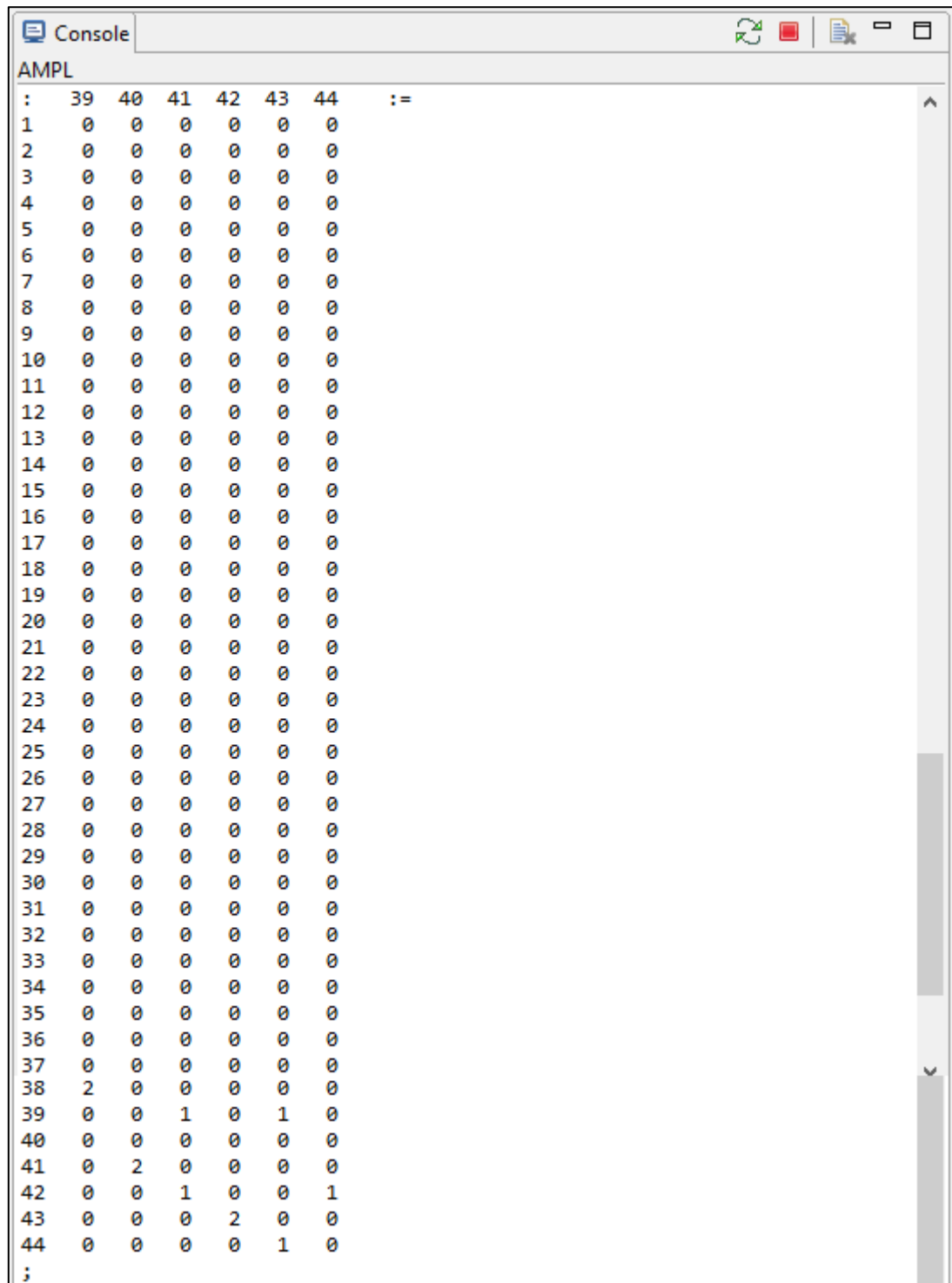
130	120,69	21,72	142,40	278	140,44	15,35	155,78
131	116,30	18,66	134,96	279	101,67	15,14	116,81
132	147,02	28,40	175,42	280	17,55	0,72	18,28
133	144,82	17,73	162,56	281	38,77	1,16	39,92
134	168,23	26,12	194,35	282	25,60	1,72	27,32
135	151,41	215,97	367,37	283	83,38	3,81	87,20
136	117,76	157,42	275,19	284	43,15	2,03	45,19
137	117,76	144,57	262,33	285	35,84	2,29	38,13
138	136,78	20,50	157,28	286	109,72	15,04	124,75
139	80,46	117,54	197,99	287	111,18	10,50	121,67
140	164,57	58,12	222,69	288	90,70	13,17	103,87
141	170,42	24,22	194,64	289	201,15	19,30	220,45
142	161,65	20,45	182,09	290	125,08	14,34	139,42
143	112,64	118,13	230,77	291	83,38	7,66	91,05
144	155,06	23,56	178,63	292	373,56	116,86	490,42
145	93,62	14,15	107,77	293	427,63	16,70	444,33
146	123,61	129,07	252,68	294	514,70	146,32	661,02
147	131,66	14,52	146,18	295	828,72	268,54	1 097,25
148	215,77	21,81	237,58	Total	37 625,67	39 717,05	77 342,72




```

Console
AMPL
: 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 :=
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0 0 0 0 0
17 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
19 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
22 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
23 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
24 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
25 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
26 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
27 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
28 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
29 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
30 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
31 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
32 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
33 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
34 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
35 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
36 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
37 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
38 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
39 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0
40 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
41 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0
42 0 0 0 0 0 0 0 2 0 0
43 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0
44 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0
45 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0
46 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
47 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
48 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
;

```

```
Console
AMPL
: 39 40 41 42 43 44 :=
1 0 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0 0
15 0 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0 0
17 0 0 0 0 0 0
18 0 0 0 0 0 0
19 0 0 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 0 0
22 0 0 0 0 0 0
23 0 0 0 0 0 0
24 0 0 0 0 0 0
25 0 0 0 0 0 0
26 0 0 0 0 0 0
27 0 0 0 0 0 0
28 0 0 0 0 0 0
29 0 0 0 0 0 0
30 0 0 0 0 0 0
31 0 0 0 0 0 0
32 0 0 0 0 0 0
33 0 0 0 0 0 0
34 0 0 0 0 0 0
35 0 0 0 0 0 0
36 0 0 0 0 0 0
37 0 0 0 0 0 0
38 2 0 0 0 0 0
39 0 0 1 0 1 0
40 0 0 0 0 0 0
41 0 2 0 0 0 0
42 0 0 1 0 0 1
43 0 0 0 2 0 0
44 0 0 0 0 1 0
;
```

Anexo F: Resultados de la programación para el Sector 3

```

Console
AMPL
ampl: model RUTA3.mod;
ampl: data RUTA3.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 5192
57 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
ampl: display x;
x [*,*]
:   1   2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  :=
1   0   1   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
2   1   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
3   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0
4   0   0   1   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
5   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0
6   0   0   0   0   1   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0
7   0   1   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
8   1   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0
9   0   0   0   0   0   0   2   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
10  0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   1   0   0   0   0   0   0   0
11  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   1   0   0
12  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   1   1   0   0   0   0
13  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   1   0   0   0
14  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   1   0   0
15  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   1
16  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   2   0
17  0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   1
18  0   0   0   0   0   0   0   2   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
;

```

Anexo G: Resultados de la programación para el Sector 4

```

Console
AMPL
ampl: model RUTA4.mod;
ampl: data RUTA4.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 9888
719 MIP simplex iterations
164 branch-and-bound nodes
ampl: display x;
x [*,*]
:   1   2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19 :=
1   0   2   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
2   0   0   1   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0
3   0   0   0   1   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
4   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0
5   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0
6   0   0   0   1   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
7   0   0   1   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0
8   0   0   0   0   0   0   0   0   2   0   0   0   0   0   0   0   0
9   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0
10  1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0
11  0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   1   0   0   0   0   0
12  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   1   0   0
13  0   0   0   0   1   1   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0
14  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   1   0   0
15  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   1
16  0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   1
17  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0
18  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   2
19  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
20  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0
21  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
22  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
23  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   1
24  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
25  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0
26  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
27  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
28  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
29  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
30  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
31  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
32  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
33  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
34  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
35  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
36  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
37  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
38  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
39  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
40  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
41  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
42  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
43  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
44  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
45  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
46  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
47  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
48  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
49  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0

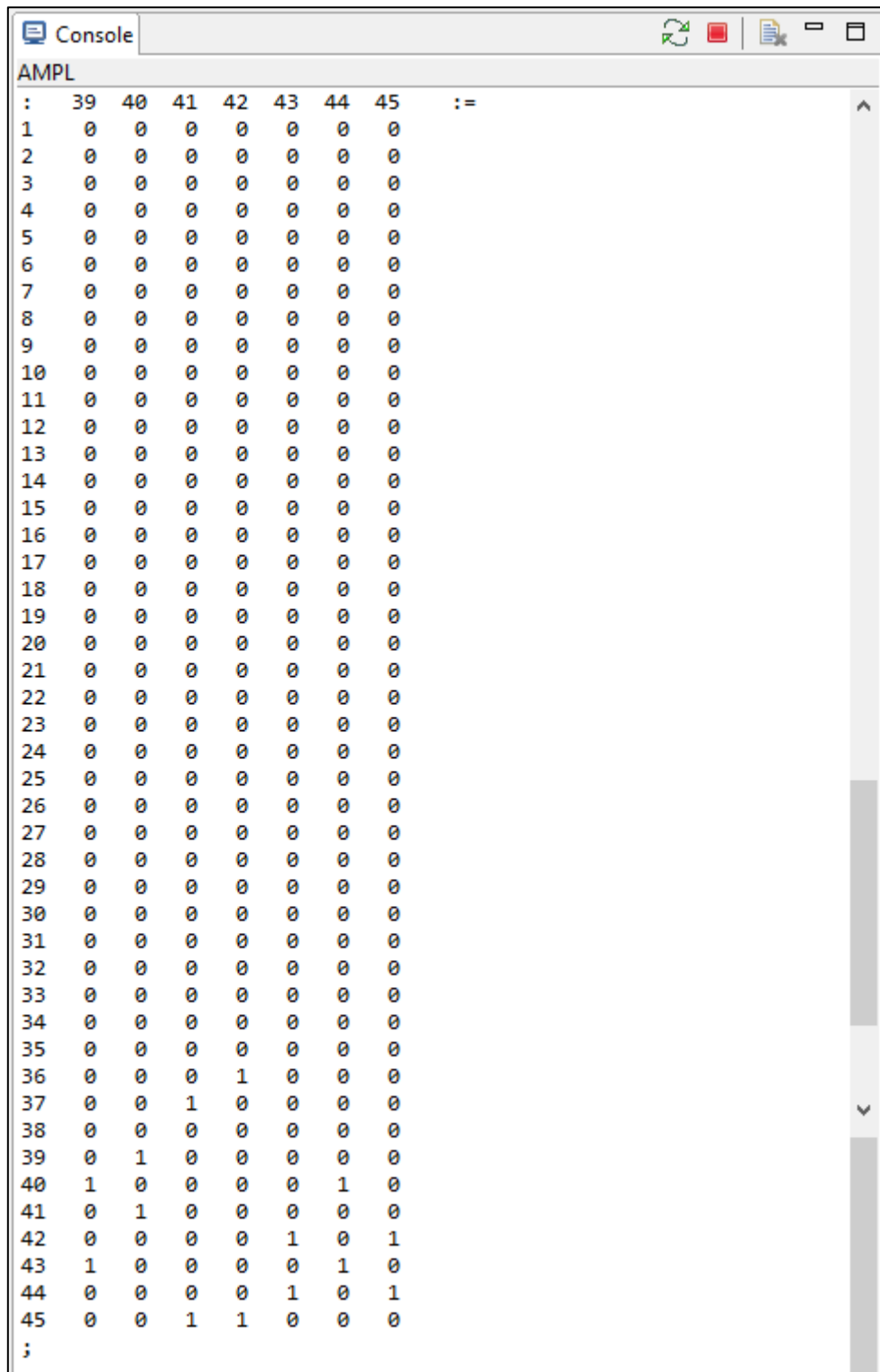
```

Console																			↺	⏹	📄	☰	□	
AMPL																								⬆
:	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	:=	⬆			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
17	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
19	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
21	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	⬆			
22	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
23	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
24	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
25	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
26	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
27	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
28	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
29	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	⬆			
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	⬆			
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	⬆			
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	⬆			
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	⬆			
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	⬆			
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
41	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
43	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⬆			
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	⬆			

```

Console
AMPL
: 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 :=
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
17 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
22 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
23 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
24 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
25 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
26 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
27 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
28 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
29 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
30 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
31 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
32 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
33 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
34 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
35 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
36 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
37 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
38 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1
39 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
40 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
41 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
42 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0
43 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
44 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0
45 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0
46 0 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0
47 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1
48 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
49 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
;

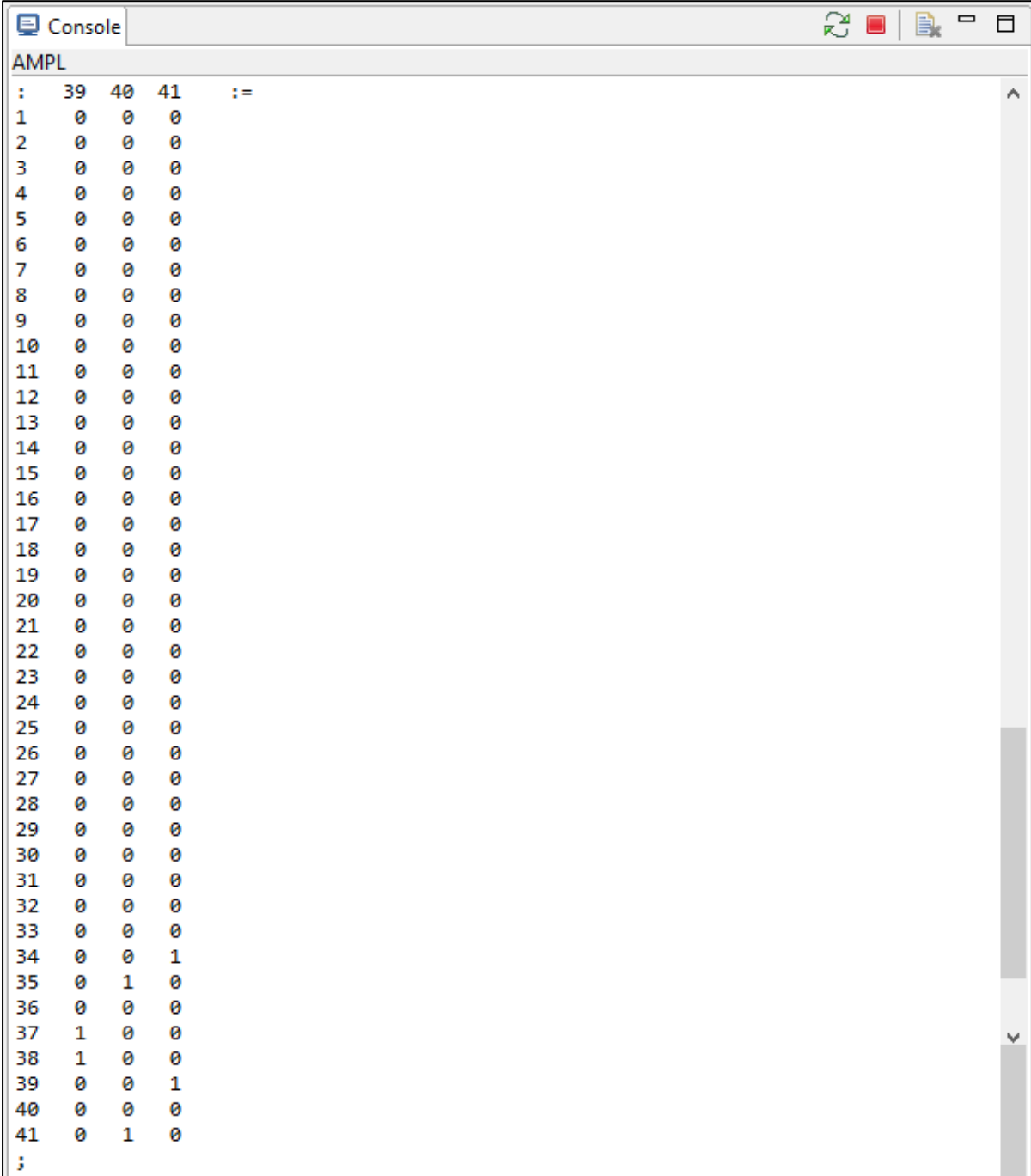
```

```
Console
AMPL
: 39 40 41 42 43 44 45 :=
1 0 0 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0 0 0
15 0 0 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0 0 0
17 0 0 0 0 0 0 0
18 0 0 0 0 0 0 0
19 0 0 0 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 0 0 0
22 0 0 0 0 0 0 0
23 0 0 0 0 0 0 0
24 0 0 0 0 0 0 0
25 0 0 0 0 0 0 0
26 0 0 0 0 0 0 0
27 0 0 0 0 0 0 0
28 0 0 0 0 0 0 0
29 0 0 0 0 0 0 0
30 0 0 0 0 0 0 0
31 0 0 0 0 0 0 0
32 0 0 0 0 0 0 0
33 0 0 0 0 0 0 0
34 0 0 0 0 0 0 0
35 0 0 0 0 0 0 0
36 0 0 0 1 0 0 0
37 0 0 1 0 0 0 0
38 0 0 0 0 0 0 0
39 0 1 0 0 0 0 0
40 1 0 0 0 0 1 0
41 0 1 0 0 0 0 0
42 0 0 0 0 1 0 1
43 1 0 0 0 0 1 0
44 0 0 0 0 1 0 1
45 0 0 1 1 0 0 0
;
```



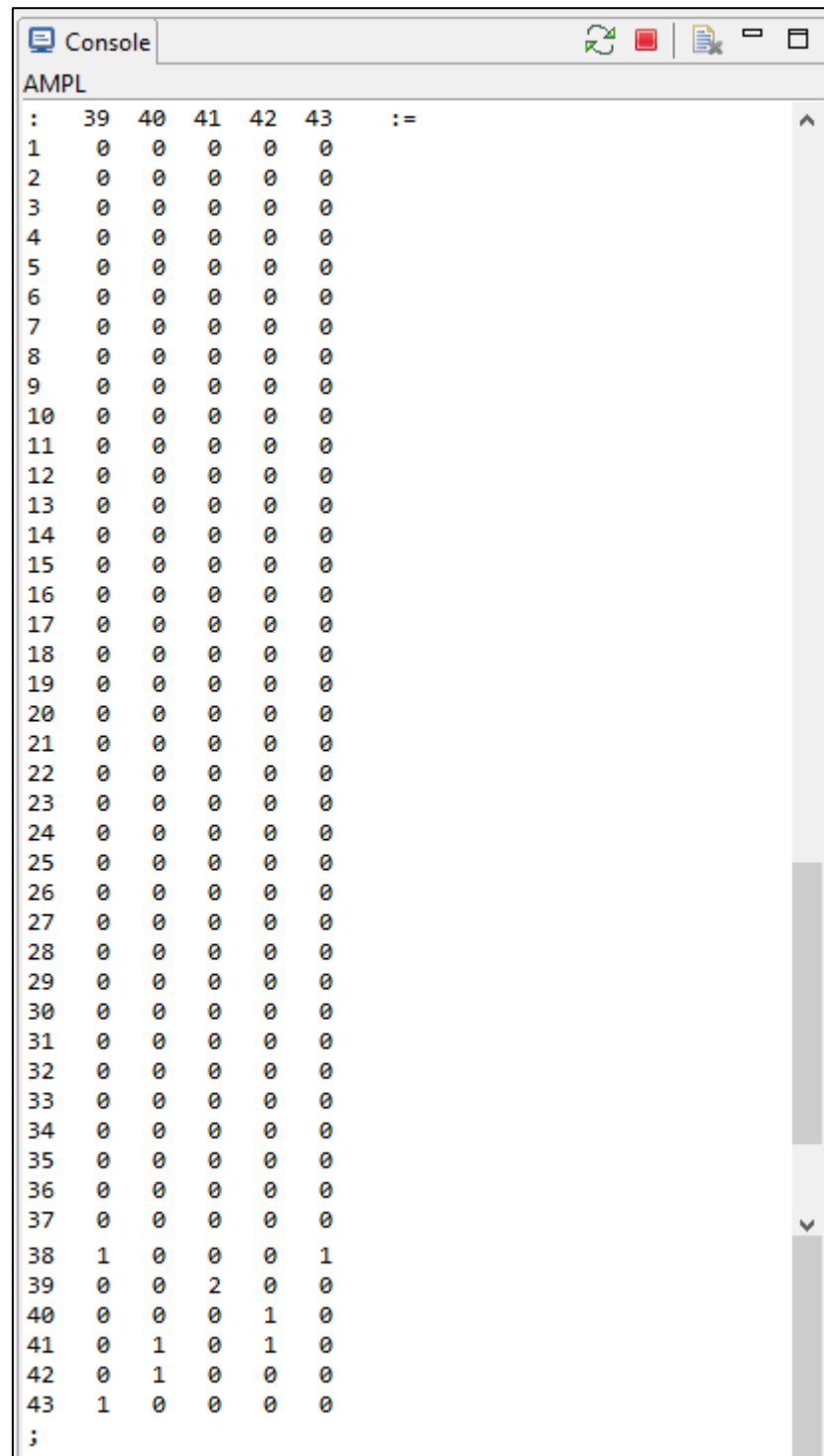
```
Console
AMPL
: 39 40 41 42 43 :=
1 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0
15 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0
17 0 0 0 0 0
18 0 0 0 0 0
19 0 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 0
22 0 0 0 0 0
23 0 0 0 0 0
24 0 0 0 0 0
25 0 0 0 0 0
26 0 0 0 0 0
27 0 0 1 0 0
28 0 1 0 0 0
29 0 0 0 0 0
30 0 0 0 0 0
31 0 0 0 0 0
32 0 0 0 0 0
33 0 0 0 0 0
34 0 0 0 0 0
35 0 0 0 0 0
36 0 0 0 0 0
37 0 0 0 0 1
38 0 0 0 0 0
39 0 1 0 0 0
40 0 0 0 1 0
41 0 0 0 1 0
42 0 0 1 0 1
43 2 0 0 0 0
;
```

```
Console
AMPL
:   39  40  41   :=
1   0   0   0
2   0   0   0
3   0   0   0
4   0   0   0
5   0   0   0
6   0   0   0
7   0   0   0
8   0   0   0
9   0   0   0
10  0   0   0
11  0   0   0
12  0   0   0
13  0   0   0
14  0   0   0
15  0   0   0
16  0   0   0
17  0   0   0
18  0   0   0
19  0   0   0
20  0   0   0
21  0   0   0
22  0   0   0
23  0   0   0
24  0   0   0
25  0   0   0
26  0   0   0
27  0   0   0
28  0   0   0
29  0   0   0
30  0   0   0
31  0   0   0
32  0   0   0
33  0   0   0
34  0   0   1
35  0   1   0
36  0   0   0
37  1   0   0
38  1   0   0
39  0   0   1
40  0   0   0
41  0   1   0
;
```



```
Console
AMPL
: 39 40 41 :=
1 0 0 0
2 0 0 0
3 0 0 0
4 0 0 0
5 0 0 0
6 0 0 0
7 0 0 0
8 0 0 0
9 0 0 0
10 0 0 0
11 0 0 0
12 0 0 0
13 0 0 0
14 0 0 0
15 0 0 0
16 0 0 0
17 0 0 0
18 0 0 0
19 0 0 0
20 0 0 0
21 0 0 0
22 0 0 0
23 0 0 0
24 0 0 0
25 0 0 0
26 0 0 0
27 0 0 0
28 0 0 0
29 0 0 0
30 0 0 0
31 0 0 0
32 0 0 0
33 0 0 0
34 0 0 1
35 0 1 0
36 0 0 0
37 1 0 0
38 1 0 0
39 0 0 1
40 0 0 0
41 0 1 0
;
```

```
Console
AMPL
: 39 40 41 42 43 :=
1 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0
15 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0
17 0 0 0 0 0
18 0 0 0 0 0
19 0 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 0
22 0 0 0 0 0
23 0 0 0 0 0
24 0 0 0 0 0
25 0 0 0 0 0
26 0 0 0 0 0
27 0 0 0 0 0
28 0 0 0 0 0
29 0 0 0 0 0
30 0 0 0 0 0
31 0 0 0 0 0
32 0 0 0 0 0
33 0 0 0 0 0
34 0 0 0 0 0
35 0 0 0 0 0
36 0 0 0 0 0
37 0 0 0 0 0
38 1 0 0 0 1
39 0 0 2 0 0
40 0 0 0 1 0
41 0 1 0 1 0
42 0 1 0 0 0
43 1 0 0 0 0
;
```

Anexo L: Resultados de la programación para el Sector 9

```

Console
AMPL
ampl: model RUTA9.mod;
ampl: data RUTA9.dat;
ampl: option solver cplex;
ampl: solve;
CPLEX 22.1.1.0: optimal integer solution; objective 6585
23 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
ampl: display x;
x [*,*]
:   1   2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14  15  16  17   :=
1   0   1   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
2   1   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
3   0   0   0   2   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
4   0   1   0   0   1   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
5   0   0   0   1   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
6   0   0   1   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0
7   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   2   0
8   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0
9   0   0   0   0   0   0   1   0   0   1   0   0   0   0   0   0
10  0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0
11  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0
12  0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   1   0   0   0   0   0
13  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0
14  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   1   0   0   0
15  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   1
16  1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0
17  0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1
;

```