



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**TESIS**

---

**“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE RECOJO DE RESIDUOS  
SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO, 2018”**

---

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**Presentada por:**

Bach. Yovany León Martínez

Bach. Aderly Quispe Puma

**Asesor:**

Ing. Arturo Chuquimia Hurtado

**CUSCO-PERÚ**

**2019**



A mis padres, Jorge León Marocho y Serapia Martínez Centeno, por ser los pilares fundamentales de todo cuanto soy: mi educación de vida y académica; y por su apoyo incondicional desde siempre.

Bach. Yovany León Martínez.

A mi asesor, por la paciencia que tuvo durante la elaboración de la tesis, por contribuir con sus conocimientos al desarrollo del tema, y por su permanente aliento y constante apoyo, entendimiento y lucidez.

También a mis amigos, con quienes compartí alegrías y tristezas durante mi formación. Siempre los llevaré en mi corazón.

Bach. Aderly Quispe Puma.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco, sobre todo, el apoyo permanente de mis padres, quienes siempre estuvieron a mi lado mientras me formaba como ingeniero industrial, desde el inicio hasta el final.

Gracias a mis hermanos, quienes me dieron el ejemplo de superación y hoy son mi orgullo.

Gracias infinitas a nuestro asesor, Ing. Arturo Chuquimia Hurtado, por su enorme aporte e importantes sugerencias durante el desarrollo de la investigación.

Quiero también agradecer, con especial afecto, a mi compañero y amigo Aderly, Quispe Puma, con quien pasé buenos e inolvidables momentos, dentro y fuera de la universidad.

Bach. Yovany León Martínez.

Expreso un profundo agradecimiento a mi familia, por ayudarme a cumplir mis sueños, y a la Universidad Andina del Cusco, por apoyarme en mi formación profesional.

Bach. Aderly Quispe Puma.



## RESUMEN

Este trabajo de investigación estudió el empleo de la herramienta llamada programación lineal para mejorar las condiciones actuales de las rutas de recolección de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo. A través del modelamiento gráfico sobre tomas aéreas del área puesta a estudio, se pudo caracterizar la situación actual del flujo de los camiones recolectores de residuos sólidos sobre las 15 diferentes trayectorias determinadas por las autoridades municipales. Fue necesario aplicar el método del agente viajero y recorrer las rutas junto con el personal de limpieza pública, se anotaron algunas observaciones y se recopilaron datos con un GPS para ubicar con precisión cada uno de los puntos de paso de los vehículos. Tras analizar las condiciones vigentes, se procedió a utilizar la programación lineal para realizar el modelamiento de los flujos de ruta procurando los recorridos más cortos posible con la finalidad de reducir las distancias y, por consiguiente, la cantidad de combustible consumido para cubrir dichas rutas.

Luego se compararon los resultados hallados con rutas en condiciones actuales y con rutas mejoradas. Los resultados acumulados totales por mes arrojaron como resultado una disminución de 268.288 km lineales con la propuesta mejorada respecto a las condiciones actuales de operación de rutas. Las distancias recorridas se redujeron en una proporción de 4.31%.

Como la distancia recorrida por un vehículo automotor es directamente proporcional al consumo de combustible, se pudo comprobar la reducción de gastos de operación de los camiones y se comprobó que existe una cantidad de dinero que puede ahorrar la autoridad prestadora del servicio.

Finalmente, se pudo mejorar el rendimiento en términos de la reducción de distancias y consumo de combustible en una proporción de 4.54% con la metodología propuesta por la tesis.

**Palabras clave:** Residuos sólidos, programación lineal, recolección, camión recolector, ruta, mejoramiento, distancia, nodos, rendimiento, costo.



## SUMMARY

This research work studied the use of the tool called linear programming to improve the current conditions of solid waste collection routes in the district of San Jerónimo. Through the graphic modeling on aerial shots of the area under study, the current situation of the flow of solid waste collection trucks could be characterized on the 15 different trajectories determined by the municipal authorities. It was necessary to apply the traveling agent method and travel the routes together with the public cleaning personnel, some observations were recorded and data were collected with a GPS to locate each of the vehicles' crossing points with precision. After analyzing the current conditions, linear programming was used to model the route flows, taking the shortest possible routes in order to reduce distances and, consequently, the amount of fuel consumed to cover these routes.

Then the results found were compared with routes under current conditions and with improved routes. The total accumulated results per month resulted in a decrease of 268,288 linear km with the improved proposal compared to the current operating conditions of routes. The distances traveled were reduced by a proportion of 4.31%.

As the distance traveled by a motor vehicle is directly proportional to the fuel consumption, it was possible to verify the reduction of operating expenses of the trucks and it was found that there is an amount of money that the service provider can save.

Finally, the performance could be improved in terms of the reduction of distances and fuel consumption in a proportion of 4.54% with the methodology proposed by the thesis.

**Keywords:** Solid waste, linear programming, collection, collection truck, route, improvement, distance, nodes, performance, cost.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el sistema de recolección de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo, en la ciudad del Cusco, durante el 2018, se viene desarrollando con una serie de falencias que son susceptibles de rectificación. Durante las visitas a campo, se detectó que las rutas de recolección de desechos que recorren los camiones compactadores fluyen por sectores donde los vehículos y el personal de limpieza pública no tienen asignada labor alguna; y que muchas veces se repite el paso por muchas calles y avenidas del distrito, lo cual incrementa de manera considerable los gastos de operación de dicho servicio.

Esta tesis se desarrolló con la finalidad de corregir prácticas indebidas observadas durante la labor de recolección y transporte de residuos sólidos que se generan principalmente debido a la acumulación de basura en las calles de dicho distrito. Con ayuda de la programación lineal se mejoraron las operaciones de recolección de residuos sólidos y se pudo establecer un plan de rutas que se caracteriza por determinar el recorrido más óptimo de los camiones recolectores para cubrir una distancia total mínima de recolección, teniendo en cuenta las capacidades de carga, características físicas de las vías, entre otros aspectos relevantes.

Para alcanzar los objetivos de la investigación, el trabajo se dividió en cinco capítulos: El Capítulo I se enfoca en el análisis y formulación del problema general y problemas específicos, justificación, objetivo general y objetivos específicos, y limitaciones de la investigación. El Capítulo II desarrolla el marco teórico, aspecto fundamental para entender de manera apropiada cada uno de los apartados que constituyen la tesis, así como los antecedentes de la investigación; luego se esgrimieron las hipótesis de la investigación, variables de estudio y, finalmente, la definición de los términos básicos. El Capítulo III contempla los aspectos metodológicos que confieren a la tesis el nivel científico; también se determinó la población y muestra, y técnicas e instrumentos utilizados en la investigación. El Capítulo IV muestra los resultados más importantes obtenidos, lo cual comprende un análisis del sistema de recolección de residuos sólidos ajustado a las propuestas de los investigadores. Aquí se describe, a través de la herramienta de programación lineal, la situación actual de las 15 rutas de recolección de desechos. Posteriormente se muestra la metodología desarrollada para aligerar el flujo de las rutas, con la finalidad de mejorar los recorridos. El Capítulo V contempla la discusión de los resultados encontrados.

Finalmente se enunciaron las conclusiones y recomendaciones, que confieren solidez y efectividad al trabajo de investigación desarrollado.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....i

AGRADECIMIENTOS .....ii

RESUMEN .....iii

SUMMARY .....iv

INTRODUCCIÓN ..... v

ÍNDICE GENERAL .....vi

ÍNDICE DE TABLAS ..... x

ÍNDICE DE FIGURAS .....xi

CAPÍTULO I ..... 1

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 1

1.1. Planteamiento del Problema ..... 1

1.2. Formulación del Problema ..... 5

1.2.1. Problema general ..... 5

1.2.2. Problemas específicos..... 5

1.3. Justificación ..... 5

1.3.1. Conveniencia ..... 5

1.3.2. Relevancia social ..... 5

1.3.3. Implicancias prácticas..... 6

1.3.4. Valor teórico ..... 6

1.3.5. Utilidad metodológica ..... 6

1.4. Objetivos de la Investigación..... 6

1.4.1. Objetivo general ..... 6

1.4.2. Objetivos específicos ..... 7

1.5. Delimitaciones del estudio ..... 7

1.5.1. Delimitación espacial ..... 7

1.5.2. Delimitación temporal ..... 7

1.5.3. Delimitación por agentes adversos al estudio..... 7

CAPÍTULO II ..... 8

MARCO TEÓRICO ..... 8

2.1. Antecedentes de la investigación..... 8

2.1.1. Antecedentes nacionales ..... 8

2.1.2. Antecedentes Internacionales ..... 11



2.1.3. Contexto de la investigación.....	17
2.2. Base teórica.....	17
2.2.1. Optimización de rutas.....	17
2.2.2. Problema de optimización.....	17
2.2.3. El alcance de la optimización.....	18
2.2.4. Algoritmos de optimización de rutas.....	19
2.2.5. Investigación de operaciones.....	20
2.2.6. Programación lineal.....	21
2.2.7. Programación matemática.....	22
2.2.8. Modelo de programación matemática.....	23
2.2.9. Formulación matemática.....	23
2.2.10. Residuos sólidos municipales.....	24
2.2.11. Etapas de un Sistema de Gestión Integral de Residuos.....	29
2.3. Formulación de la hipótesis.....	33
2.3.1. Hipótesis general.....	33
2.4. Variables.....	33
2.4.1. Variables.....	33
2.4.2. Operacionalización de Variables.....	34
2.5. Definición de los términos básicos.....	35
2.5.1. Arcos.....	35
2.5.2. Equipos especializados para la recolección de residuos sólidos.....	35
2.5.3. Macrorroteo.....	35
2.5.4. Microrroteo.....	35
2.5.5. Nodos.....	35
2.5.6. Optimización.....	36
2.5.7. Sectorización.....	36
CAPÍTULO III.....	37
METODOLOGÍA.....	37
3.1. Tipo de investigación.....	37
3.2. Nivel de la investigación.....	37
3.3. Diseño de la investigación.....	37
3.4. Enfoque de la investigación.....	37
3.5. Población y muestra de la investigación.....	38
3.5.1. Población.....	38
3.5.2. Muestra.....	38
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.7. Procesamiento de datos.....	40





CAPÍTULO IV .....42

RESULTADOS .....42

4.1. Percepción local del servicio de recolección de residuos sólidos ..... 42

4.2. Encuesta de opinión acerca del servicio de recolección de residuos sólidos ..... 43

4.2.1. Información general..... 43

4.2.2. Información sobre la generación de residuos sólidos urbanos ..... 46

4.2.3. Información sobre el tratamiento que la población da a los residuos sólidos ..... 47

4.2.4. Percepción de la población acerca del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos..... 53

4.3. Capacidad actual de maquinaria ..... 57

4.4. Situación actual de las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de San Jerónimo ..... 58

4.4.1. Situación actual de la ruta n.º 1 ..... 59

4.4.2. Situación actual de la ruta n.º 2 ..... 66

4.4.3. Situación actual de la ruta n.º 3 ..... 71

4.4.4. Situación actual de la ruta n.º 4 ..... 76

4.4.5. Situación actual de la ruta n.º 5 ..... 80

4.4.6. Situación actual de la ruta n.º 6 ..... 86

4.4.7. Situación actual de la ruta n.º 7 ..... 91

4.4.8. Situación actual de la ruta n.º 8 ..... 96

4.4.9. Situación actual de la ruta n.º 9 ..... 102

4.4.10. Situación actual de la ruta n.º 10 ..... 107

4.4.11. Situación actual de la ruta n.º 11 ..... 112

4.4.12. Situación actual de la ruta n.º 12 ..... 117

4.4.13. Situación actual de la ruta n.º 13 ..... 122

4.4.14. Situación actual de la ruta n.º 14 ..... 127

4.4.15. Situación actual de la ruta n.º 15 ..... 131

4.5. Propuesta de mejoramiento para las rutas de recolección de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo ..... 136

4.5.1. Propuesta de mejora para la ruta n.º 1 ..... 136

4.5.2. Propuesta de mejora para la ruta n.º 2 ..... 142

4.5.3. Propuesta de mejora para la ruta n.º 3 ..... 147

4.5.4. Propuesta de mejora para la ruta n.º 4 ..... 152

4.5.5. Propuesta de mejora para la ruta n.º 5 ..... 156

4.5.6. Propuesta de mejora para la ruta n.º 6 ..... 161

4.5.7. Propuesta de mejora para la ruta n.º 7 ..... 166

4.5.8. Propuesta de mejora para la ruta n.º 8 ..... 171

4.5.9. Propuesta de mejora para la ruta n.º 9 ..... 177



4.5.10. Propuesta de mejora para la ruta n.º 10 .....	182
4.5.11. Propuesta de mejora para la ruta n.º 11 .....	187
4.5.12. Propuesta de mejora para la ruta n.º 12 .....	192
4.5.13. Propuesta de mejora para la ruta n.º 13 .....	197
4.5.14. Propuesta de mejora para la ruta n.º 14 .....	202
4.5.15. Propuesta de mejora para la ruta n.º 15 .....	206
4.6. Traslado de los residuos sólidos al relleno sanitario de Jaquira .....	211
4.7. Distancia recorrida por los camiones recolectores de residuos sólidos urbanos .....	213
4.7.1. Situación con las rutas vigentes .....	213
4.7.2. Situación con las rutas propuestas .....	214
4.7.3. Comparación de resultados .....	214
4.7.4. Diferencia porcentual total entre el escenario actual y la propuesta .....	215
4.8. Combustible utilizado por los camiones recolectores de residuos sólidos urbanos ....	216
4.8.1. Consumo con las rutas vigentes .....	216
4.8.2. Consumo con las propuestas de rutas .....	217
4.8.3. Comparación de resultados .....	218
4.9. Rendimiento .....	219
4.9.1. Rendimiento en función al consumo de combustible .....	219
CAPÍTULO V .....	221
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	221
CONCLUSIONES .....	224
RECOMENDACIONES .....	226
BIBLIOGRAFÍA .....	227
ANEXOS .....	229
A. Matriz de consistencia .....	230
B. Matriz del instrumento para la recolección de datos .....	231
C. Encuesta .....	232
D. Guías de observación .....	235
E. Panel fotográfico: Recolección y disposición final de los residuos sólidos .....	236



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de variables..... 34

Tabla 2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... 39

Tabla 3. Pregunta N° 1: Sexo del encuestado..... 43

Tabla 4. Pregunta N° 2: ¿Quién es el jefe de familia en casa? ..... 44

Tabla 5. Pregunta N° 3: ¿Cuál es el grado de instrucción del jefe de familia? ..... 45

Tabla 6. Pregunta N° 4. ¿Qué tipo de residuos desecha más en casa? ..... 46

Tabla 7. Pregunta N° 5: ¿En qué tipo de recipiente acumula los residuos en casa?..... 47

Tabla 8. Pregunta N° 6: ¿En qué lugar de la casa se ubica el recipiente de residuos sólidos?. 48

Tabla 9. Pregunta N° 7: Cuando la basura se acumula durante varios días, ¿qué hace con ella?  
..... 49

Tabla 10. Pregunta N° 8: ¿Por qué cree que la basura se acumula en las calles? ..... 50

Tabla 11. Pregunta N° 9: ¿Estaría Ud. dispuesto a separar sus residuos sólidos para facilitar su reciclaje?..... 51

Tabla 12. Pregunta N° 10: ¿Quién realiza el servicio de recolección de residuos sólidos en su barrio?..... 53

Tabla 13. Pregunta N° 11: ¿Con qué frecuencia cree Ud. que el camión recolector debería pasar por su sector? ..... 54

Tabla 14. Pregunta 13: ¿Está Ud. satisfecho con el servicio de recolección de residuos sólidos que presta la municipalidad del distrito?..... 55

Tabla 15. Detalles del sistema de recolección de residuos sólidos por vehículo recolector, capacidad y tiempo de trabajo. .... 57

Tabla 16. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 1..... 64

Tabla 17. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 2..... 70

Tabla 18. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 3..... 75

Tabla 19. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 4..... 79

Tabla 20. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 5..... 84

Tabla 21. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 6..... 90

Tabla 22. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 7..... 95

Tabla 23. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 8..... 100

Tabla 24. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 9..... 106

Tabla 25. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 10..... 110

Tabla 26. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 11..... 115

Tabla 27. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 12..... 121

Tabla 28. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 13..... 125

Tabla 29. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 14..... 130

Tabla 30. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 15..... 134

Tabla 31. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 1. .... 140

Tabla 32. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 2. .... 145

Tabla 33. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 3. .... 150

Tabla 34. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 4. .... 155

Tabla 35. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 5. .... 159

Tabla 36. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 6. .... 164



Tabla 37. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 7. .... 169

Tabla 38. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 8. .... 175

Tabla 39. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 9. .... 180

Tabla 40. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 10. .... 185

Tabla 41. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 11. .... 190

Tabla 42. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 12. .... 195

Tabla 43. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 13. .... 200

Tabla 44. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 14. .... 205

Tabla 45. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 15. .... 209

Tabla 46. Distancias recorridas por los camiones recolectores con las rutas actuales. .... 213

Tabla 47. Distancias recorridas por los camiones recolectores con las rutas propuestas. .... 214

Tabla 48. Comparación de resultados de distancia recorrida con la situación vigente y con la propuesta de mejora de rutas. .... 215

Tabla 49. Cálculo de la diferencia promedio de las distancias acumuladas mensuales por ruta de recolección de residuos sólidos. .... 216

Tabla 50. Consumo de combustible por mes bajo la situación vigente. .... 217

Tabla 51. Consumo de combustible por mes bajo la propuesta. .... 217

Tabla 52. Diferencia del consumo de combustible entre la situación vigente y la propuesta. .... 218

Tabla 53. Incremento del rendimiento respecto a las distancias actuales por camión recolector de residuos sólidos. .... 219

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de rutas de recolección de residuos sólidos. .... 4

Figura 2. Manejo integral y sostenible de los residuos sólidos. .... 26

Figura 3. Flujograma del proceso de recolección de residuos sólidos por ruta. .... 28

Figura 4. Etapas de un sistema integral de gestión de residuos sólidos. .... 32

Figura 5. GPS Garmin 64s Map, empleado en la verificación de rutas. .... 39

Figura 6. Laptop que se utilizó para ejecutar todos los componentes informáticos que se emplearon en la investigación. .... 40

Figura 7. Sexo del encuestado. .... 43

Figura 8. El jefe de familia en casa. .... 44

Figura 9. Grado de instrucción del jefe de familia. .... 45

Figura 10. Tipo de residuos sólidos generados en casa. .... 46

Figura 11. Recipiente donde se acumulan los residuos en casa. .... 47

Figura 12. Ubicación del recipiente de residuos en casa. .... 49

Figura 13. Acciones ante la acumulación de residuos sólidos en casa. .... 50

Figura 14. Causas de la acumulación de residuos sólidos en las calles. .... 51

Figura 15. Opinión de las personas sobre la posibilidad separar residuos sólidos. .... 52

Figura 16. Encargado de la recolección de residuos sólidos. .... 53

Figura 17. Preferencias sobre la frecuencia de recolección de residuos sólidos. .... 54



Figura 18. Satisfacción de las personas con el servicio de recolección de residuos. .... 55

Figura 19. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 1. .... 60

Figura 20. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 2. .... 67

Figura 21. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 3. .... 72

Figura 22. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 4. .... 77

Figura 23. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 5. .... 81

Figura 24. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 6. .... 87

Figura 25. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 7. .... 92

Figura 26. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 8. .... 97

Figura 27. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 9. .... 103

Figura 28. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 10. .... 108

Figura 29. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 11. .... 113

Figura 30. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 12. .... 118

Figura 31. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 13. .... 123

Figura 32. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 14. .... 128

Figura 33. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 15. .... 132

Figura 34. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 1. .... 137

Figura 35. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 2. .... 143

Figura 36. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 3. .... 148

Figura 37. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 4. .... 153

Figura 38. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 5. .... 157

Figura 39. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 6. .... 162

Figura 40. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 7. .... 167

Figura 41. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 8. .... 172

Figura 42. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 9. .... 178

Figura 43. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 10. .... 183

Figura 44. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 11. .... 188

Figura 45. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 12. .... 193

Figura 46. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 13. .... 198

Figura 47. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 14. .... 203

Figura 48. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 15. .... 207

Figura 49. Ruta convencional hacia el relleno sanitario de Jaquira. .... 211

Figura 50. Constancia de validación de instrumentos. .... 232



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del Problema

El manejo y disposición de los residuos sólidos municipales (RSM) en América Latina y el Caribe es un problema complejo y ha evolucionado junto al progreso de la urbanización, desarrollo económico y niveles de industrialización. El manejo de residuos sólidos municipales es un tema delicado, por eso no es suficiente conocer únicamente aspectos técnicos de la recolección, limpieza de calles y disposición final; se requiere también aplicar los nuevos conceptos relacionados al financiamiento de los servicios, los enfoques de descentralización y mayor participación del sector privado, los factores concomitantes de salud, del ambiente, de pobreza en áreas marginales urbanas y de educación y participación comunitaria (OEFA, 2014).

El problema que implica la presencia de residuos sólidos municipales ha sido identificado desde hace varias décadas, sobre todo en áreas metropolitanas, sin embargo las acciones para mitigar su impacto logradas hasta ahora no comprenden a todos los países y la mayoría de ciudades intermedias y menores de la Región aún sufren sus efectos, lo cual convierte al problema de los residuos en motivo permanente de discusión política y en la mayoría de casos se generan conflictos sociales.

Por otra parte, la generación y manejo de residuos sólidos especiales, como los residuos de hospitales e industriales peligrosos, están afectando en mayor o menor grado la administración de los residuos sólidos municipales. Esto último se ha visto comprometido con la recepción, tolerada o ilegal, de cantidades apreciables de desechos nocivos para la salud humana y el ambiente, cuyo manejo tiene características más complejas (OEFA, 2014)

Para OEFA (2014), en el Perú existen diez rellenos sanitarios autorizados y en funcionamiento para una población que supera los treinta y dos millones de habitantes. Esta situación demuestra que existen graves problemas que impiden la rápida implementación de infraestructuras para la adecuada disposición final de los residuos sólidos. Para superar estas dificultades, es necesario contar con la participación de todos los niveles del sector público, las empresas y organizaciones privadas y la ciudadanía en general.

A las autoridades regionales y locales competen los asuntos sociales, económicos y ambientales vinculados a la gestión de residuos sólidos, donde según las variaciones del hábito del consumo se incrementa la generación de una gran cantidad de residuos sólidos. Sin embargo, no hay



evidencia de un cambio en la gestión y manejo de los residuos sólidos, los cuales en muchos casos generan la ruptura del equilibrio entre el ecosistema y las actividades humanas. Para lograr que los residuos no produzcan impactos negativos en el ambiente, deben gestionarse adecuadamente antes de proceder a su disposición final.

El manejo de los residuos sólidos municipales puede ser realizado por la propia municipalidad y por una entidad prestadora de servicios de residuos sólidos (EPS-RS) contratada por ella, como empresa privada o mixta, y debe desarrollarse de manera sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de prevención de impactos negativos y protección de la salud (OEFA, 2014).

Actualmente, en Cusco las indebidas prácticas en la recolección y transporte de los residuos sólidos se consolidan como uno de los problemas ambientales locales más grandes, que afecta a la mayoría de comunidades. Así, no sólo se afecta a la salud humana sino también hay una estrecha relación con la generación de contaminación atmosférica, del suelo y de aguas superficiales y subterráneas; asimismo, contribuye a la proliferación de roedores, moscas, cucarachas y otros, los cuales se eventualmente se convierten en vectores de transmisión de diferentes tipos de enfermedades.

En el distrito de San Jerónimo los residuos sólidos se generan en las viviendas familiares, centros de salud, mercados, espacios públicos, granjas y áreas de uso agrícola. La Municipalidad proporciona los servicios limpieza mediante barrido, recolección y disposición final de residuos en forma diaria; sin embargo, se puede observar la acumulación de basura en el distrito. Esto se debe a los malos hábitos de la población que arroja los residuos en las calles, espacios públicos, en la carretera y en las orillas de los ríos, sin esperar al camión recolector. Otro mal hábito es la incineración de basura, que es una actividad altamente contaminante. Por otro lado, la presencia de fuertes vientos genera la propagación de olores y la diseminación de desperdicios se da también por la alta presencia de perros en las calles.

Hay dos condicionantes operativos obvios: en primer lugar, los camiones tienen una capacidad limitada y, por lo tanto, la carga total que se recoge en una ruta no puede sobrepasar dicha capacidad; en segundo lugar, la jornada de trabajo de los operarios que van en cada camión no puede superar determinadas horas e inevitablemente hay que limitar el trabajo de cada unidad a esa jornada laboral. Cabe destacar que la primera premisa se enfoca sobre las rutas y la segunda sobre el número de camiones que no se abastecen para cubrir el número de rutas. Como



consecuencia puede darse el caso que en la configuración óptima existan camiones que cubran más de una ruta para poder completar la jornada laboral de otros camiones.

En los últimos años la Municipalidad de San Jerónimo viene haciendo esfuerzos por mejorar el servicio de recolección de residuos sólidos, para lo cual cuenta con cinco vehículos compactadores para servir a las zonas urbanas.

El problema del servicio de recolección de residuos sólidos se resume en los siguientes aspectos principales:

- No se cuenta con personal suficiente dedicado por completo a esta tarea, lo que trae como consecuencia que no toda la población esté satisfecha con el servicio y sea deficiente en ciertos sectores, sobre todo en la parte rural del distrito.
- Falta de aplicación de nuevas técnicas sobre el manejo de residuos sólidos.
- Poca concientización ambiental sobre la comunidad para el plan de rutas.
- Excesivo consumo de combustible por recorridos innecesarios de las unidades.
- Depreciación de las unidades.
- Falta de unidades motorizadas para el recojo de residuos sólidos.

El crecimiento poblacional y urbano del distrito ha determinado nuevas rutas de atención en sectores que se vienen creando y consolidando. La cobertura estimada del servicio de barrido es de 84 km/día. A pesar de los esfuerzos que realiza la Municipalidad de San Jerónimo aún se tiene un déficit de atención en algunos sectores del distrito, especialmente en los asentamientos humanos y asociaciones de vivienda de reciente creación debido a la expansión urbana.

Los trabajos cotidianos los ejecuta la división de limpieza pública a través del departamento de relleno sanitario, personal que está encargado de la programación, control técnico operativo, monitoreo y supervisión de las actividades. La programación se realiza por rutas previamente definidas; el servicio se presta dos veces a la semana, por lo que se trabaja de lunes a sábado.

El distrito está dividido en dos (02) sectores: sector de la margen derecha y sector de la margen izquierda. La recolección de los residuos domiciliarios y comerciales se realiza en el turno diurno con una frecuencia de dos veces por semana mediante el método de campaneo. Se recorre todo el distrito utilizando para ello cinco (05) unidades compactadoras, cada unidad realiza un (01) viaje por ruta; sin embargo, si es necesario se realizan dos (02) viajes por vehículo, especialmente el que tiene el turno del mercado de Vinocanchón y del penal de Qenqoro.

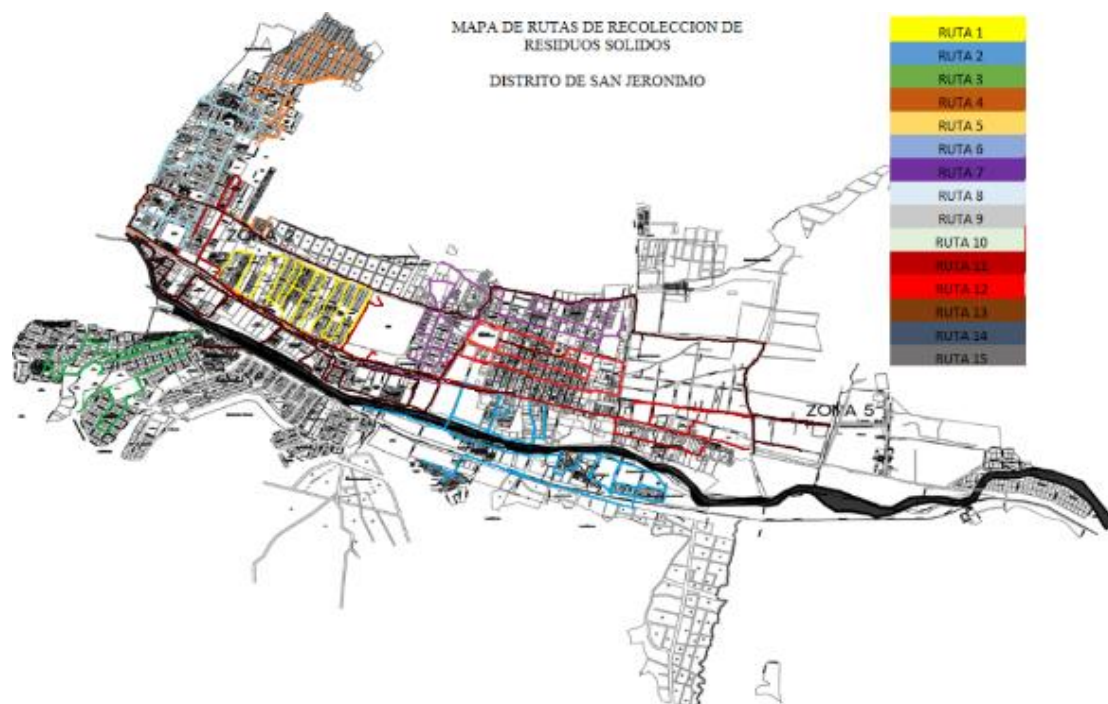


Sin embargo, el sistema actual cuenta con serias deficiencias en el recorrido y tiempo de recolección ya que el horario de acopio de residuos de las diferentes rutas se inicia a las 5:30 a.m. y concluye alrededor de las 2:30 p.m.

Asimismo, se tiene quince (15) rutas de recolección las cuales son cubiertas por cinco (05) vehículos compactadores. En el caso del Mercado Mayorista de Vinocanchón, la recolección se hace dos veces al día, según turnos de los vehículos compactadores. El primero pasa muy temprano en la mañana y el segundo al anochecer, entre las 5 p.m. y las 8 p.m.

Por otra parte, la programación lineal está enfocada en contribuir a mejorar las operaciones de recolección de residuos sólidos, donde se presenta el plan de rutas diseñado mediante la metodología propuesta a partir del problema identificado, que se caracteriza por buscar un adecuado recorrido de los camiones recolectores, obteniendo una distancia total mínima de recolección y teniendo en cuenta las capacidades de carga, las vías, entre otros aspectos.

Por medio de la programación lineal se pueden formular y resolver problemas de una gran variedad de campos del quehacer humano, entre los que se puede mencionar: asignación de recursos en la planificación de gobierno, análisis de redes para planificación urbana y regional, planificación de la producción en la industria, y administración de sistemas de transporte y distribución. Por eso, la programación lineal es un éxito de la moderna teoría de la optimización.



Fuente: Municipalidad Distrital de San Jerónimo.

**Figura 1. Mapa de rutas de recolección de residuos sólidos.**



## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera puede mejorar el sistema de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

a) ¿Cuál es la situación actual del sistema de recojo de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de San Jerónimo – Cusco, 2018?

b) ¿Cómo se puede mejorar el proceso de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018?

c) ¿Cómo se puede mejorar el rendimiento del servicio de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018?

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Conveniencia**

Se evaluó el funcionamiento del servicio de recolección de residuos sólidos y se plantearon las premisas convenientes que permitirán mejorar dicha actividad a través de la optimización de rutas, para de esa forma facilitar el desempeño de los trabajadores, obtener un mejor resultado a partir de las labores realizadas, y elevar la calidad del servicio prestado.

### **1.3.2. Relevancia social**

La investigación es relevante porque incide positivamente sobre la calidad de vida de las personas y eleva las condiciones del entorno físico donde existe la sociedad.

Al detallar acciones que mejorarían la prestación del servicio de recolección de desechos se propone explícitamente el mejoramiento del hábitat social del distrito de San Jerónimo, lo cual hace de las calles un ambiente agradable para vivir y, por el lado económico, mejora el valor de los predios en beneficio de los habitantes.

En términos más precisos, la aplicación adecuada de un modelo de optimización de rutas basado en programación lineal optimiza el acopio de residuos sólidos beneficiando a la población de San Jerónimo.



### **1.3.3. Implicancias prácticas**

Al ser un trabajo de investigación basado en métodos eminentemente científicos, la implicancia práctica del estudio se sustenta principalmente en los resultados encontrados, los cuales tras ser analizados y evaluados son propuestos y pueden ser aprovechados por la Municipalidad con la finalidad de superar la problemática originada por las deficiencias en el servicio estudiado.

Asimismo, los resultados y recomendaciones planteados a consecuencia de la investigación desarrollada puede ser acogida y replicada por otros gobiernos municipales tras una adaptación a su propio contexto.

### **1.3.4. Valor teórico**

El desarrollo de un modelo de optimización de rutas es relativamente nuevo porque no ha sido suficientemente investigado en nuestro medio para ser aplicado, especialmente, en empresas públicas y privadas en las cuales se podría aplicar de manera eficaz. El conocimiento de modelos de optimización sirve para evaluar un contexto y, a través de un análisis previo, obtener resultados coherentes y precisos.

El valor teórico de esta investigación se encuentra, principalmente, en las conclusiones y recomendaciones a las cuales se llegó, pues ellos sirven como antecedentes para futuras investigaciones.

### **1.3.5. Utilidad metodológica**

La utilidad metodológica de este estudio radica en la elaboración de los instrumentos de recolección de datos con los que se recogió la información de los usuarios del servicio de recolección de residuos sólidos respecto a un modelo de optimización de rutas. Esto convierte a esta tesis en un importante antecedente para estudios de similar interés.

## **1.4. Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Mejorar el Sistema de Recojo de Residuos Sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018 con la aplicación de la herramienta de programación lineal.



#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Identificar la situación actual del sistema de recojo de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de San Jerónimo – Cusco, 2018.
- b) Diseñar un sistema de recojo para mejorar el proceso de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018.
- c) Diseñar un sistema de recojo para mejorar el rendimiento del servicio de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018.

#### **1.5. Delimitaciones del estudio**

##### **1.5.1. Delimitación espacial**

La investigación se realizó íntegramente en el Distrito de San Jerónimo, Provincia de Cusco.

El Distrito de San Jerónimo tiene los límites siguientes:

- Nor–Oeste: Provincia de Calca (Taray y San Salvador).
- Sur: Provincia de Paruro (Yaurisque) y Quispicanchi (Lucre).
- Oeste: Distritos de San Sebastián.
- Este: Distrito de Saylla.

##### **1.5.2. Delimitación temporal**

El fenómeno estudiado se desarrolló en el año 2018 y tuvo una duración de cuatro meses.

Otra delimitación de índole temporal es la jornada laboral del personal de limpieza pública, que es de 8 horas por día.

##### **1.5.3. Delimitación por agentes adversos al estudio**

No existieron inconvenientes en el estudio dado que la Municipalidad Distrital de San Jerónimo brindó toda la información necesaria respecto al plan general de manejo de residuos sólidos.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

A. Tema: “Optimización de rutas en una empresa de recojo de residuos sólidos en el distrito de Los Olivos”.

Autor: José Alberto Taquía Valdivia.

Institución: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Año: 2013.

País: Perú.

#### Objetivo

Analizar la situación actual de las rutas de transporte para la empresa prestadora del servicio de recolección de residuos sólidos en los distritos en los que opera, realizar un diagnóstico general, escoger las zonas a trabajar, las rutas a optimizarse y proponer soluciones adecuadas con el objetivo de aumentar la efectividad en el transporte de los residuos sólidos y la rentabilidad económica en la empresa.

#### Conclusiones

La optimización de rutas para una empresa de recolección de residuos sólidos se basa en gran parte en un modelo teórico, pero es fundamental tomar en cuenta el factor empírico para ajustar a la realidad el modelo con mayor exactitud.

La sectorización de rutas brinda un ahorro para que las empresas puedan evitar alquiler de vehículos o utilizarlos por motivos adicionales. En el caso de la empresa, este es el principal beneficio que obtiene por no utilizar la capacidad máxima de sus vehículos. Brindan un beneficio como mínimo de S/. 200,000 al año.

La implementación del modelo implica un valor presente neto de S/. 2'404,990 al año cero. Tomando en cuenta la inversión inicial de S/. 695,980, significa una ganancia de más del 145%



respecto a la inversión inicial, lo que genera un atractivo grande para cualquier inversionista y también se encuentra alineado a los resultados de las variables financieras determinadas.

El período de 1.43 años es un fuerte atractivo pues significa que a partir del segundo año genera beneficios netos, que pueden servir para inversiones adicionales.

Una de las razones externas a la optimización de rutas que explica las diferencias entre tiempo de recorrido de rutas entre el modelo propuesto y el tiempo real es que el modelo propuesto en dicho estudio se basa en supuestos, los cuales generan una desviación respecto al tiempo real pues no se aplican como lo indica el modelo, sino que se ajusta y varía en el tiempo.

### **Comentarios**

En el marco teórico se analizan los métodos de optimización de rutas mediante teoremas y aplicaciones prácticas y se mencionan los fundamentos, restricciones y algoritmos adecuados para el caso de la empresa en estudio. Se encontró así que la solución propuesta combinará por el lado del microrroteo la fórmula para hallar el número de vehículos necesarios para recoger los residuos de todo el distrito, mientras que para el macrorroteo se ajustará el método del Agente Viajero (TSP) al caso. De esta manera se adecuó una solución relevante para el problema de la empresa.

### **Aportes**

Para construir la fórmula objetivo para el modelo de optimización se tomó como base el Método del Agente Viajero (TSP). El modelo genera rutas óptimas y, dado que un camión puede recorrer por día dos rutas, el número de rutas existentes es igual al doble del número de camiones disponibles.

**B. Tema:** “Modelo de optimización del sistema de recojo de residuos sólidos en el distrito de Reque para mejorar la eficiencia de operaciones”.

**Autores:** Ruiz Liza, Isaac Junior y Vidal Urdiales, Walter Mario.

**Institución:** Universidad Señor de Sipán.

**Año:** 2015.

**País:** Perú.



## Objetivo

Diseñar y evaluar un modelo de optimización en el sistema de recojo de residuos sólidos en el distrito de Reque para evaluar la eficiencia del servicio, a través de la recopilación de información, construcción y simulación del sistema de recolección.

## Conclusiones

La Municipalidad Distrital de Reque no cuenta con la información necesaria sobre el recojo de residuos sólidos, lo cual dificultó el procesamiento de datos y el análisis de la situación actual acerca del problema, y aun cuando cuentan con recurso humano asignado a estas tareas, no se realiza el trabajo que se debe hacer. La sectorización de rutas se realizó con la ayuda de un plano no actualizado que ha servido para establecer una base sobre el recojo de basura aplicando otras técnicas.

Se construyó el modelo de programación lineal, planteado y resuelto para cada ruta, donde el número de variables de decisión superaron los cien y el número de restricciones los veinte. El modelo empleado fue el del agente viajero con programación entera (binario), aquel que generó rutas óptimas, minimizando distancia como función objetivo y dado que el camión recorre todos los sectores en un día alcanzando la cobertura total de recolección.

Para simular el modelo de programación lineal se utilizó el software GRAFOS, con la extensión de Solver (herramienta accesible y además porque es fácil de utilizar y los resultados se obtienen muy rápido), para realizar los cálculos con más rapidez.

Al diseñar y evaluar el modelo de optimización se tomó como medida las distancia optimizada de recorrido y el combustible que se emplea, lo que se reflejó en la reducción de costos. Es decir, para sector Reque centro se reduce a 42% las distancias; para 28 de Julio se reduce a 38%; para sector Esperanza se reduce a 13%, y para el sector Villa El Sol se reduce a 31%.

El modelo de optimización del recojo de residuos sólidos municipales tiene un incremento óptimo del 100% en la eficiencia del servicio en el distrito de Reque.

## Comentarios

La propuesta de investigación desarrollada fue la de optimización de rutas en dos partes: la sectorización de rutas y el modelo de optimización. En la sectorización, se define el detalle del número de rutas necesarias en el distrito, así como los recursos necesarios para ejecutarlas mediante la maximización de la capacidad de vehículos disponible. Al evaluar el modelo de optimización se tomó como medida la distancia de recorrido y el combustible que se emplea, lo que se refleja en los costos.



## **Aportes**

La investigación de operaciones aplica el método científico en la solución de problemas de toma de decisiones a través de métodos que permiten representar y resolver un problema real empleando procesos matemáticos para modelar el comportamiento de sus componentes y arribar a la consolidación de los objetivos inicialmente planteados.

### **2.1.2. Antecedentes Internacionales**

**A.** Tema: “Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el Municipio de Zarzal - Valle del Cauca”.

Autor: Bryan Henao Guzmán y Jhonier Piedrahita Arana.

Institución: Universidad del Valle.

País: Colombia.

Año: 2015.

## **Objetivos**

Diseñar un modelo que permita obtener un plan de rutas que contribuya a minimizar la distancia total de recorrido en la prestación del servicio de recolección de residuos sólidos en el municipio de Zarzal.

## **Conclusiones**

En la investigación se evidencia cómo el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos es un proceso clave y necesario para contribuir a minimizar problemas tanto económicos como ambientales, los cuales convierten estas decisiones en problemas que necesitan un análisis más profundo.

A través de la revisión bibliográfica se evidencian grandes investigaciones referentes a este problema y que plantean soluciones que permiten mejorar evidentemente estas operaciones en aspectos como distancias, costos y servicio al cliente.

En la caracterización del sistema actual se describieron los elementos o factores más relevantes y necesarios para poder evaluar y comparar con el sistema propuesto, teniendo en cuenta





aspectos como frecuencia de recolección, número y capacidad de vehículos recolectores, generación de residuos sólidos por barrios, distancia de recolección, percepción del cliente por el servicio de recolección actual del municipio, entre otros.

Por medio de la evaluación de las metodologías se puede apreciar la importancia de investigar dichos temas, ya que permiten conocer los métodos que se adaptan con una mayor facilidad a problemas en particular. En la investigación se logró la aplicación del método de barrido y el modelo de pétalos para generar un grupo de macrorrutas, que anteriormente no fueron utilizadas para la resolución de esos problemas, pero son fácilmente aplicables y proporcionan excelentes resultados, lo cual hace que la propuesta del macrorruteo sea innovadora.

La aplicación del método de barrido y el modelo de pétalos son recursos importantes que se pueden aplicar para la aplicación del macrorruteo y por consiguiente la resolución del microrruteo, permitiendo mejorar los desplazamientos, observados también en la aplicación del Problema del Cartero Chino, indicando aquellos recorridos que necesariamente se deben hacer más de una vez para poder recorrer toda la red al menos una vez. En consecuencia, sin importar cuál sea la ruta que se realice, teniendo en cuenta que recorra todos los arcos de la red, la distancia de operación o recolección siempre será la misma.

Los ahorros en desplazamientos, al generar ahorros de dinero, permitirían invertirse fácilmente en otros recursos como viabilidad de aplicar vehículos adicionales para la recolección, mantenimiento preventivo y/o correctivo de estos, capacitación a los usuarios, información publicitaria a los usuarios de los horarios de recolección, que valen la pena considerar en un estudio complementario.

### **Comentarios**

Esta tesis da a conocer, por medio de la evaluación de diferentes metodologías para el cumplimiento de sus objetivos, los métodos que se adaptan con una mayor facilidad a problemas en particular. En el caso de estudio se logró la aplicación del método de barrido y el modelo de pétalos para generar un grupo de macrorrutas que anteriormente no se han utilizado para la resolución de los problemas descritos.

### **Aportes**

Esta investigación especifica la utilización de diferentes modelos de recolección de datos como el método de barrido y el modelo de pétalos, los cuales son recursos importantes que se pueden aplicar para la aplicación del macrorruteo, permitiendo mejorar los desplazamientos



observados también en la aplicación del Problema del Cartero Chino, indicando aquellos recorridos que necesariamente se deben hacer más de una vez para poder recorrer toda la red al menos una vez.

**B. Tema:** “Rediseño de rutas de recolección de residuos sólidos mediante el Problema de Ruteo de Vehículos Capacitados sobre Arcos”.

**Autor:** Yazmín Pineda Amador.

**Institución:** Universidad Nacional Autónoma de México.

**Lugar:** México.

**Año:** 2015.

### **Objetivos**

El objetivo general de esta tesis se logró al modelar el problema de recolección de residuos sólidos como un problema de ruteo de vehículos capacitados sobre arcos y resuelto con un método heurístico de agrupación-ruteo, dando como resultado el rediseño de las rutas y minimización de la distancia recorrida por cada vehículo.

### **Conclusiones**

El motivo principal que originó el estudio surgió a partir de los trabajos existentes en la literatura como artículos de investigación y tesis con aplicaciones a la recolección de basura. Estos trataban en todos los casos de mejorar la situación del sistema bajo estudio. La tesis también logró obtener una mejora en el servicio. De tal forma, se realizó un estudio del manejo de residuos sólidos domiciliarios en el Distrito Federal, que inició con la búsqueda de documentos en internet, así como información hemerográfica sobre los problemas existentes en el sistema de recolección de basura.

El manejo de residuos sólidos comprende varias etapas desde su generación, recolección, transferencia, selección y disposición final. En cada una se puede encontrar problemas y aspectos que se pueden mejorar. Muchas acciones se pueden tomar para solucionar otros muchos problemas en el sistema, tales como campañas para reducir la cantidad de residuos y separación de los mismos, ubicación de un nuevo relleno sanitario, renovación y



mantenimiento de los vehículos recolectores, mejores herramientas de trabajo para los involucrados, hasta la inversión en tecnología para el aprovechamiento del gas metano de un relleno sanitario, etc.

La investigación se enfoca en la etapa de la recolección, siendo una de las etapas más costosas, con mayor fuente de generación de residuos, que adicionalmente se vio afectada con el nuevo programa de recolección selectiva generando diversos problemas como: conflictos entre los trabajadores y habitantes, tiraderos clandestinos, circulación de vehículos recolectores no autorizados, horas extra de trabajo para el personal, entre otros. Entonces, tratando de ayudar en la solución de algunos de estos problemas, se decidió rediseñar las rutas de recolección.

Intentando cumplir con el objetivo de esta tesis, se modeló el sistema de recolección como un problema de ruteo de vehículos capacitados sobre arcos (CARP), que es lo que recomienda la literatura y que, según la validación conceptual propuesta, es el modelo de optimización que mejor representa el sistema real. También se revisaron los métodos de solución y, debido a la complejidad y costo computacional involucrados, se eligieron métodos heurísticos. Así, se diseñó un algoritmo basado en métodos heurísticos para la solución del problema, el cual es una de las aportaciones importantes de dicha tesis, que forma parte del campo disciplinario de la Investigación de Operaciones. Por lo tanto, se considera que el objetivo general de la investigación se logró al modelar el problema de recolección de residuos sólidos como un problema de ruteo de vehículos capacitados sobre arcos y resolverlo con un método heurístico de agrupación-ruteo, dando como resultado el rediseño de las rutas y minimización de la distancia recorrida por cada vehículo.

### **Comentarios**

El fin principal del proyecto se basa en minimizar las distancias, el combustible y el desgaste de los vehículos, haciendo que el servicio de recolección sea más eficiente. Como trabajos futuros se proponen la aplicación de la metodología a otros sectores del D.F. con problemas similares.

### **Aportes**

El aporte principal del estudio fue rediseñar las rutas de recolección. De esa forma, se enfocó la recolección de residuos sólidos un problema de ruteo de vehículos capacitados sobre arcos (CARP), que fue el modelo de optimización que mejor pudo representar el sistema real sujeto a análisis.



C. Tema: “Diseño de un sistema de recolección de residuos sólidos en el Cantón Cayambe”.

Autor: Lucero Pastás, Jenny Estefanía y Viñamagua Carrión Jenny Beatriz.

Institución: Universidad Central del Ecuador.

País: Ecuador.

Año: 2016.

### **Objetivo**

Optimizar y rediseñar las rutas de recolección de residuos sólidos del Cantón Cayambe, parroquia Cayambe, mediante el uso de Sistema de Información Geográfica (SIG), a partir de la caracterización de los residuos generados y proposición de nuevas rutas de recolección.

### **Conclusiones**

- Respecto al diagnóstico de la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos en la parroquia Cayambe, el cual se evaluó en sus diferentes fases: almacenamiento temporal, barrido y recolección, se pudo observar mediante el trabajo de campo que la separación en la fuente es diferenciada en residuos orgánicos e inorgánicos que son entregados al carro recolector en fundas plásticas, saquillos o cartones de acuerdo al horario y frecuencia de recolección. Los residuos de los locales comerciales son entregados en su mayoría junto con los residuos domiciliarios debido que forman parte de las viviendas de la zona. Los residuos de barrido manual lo realizan los barrenderos con una pala metálica y escoba depositándolos en un saquillo.
- La producción per cápita total obtenida es de 0,72 kg/(hab\*día), que al ser comparada con los indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Publica, que están entre 0,35–0,75 kg/(hab\*día), se puede concluir que la PPC obtenida está dentro de los límites permisibles.
- De la caracterización de los residuos sólidos se obtuvo que el 67% corresponde a residuos orgánicos y un 33% de residuos inorgánicos.
- El diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos mediante la herramienta VRP de la extensión Network Analyst del software ArcGis, permite realizar un análisis de la red vial, minimizando el costo total de operación, el tiempo de transporte, distancia recorrida, logrando



así un equilibrio en la utilización de los recursos disponibles del municipio. Además la ventaja de desarrollar esta metodología es el poder realizar simulaciones con la herramienta.

- El uso de la aplicación Vehicle Routing Problem (VRP) de la extensión ArcGis permite generar soluciones para el problema del diseño de rutas de recolección RSU, incorporando la capacidad de carro recolector, sitios de inicio y fin de ruta, lugar de disposición final, generación de residuos y tiempo requerido para la operación.

- Al incorporar las características del modelo de rutas de recolección de RSU en la herramienta VRP facilita la creación de rutas con mejor distribución de los pesos a recoger por viaje, optimizando la capacidad de carga de los carros recolectores. - Se elaboró una geodatabase con la información actualizada de: predios, viviendas, manzanas, macrorrutas, puntos de inicio y disposición final de los residuos y vías, cabe recalcar que el Municipio no contaba con la información completa, la misma que fue generada durante la realización del presente proyecto.

- Con las rutas de recolección eficientes se obtiene un 25% y 23% de disminución en distancia total recorrida en los residuos orgánicos e inorgánicos respectivamente, en tiempo de recolección se disminuye en un 6% y 15% y el ahorro de combustible en un 25% y 23% diariamente.

- La propuesta tecnológica para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos en la parroquia Cayambe, incluye: tres macrorrutas occidental, central y oriental, las mismas que para este estudio se analizó la central y occidental teniendo como resultado que para la recolección de residuos orgánicos se realizará dos viajes por macrorruta, mientras que para los residuos inorgánicos se realizará un viaje por macrorruta, se mantendrá la frecuencia de recolección diaria, pero inter diaria de acuerdo al tipo de residuo.

- Las rutas fueron presentadas en mapas donde se distingue el trayecto que deberá realizar el carro recolector en cada una de las macrorrutas de acuerdo al residuos a recolectar, que forman el modelo de recolección de RSU de la parroquia.

- El método planteado en esta propuesta para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos es aplicable al resto de parroquias del cantón Cayambe, siempre que cuente con información necesaria y se haya realizado un estudio previo de las zonas a realizar el trabajo.

### **Comentarios**

Tras analizar y definir el problema de la recolección de residuos sólidos, es posible proponer una solución ideada con ayuda de paquetes informáticos que permiten optimizar el tiempo



cuando se procede al recojo de la basura, y de esa forma se mejora la calidad de vida de los usuarios y de los empleados que prestan el servicio.

### **Aportes**

El principal aporte de esta tesis fue incorporar al método científico un soporte informático. Así, con ayuda de softwares como ArcGis y otros se puede georreferenciar las rutas y puntos de acopio de residuos sólidos, para de esa manera solucionar los problemas que se generan durante las actividades de recolección de residuos sólidos.

#### **2.1.3. Contexto de la investigación**

Por alcances generales de la municipalidad, se sabe que en la actualidad el mantenimiento de los equipos y maquinaria que se emplean en el servicio de recolección de residuos sólidos es de carácter correctivo, es decir, se espera alguna falla o avería para proceder a la reparación.

Respecto a temas que implican mayor detalle financiero, como cantidad de trabajadores, salarios y presupuestos, las autoridades se reservan la información porque consideran que esos datos no atañen al tema en estudio.

### **2.2. Base teórica**

#### **2.2.1. Optimización de rutas**

Existe una enorme variedad de actividades cotidianas en el mundo que pueden ser útilmente descritas como sistemas. Desde sistemas físicos tales como una planta industrial, hasta entidades teóricas tales como los modelos económicos. La operación eficiente de esos sistemas usualmente requiere un intento por optimizar varios índices que miden el desempeño del sistema. Algunas veces, esos índices son cuantificados y representados como variables algebraicas. Entonces se deben encontrar valores para esas variables, que maximicen la ganancia o beneficio del sistema, o bien minimicen los gastos o pérdidas. Se asume que las variables dependen de ciertos factores.

Algunos de esos factores a veces están bajo el control (al menos parcialmente) del analista responsable del desempeño del sistema (López, 2015)

#### **2.2.2. Problema de optimización**

El problema de optimización consiste en determinar el valor óptimo (valor máximo o valor mínimo) que una función asume sobre los elementos de un conjunto dado.

De un modo preciso, dados un conjunto  $x$  y una fracción que asigna a cada  $X$  de  $X$  un valor  $f(x)$ , se desea, para el caso máximo, encontrar  $x_0$  de  $X$  que cumpla la condición:

$$f(x) \leq f(x_0), \text{ para todo } X \text{ de } X.$$

Y para el caso de un mínimo, un  $x_1$  de  $X$  que cumpla:

$$f(x_1) \leq f(x_0), \text{ para todo } X \text{ de } X.$$

En forma abreviada se escribe  $f(x_0) = \text{Max } f(x), f(x_1) = \text{Min } f(x)$ .

Los elementos del conjunto  $X$  representan los recursos del problema y  $f(x)$  puede ser considerado como el valor del recurso  $X$ . Por ejemplo, es un costo, un tiempo, una cantidad de producción, etc. A la función  $f(x)$  se le denomina función objetivo.

Frecuentemente, el conjunto  $X$  se especifica mediante restricciones que determinan sus elementos; y algoritmos o reglas que describen cómo obtener elementos de  $X$ .

Es posible que el problema no tenga soluciones, porque el conjunto  $X$  no tiene elementos o porque la función  $f(x)$  no puede tomar un valor mínimo o máximo (Hamdy A. T., 2012).

### **2.2.3. El alcance de la optimización**

Una de las herramientas más importantes de la optimización es la programación lineal. Así, un problema de programación lineal está dado por una función lineal de varias variables que debe ser optimizada (maximizada o minimizada) la cual debe cumplir con cierto número de restricciones también lineales.

El matemático G.B. Dantzig desarrolló un algoritmo llamado el método simplex para resolver problemas de ese tipo. El método simplex original ha sido modificado a fin de obtener un algoritmo eficiente para resolver grandes problemas de programación lineal por computadora (Hamdy A. T., 2012).

La programación lineal permite formular y resolver problemas de gran variedad de campos de las actividades humanas, entre las que se puede mencionar: asignación de recursos en la planificación de gobierno, análisis de redes para planificación urbana y regional, planificación de la producción procesos industriales, y la administración de sistemas de transporte y distribución. Lo anterior consolida la importancia de la programación lineal y la coloca como uno de los éxitos de la moderna teoría de la optimización.



La programación está íntimamente relacionada con la resolución de problemas de optimización donde algunas de las variables deben tomar sólo valores enteros. Cuando todos los términos son lineales se habla de programación lineal entera. Asimismo, muchos problemas de naturaleza combinatoria se pueden formular en términos de programación lineal entera. Por ejemplo, se puede mencionar: ubicación de insumos, secuenciamiento de trabajos en líneas de producción, balance de líneas de montaje, problemas de asignación biunívoca, control de inventarios y reemplazo y mantenimiento de máquinas.

Uno de los métodos importantes para resolver ese tipo de problemas, debido a R.E. Gomory, se basa en parte en el método simplex antes mencionado. Otro método es de naturaleza combinatoria y consiste en reducir el problema original a otros más pequeños, y tal vez más fáciles, y partir el conjunto de soluciones posibles en subconjuntos más pequeños que pueden ser analizados más fácilmente. Este método se llama *branch and bound* (ramificación y acotación) o *branch and backtrack*. Dos de las contribuciones importantes a éste método las ha hecho Balas Dakin. Pese a las mejoras realizadas no existe aún un método unificado que sea eficaz para resolver problemas de programación entera de tamaño realista (Hamdy A. T., 2012).

#### **2.2.4. Algoritmos de optimización de rutas**

Taquía (2013) precisa que un problema de ruteo de vehículos consiste en determinar el conjunto de rutas de costo mínimo que inicien y terminen en los centros de carga y descarga de material (y viceversa), visitando todos los puntos relevantes para el funcionamiento del sistema.

Las características de clientes, depósitos y vehículos, así como otras restricciones operativas sobre las rutas, generan distintas variantes del sistema e incrementan a la complejidad del mismo.

##### **a) Clientes**

Los clientes tienen una demanda que busca ser satisfecha por el servicio, esta es expresada físicamente en espacio dentro del vehículo de transporte, lo cual limita el transporte a más de un viaje pues usualmente en un solo viaje no es posible cargar toda la demanda del cliente. Las restricciones más importantes respecto a clientes son: el número de veces que se visita al cliente, el horario en que se puede recoger el bien del cliente, en caso sea restrictivo, y la limitación de vehículos para la visita de los clientes. Lo último, por ejemplo, se aplica en el caso de rutas con vehículos asignados a cada uno, lo cual limita el transporte de vehículos a ciertos clientes únicamente.



**b) Depósitos**

Los depósitos son espacios donde al inicio y final del recorrido se ubican los vehículos y materiales a transportar, si es que hubiera. Los puntos de inicio y final de suelen ser los mismos. Para los casos con múltiples depósitos, la diferencia entre ellos es la ubicación y la capacidad máxima de producción. Algunas veces se considera el tiempo de limpieza previo al inicio de la ruta y el tiempo de carga de material en el depósito.

**c) Vehículos**

Los vehículos se manejan en base a su capacidad máxima de almacenamiento. Pueden ser clasificados por peso y volumen. En general, cada vehículo tiene asociado un costo fijo en el que se incurre al utilizarlo y un costo variable proporcional a la distancia que recorre.

En el caso de que los atributos sean los mismos para todos los vehículos se le llama flota homogénea, mientras que cuando hay diferencias se llama flota heterogénea. La cantidad de vehículos disponibles podría ser una variable de entrada o una variable de decisión. El objetivo más usual suele ser utilizar la cantidad mínima de vehículos y minimizar la distancia recorrida suele encontrarse en segundo lugar.

En general se asume que cada vehículo recorre una sola ruta en el período de planificación (Taquía, 2013).

**2.2.5. Investigación de operaciones**

La investigación de operaciones es la aplicación del método científico a problemas de toma de decisiones que proporciona métodos que permiten representar y resolver mediante modelos matemáticos un problema real en un sistema, encontrando y controlando las relaciones entre los componentes de forma que se evalúen los resultados asociados a los objetivos planteados y se establezcan las acciones necesarias para modificar los patrones de comportamiento de dichos componentes.

Los modelos matemáticos de decisión permiten calcular valores para las componentes controlables del sistema. A la obtención de dichos valores se le conoce como derivar una solución. La forma de derivar una solución es muy variada y puede ser obtenida por medio de un análisis matemático riguroso o por simulación (Prawda, 2000).

Además, disciplinas típicas de la investigación de operaciones son la optimización con sus variaciones (lineal, no lineal, entera, estocástica, multiobjetivo), teoría de decisión y de juegos, teoría de colas y simulación, y teoría de grafos o flujo de redes. Otras disciplinas como



algoritmos metaheurísticos y lógica borrosa, redes neuronales artificiales, reconocimiento de patrones y otras técnicas de inteligencia artificial, aunque conceptualmente se encuadran dentro de la investigación de operaciones habitualmente se estudian dentro de otras disciplinas ligadas a la ingeniería informática como la inteligencia artificial. La optimización es una parte relevante dentro de la investigación de operativa (Ramos, Sánchez, Ferrer, Barquín, & Linares, 2010).

Lieberman (2010) sostiene que, como su nombre lo indica, el objetivo de esta disciplina implica investigar sobre las operaciones. En consecuencia, la disciplina en mención se aplica a la problemática relacionada con la conducción y la coordinación de actividades en una organización. En esencia, la naturaleza de la organización es irrelevante, por lo cual la IO ha sido aplicada de manera extensa en áreas tan diversas como manufactura, transporte, construcción, telecomunicaciones, planeación financiera, cuidado de la salud, fuerzas armadas y servicios públicos, por nombrar sólo unas cuantas. Así, la gama de aplicaciones es inusualmente amplia.

#### **2.2.6. Programación lineal**

El desarrollo de la programación lineal ha sido clasificado como uno de los avances científicos más importantes de mediados del siglo XX. Su efecto desde 1950 ha sido extraordinario. En la actualidad es una herramienta de uso normal que ha ahorrado miles o millones de dólares a muchas compañías o negocios, incluso empresas medianas, en los distintos países industrializados del mundo. Su aplicación a otros sectores de la sociedad se ha ampliado con celeridad.

En la actualidad gran cantidad de programas de computadora está dedicada al uso de la programación lineal. También se han escrito muchos libros sobre esta materia y se cuentan por cientos los artículos publicados que describen aplicaciones importantes e innovadoras.

Respecto a los alcances de la programación lineal en la solución de problemas, la aplicación abarca comúnmente el problema general de asignar de la mejor manera posible recursos limitados a actividades que compiten entre sí por ellos. Dicho de manera más precisa, el problema consiste en elegir el nivel adecuado de ciertas actividades que compiten por recursos escasos necesarios para realizarlas. Luego, los niveles de actividad elegidos determinan la cantidad de recursos que consumirá cada una de ellas.

La variedad de situaciones a las que se puede aplicar esta descripción es sin duda muy grande, ya que abarca desde la asignación de instalaciones de producción a los productos hasta la

asignación de los recursos nacionales a las necesidades de un país; desde la selección de una cartera de inversiones hasta la selección de los patrones de envío; desde la planeación agrícola hasta el diseño de una terapia de radiación, etc. No obstante, el ingrediente común de todas estas situaciones es la necesidad de asignar recursos a las actividades mediante la elección de los niveles de éstas.

La programación lineal es una técnica determinista, no incluye probabilidades y utiliza un modelo matemático para describir el problema. El carácter lineal de método se refiere a que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. En ese entender, el término programación no hace referencia al ámbito computacional sino que es en esencia sinónimo de planeación. Así, la programación lineal incluye la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo y optimizar un proceso, es decir, arribar al resultado que mejor llegue a la meta definida de acuerdo con el modelo matemático (Lieberman, 2010).

### 2.2.7. Programación matemática

Los problemas de programación matemática constituyen una parte importante de los problemas de optimización. Un programa matemático tiene la forma:

Maximizar (o minimizar)  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , sujeto a las condiciones o restricciones:

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \leq, =, \geq \} b_1$$

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \leq, =, \geq \} b_2$$

$$\vdots$$

$$g_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \{ \leq, =, \geq \} b_m$$

Donde  $f(x_1, x_2, \dots, x_n), g_1(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, g_n(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , son funciones con valores numéricos que dependen de  $n$  variables numéricas  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $(b_1, b_2, \dots, b_n)$ , son constantes y en cada restricción se emplea uno de los signos  $\{ \leq, =, \geq \}$ .

El conjunto  $X$  de definición del problema está formado por todos los  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  que satisfacen todas las restricciones, A tales  $x$  se les llama soluciones factibles del programa o del problema, se le denomina el conjunto de soluciones factibles o región de factibilidad.



Generalmente se asume que las variables  $x_1, \dots, x_n$ , son números reales. No obstante, también se consideran programas matemáticos —llamados de programación entera— en los que las variables toman solo valores enteros (Taquiá, 2013).

### **2.2.8. Modelo de programación matemática**

Como sostiene Maynard (2010) en su libro *Investigación de Operaciones*, para resolver un problema de optimización primero se formula un modelo del problema mediante un problema matemático y luego se resuelve el programa matemático.

A partir de la definición o enunciado del problema, los pasos que usualmente se aplican para la formulación o propuesta del modelo son las siguientes:

- Se identifican la cantidad o variable de salida que se desea optimizar y las variables de decisión o de entrada de las que dependen y se expresa la primera como una función matemática de las últimas.
- Se determinan las condiciones, requisitos y limitaciones y se expresan mediante restricciones matemáticas que se imponen a las variables de decisión.
- Se incluyen condiciones adicionales que no aparecen de manera explícita pero que deben cumplirse en el problema real, por ejemplo, si algunas variables de decisión han de tomar valores iguales a cero, o si deben tener valores enteros.

Una vez obtenido el modelo del programa matemático se procede a resolverlo aplicando los métodos y técnicas de optimización; esto es, hallar el valor óptimo, si existe, y una solución óptima, o algunos valores en los cuales las variables de decisión proporcionan el valor óptimo (Maynard, 2010).

### **2.2.9. Formulación matemática**

Existen distintos métodos de optimización de rutas, los cuales buscan minimizar la distancia de recorrido y, por ende, los costos incurridos y costos asociados. Aquí se formulan algunos problemas clásicos que sirven como base para los algoritmos específicos utilizados para la resolución de diferentes casos.

La red de transporte por la que circulan los vehículos es modelada mediante el grafo ponderado  $G=(V,E,C)$ , comprendido por nodos representados por  $V$ , arcos representados por  $E$ , y costos ponderados para los arcos representados por  $C$ . Los nodos del grafo representan a los clientes



y depósitos. Los depósitos suelen escribirse como 0 el inicial y  $n+1$  el final, mientras que los clientes tienen la nomenclatura  $1, \dots, n$ . Los arcos  $(i, j)$ ;  $E$  representa el mejor camino para ir desde  $i$  hasta  $j$  en la red de transporte. A este se le asocia un costo  $c_{ij}$  y un tiempo de viaje  $t_{ij}$ . Los grafos no se supondrán como definitivos, debido de que la flexibilidad es necesaria para realizar las hipótesis. Los nodos adyacentes e incidentes a  $i$  serán denotados como  $\Delta^+(i)$  y  $\Delta^-(j)$  y los arcos incidentes hacia el exterior e interior del nodo  $i$  se definen como  $\delta^+(i)$  y  $\delta^-(j)$  (Taquiá, 2013).

## 2.2.10. Residuos sólidos municipales

### 2.2.10.1. Marco legal de los residuos sólidos municipales en el distrito de San Jerónimo

En el Distrito de San Jerónimo el marco legal para la implementación del Plan de Manejo de Residuos Sólidos está regido por:

- Ley General de Residuos Sólidos, Ley 27314 y su reglamento de aplicación a las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, incluyendo las distintas fuentes de generación de dichos residuos, en los sectores económicos, sociales y de la población
- Ley General del Ambiente, Ley 28611 establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.
- Ley que regula la actividad de los recicladores, Ley 24419 y su correspondiente reglamento. Establece el marco normativo para los trabajadores de la actividad de reciclaje en el Perú, promueve su formalización y contribuye al manejo ecológicamente eficiente de los residuos sólidos.
- Ley Orgánica de Municipalidades, Ley 27972, que en su Art. 80 especifica que son funciones específicas: Regular y controlar el proceso de disposición final de residuos sólidos, líquidos y vertimientos industrial es en el ámbito provincial. Regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente.



- Ordenanza Municipal 004-2014-CM-MDSJ, que aprueba el Plan de Manejo de los Residuos Sólidos en el Distrito de San Jerónimo 2014 - 2015.

### 2.2.10.2. Definición de residuo

El Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define Residuo como:

1. Parte o proporción que queda de un todo.
2. Lo que resulta de la descomposición o destrucción de una cosa.
3. Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación.

La O.C.D.E. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) dice que los residuos son aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo, que no han alcanzado un valor económico en el contexto en el que son producidas.

La UE, en su Directiva 75/442/CEE del Consejo, especifica que se considerará como residuo cualquier producto en estado:

- Sólido.
- Líquido.
- Gaseoso.

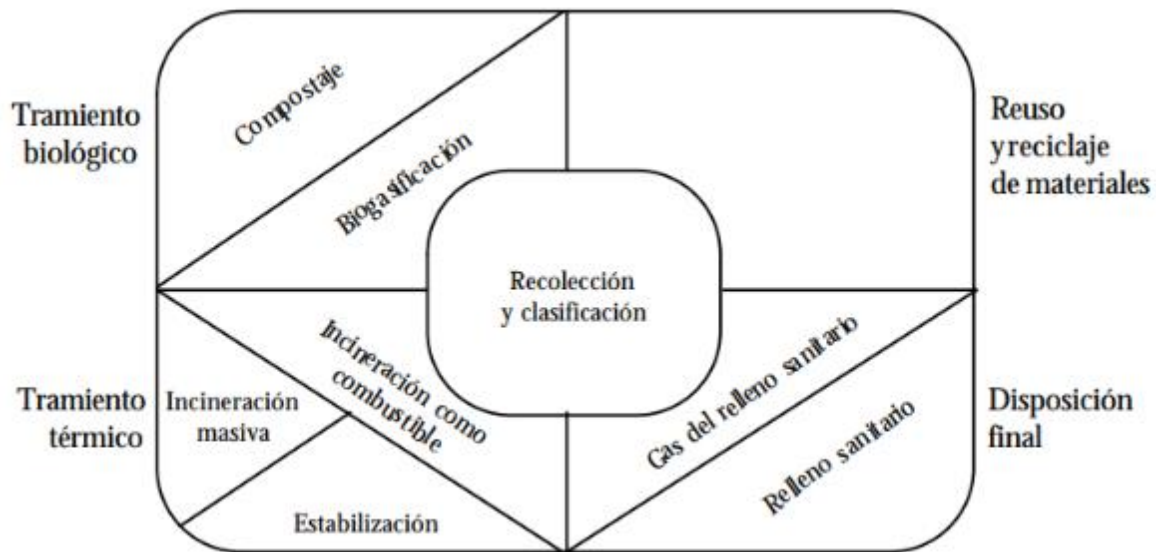
Procedente de un proceso de extracción, transformación o utilización, que carente de valor para su propietario decide abandonar dentro del ámbito urbano.

Siguiendo la definición dada por Val (2009), el residuo es ante todo una realidad social, diferente según las sociedades y épocas, y representa un valor cultural y social para los individuos que forman o han formado dichas sociedades.

### 2.2.10.3. Manejo integral de los residuos sólidos municipales

El manejo integral y sustentable de los residuos sólidos combina flujos de residuos, métodos de recolección y procesamiento, de lo cual derivan beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema de manejo práctico para cualquier región. Esto se puede lograr combinando opciones de manejo que incluyen esfuerzos de reúso y reciclaje, tratamientos que involucran compostaje, biogasificación, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios (Figura 2). El punto clave no es cuántas opciones de tratamiento se utilicen, o si se aplican todas al mismo tiempo, sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales o regionales,

así como a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia (SEMARNAT, 2001).



Fuente: (SEMARNAT, 2001).

**Figura 2. Manejo integral y sostenible de los residuos sólidos.**

#### 2.2.10.4. Ciclo de vida de un residuo

El ciclo de vida se utiliza como una herramienta y es definido por Fullana y Puig (1997) como un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad. Se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final. En el ámbito de los residuos sólidos el planteamiento es más que un procedimiento, es una visión que permite enfocarlos como parte de un producto natural o artificial, o, de cualquier forma, parte íntegra de nuestros recursos naturales, por tanto, lleva asociado consumo de materias primas, insumos varios y energía.

Por otra parte, el residuo se entiende como una ineficiencia de las actividades humanas; por tanto, tiene relación con un mejoramiento de los procesos, para finalmente volver a ser parte de la naturaleza una vez que como residuos se ha dispuesto en la tierra.



#### **2.2.10.5. Etapas de un sistema de gestión integral de residuos**

Los problemas asociados con el manejo de desechos sólidos en la sociedad de hoy son complejos debido a la cantidad y naturaleza diferente de los desechos, el desarrollo irregular de grandes áreas urbanas, las limitaciones de recursos con que cuentan los servicios públicos en muchas ciudades grandes, los impactos de la tecnología, y las limitaciones emergentes de energía y materias primas. Por ello, si se quiere que el manejo de los desechos sólidos se realice de una manera eficiente y ordenada, se debe identificar y comprender claramente los aspectos y relaciones fundamentales.

Para resolver problemas específicos de desechos sólidos, los distintos elementos funcionales se combinan en lo que generalmente es conocido como un sistema de manejo de desechos sólidos, este comprende seis elementos funcionales (Fullana & Puig, 1997).



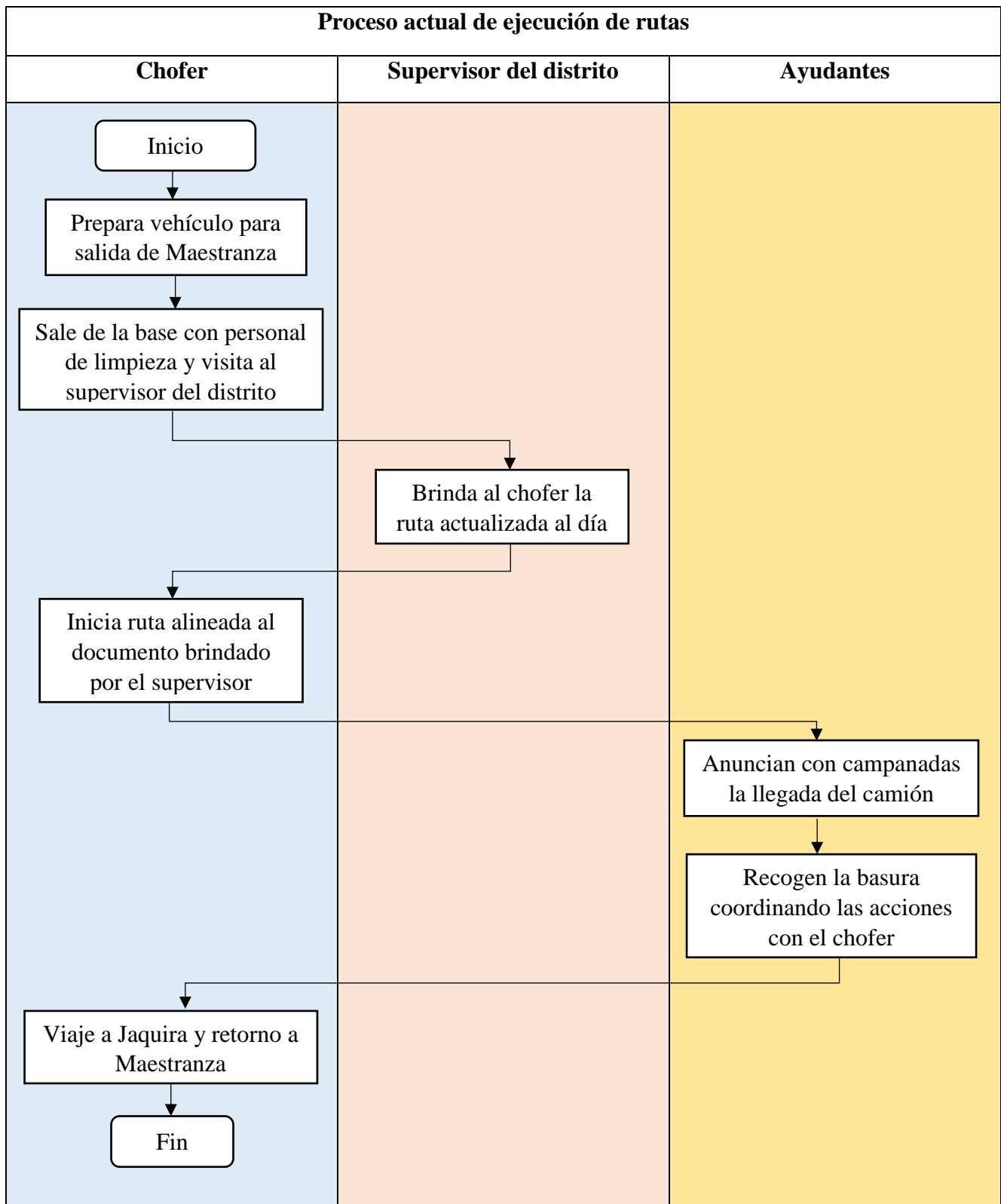


Figura 3. Flujograma del proceso de recolección de residuos sólidos por ruta.



## **2.2.11. Etapas de un Sistema de Gestión Integral de Residuos**

### **2.2.11.1. Recolección**

El elemento funcional de la recolección, incluye no solamente la recolección de residuos sólidos y de materiales reciclables, sino también el transporte de estos materiales al lugar donde se vacía el vehículo de recolección. Este lugar puede ser una instalación de procesamiento de materiales, una estación de transferencia o un lugar de disposición final. En las pequeñas ciudades, donde los lugares de evacuación final están cerca, el transporte de residuos no es un problema grave. En las grandes ciudades, sin embargo, donde la distancia desde el punto de recolección hasta el punto de evacuación es a menudo más de 20 kilómetros, esta distancia puede tener significativas implicaciones económicas. Cuando hay que recorrer largas distancias, normalmente se utilizan las instalaciones de transferencia y transporte.

Típicamente se realiza la recolección bajo varios tipos de convenio de gestión, abarcando desde servicios municipales hasta servicios privados bajo concesión, funcionando a través de diferentes tipos de contrato. Los servicios de recolección para las industrias varían ampliamente. Algunos residuos industriales se manipulan como los residuos urbanos; algunas compañías tienen lugares de evacuación en sus propios terrenos, donde usan cintas transportadoras o transporte vía húmeda. Este último se utiliza en muchos casos para los residuos minerales y los residuos agrícolas.

Cada industria requiere una solución individual a sus problemas de residuos (SEMARNAT, 2001).

### **2.2.11.2. Separación y manipulación de los residuos en origen**

La separación de elementos funcionales es importante porque permite el desarrollo de un marco dentro del cual se puede evaluar el impacto de los cambios producidos y de los adelantos tecnológicos futuros.

La manipulación y la separación de residuos involucran las actividades asociadas con la gestión de residuos hasta que éstos son colocados en contenedores de almacenamiento para la recolección.

La manipulación incluye el movimiento de los contenedores cargados hasta el punto de recolección.



La separación de componentes de los residuos es un paso importante en la manipulación y almacenamiento de los residuos sólidos en el origen. Por ejemplo, desde el punto de vista de las especificaciones de los materiales y de los ingresos de la venta de los materiales recuperados, el mejor lugar para separar los materiales residuales, para la reutilización y el reciclaje, es en el punto de generación (SEMARNAT, 2001).

#### **2.2.11.3. Almacenamiento**

El almacenamiento in situ es de una importancia primordial debido a la preocupación por la salud pública y a consideraciones estéticas. Los desagradables recipientes improvisados e incluso el almacenamiento al aire libre, ambos indeseables, se ven a menudo en muchos lugares comerciales, residenciales e industriales.

En esta etapa los residuos se disponen temporalmente a la espera de su recolección. Lo ideal es que los residuos se almacenen clasificados y en recipientes apropiados para ello y que esta etapa sea de corta duración para así reducir su exposición.

La generación de residuos abarca actividades en las que los materiales son identificados como sin valor adicional, o bien son tirados o recogidos juntos para la evacuación. Es importante anotar en la generación de residuos que hay un paso de identificación y que este paso varía con cada residuo en particular.

La reducción en el origen, aunque no esté controlada por gestores de residuos sólidos, actualmente está incluida en las evaluaciones del sistema como un método para limitar las cantidades de residuos generados (SEMARNAT, 2001).

#### **2.2.11.4. Separación y procesamiento de residuos**

La recuperación de materiales separados, la separación, el procesamiento de los componentes de los residuos sólidos, y la transformación del residuo sólido, que se produce principalmente en localizaciones fuera de la fuente de generación de residuos, están englobados en este elemento funcional. Los tipos de medios e instalaciones utilizados en la actualidad para la recuperación de materiales residuales que han sido separados en el origen, incluyen la recolección en la acera, los centros de recolección selectiva y los centros de recompra.

La separación y el procesamiento de residuos que han sido separados en el origen y la separación de residuos no seleccionados normalmente tienen lugar en las instalaciones de



recuperación de materiales, estaciones de transferencia, instalaciones de incineración y lugares de evacuación. El procesamiento frecuentemente incluye: la separación de objetos voluminosos; la separación de los componentes de los residuos, por tamaño, utilizando cribas; la separación manual de los componentes de los residuos; la reducción del tamaño, mediante trituración; la separación de metales férricos, utilizando imanes; la reducción del volumen por compactación, y la incineración.

Los procesos de transformación se emplean para reducir el volumen y el peso de los residuos que han de evacuarse, y para recuperar productos de conversión y energía. La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) puede ser transformada mediante una gran variedad de procesos químicos y biológicos. Entre los procesos de Transformación más comunes podemos nombrar: compostaje, Incineración y Reciclaje (SEMARNAT, 2001).

#### **2.2.11.5. Transferencia y transporte**

Este se debe realizar en vehículos apropiados y con una frecuencia que asegura la no generación de riesgos a la salud de la población como del ambiente. Con el propósito de reducir costos de transporte de los residuos, estos se pueden disponer temporalmente en estaciones de transferencia. Estas son instalaciones donde se trasladan los residuos desde los camiones recolectores a camiones de mayor tamaño (unidades de transferencia), con o sin compactación. En las estaciones de transferencia, se pueden realizar procesos de separación de reciclables y compostaje de residuos orgánicos.

Este elemento funcional comprende dos pasos: paso 1, transferencia de residuos desde un vehículo de recolección pequeño hasta un equipo de transporte más grande; y paso 2, transporte subsiguiente de los residuos, normalmente a través de grandes distancias, a un lugar de procesamiento o evacuación. La transferencia normalmente tiene lugar en las estaciones de transferencia. Aunque el transporte mediante vehículo motorizado es el más común, también se usan para el transporte de los residuos los vagones de ferrocarril y las barcazas (SEMARNAT, 2001).

#### **2.2.11.6. Tratamiento**

El tratamiento tiene como objetivo reducir la cantidad y peligrosidad de los desechos generados que van a disposición final. Se pueden distinguir tratamientos físicos, químicos y biológicos (SEMARNAT, 2001).

### 2.2.11.7. Disposición final

Esta es la última etapa en el manejo de los residuos. La disposición final consiste en el confinamiento definitivo de ellos en un lugar determinado. Para el caso de los residuos no peligrosos, aplican los rellenos sanitarios. Para los residuos peligrosos, los depósitos de seguridad. Para los residuos inertes una opción son los antiguos pozos de extracción de áridos, para así recuperar estos terrenos y aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios.

Un relleno sanitario o un depósito de seguridad, no es un basurero; es una instalación de ingeniería utilizada para la evacuación de residuos sólidos en el suelo o dentro del manto de la tierra, sin crear incomodidades o peligros para la seguridad o la salud pública, tales como la reproducción de ratas e insectos, y la contaminación de aguas subterráneas.

Cuando todos los elementos funcionales han sido evaluados para su uso, y todos los contactos y conexiones entre elementos han sido agrupados para una mayor eficacia y rentabilidad, entonces la comunidad ha desarrollado un sistema integral de gestión de residuos. En este contexto, la gestión integral de residuos sólidos (GIRS) puede ser definida como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos de gestión de residuos (SEMARNAT, 2001).

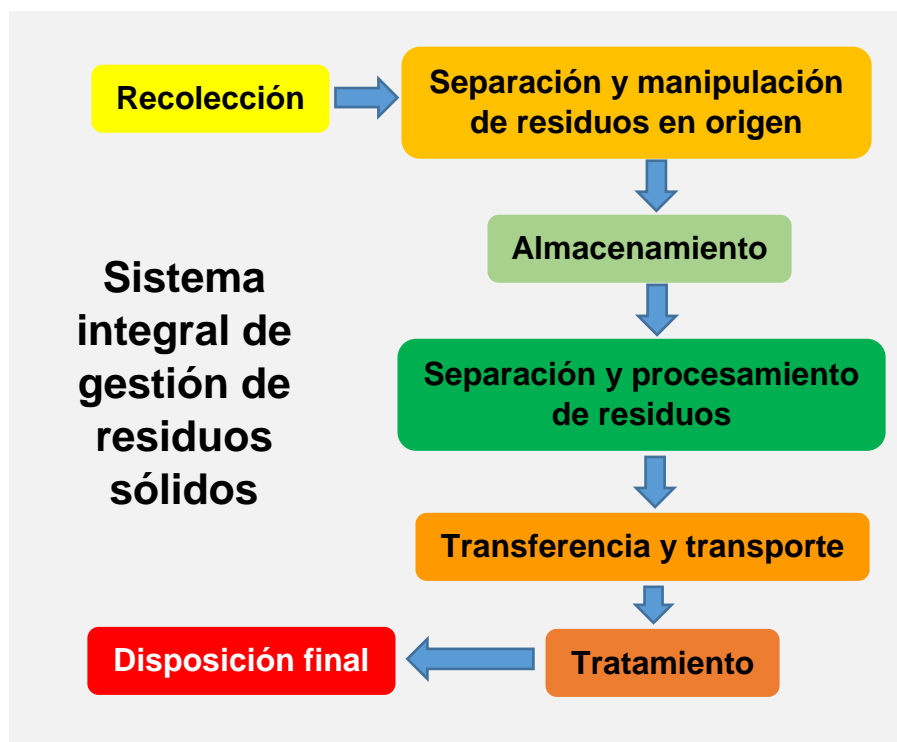


Figura 4. Etapas de un sistema integral de gestión de residuos sólidos.



## **2.3. Formulación de la hipótesis**

### **2.3.1. Hipótesis general**

El Sistema de Recojo de Residuos Sólidos en el Distrito de San Jerónimo - Cusco 2018 mejorará con la aplicación de la herramienta de programación lineal.

## **2.4. Variables**

### **2.4.1. Variables**

#### **Variable**

- Sistema de recojo

#### **Dimensiones**

- Procesos
- Rendimiento

#### **Indicadores**

- Sistema de recorrido
- Número de vehículos
- Kilómetros de rutas
- Número de rutas
- Uso de combustible
- Transporte



2.4.2. Operacionalización de Variables

Tabla 1. Cuadro de operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición práctica	Dimensiones	Indicadores
Sistema de recolección	Un sistema de recojo de residuos sólidos es un proceso ordenado y secuencial cuya finalidad es la recolección de los residuos domiciliarios y no domiciliarios generados por las actividades humanas cotidiana.	La optimización en el área administrativa ayuda a la gestión y planificación de mejoras en el proceso de trabajo y aumentar el rendimiento de las empresas.	<p><b>Procesos</b></p> <p>La optimización de procesos se refiere a llevar a cabo el análisis del proceso actual con el objetivo de detectar actividades que son susceptibles de ser mejoradas, debido a que presenten ineficiencias u obstáculos, lo que va permitir analizar y mejorar los kilómetros de recorrido como el número de rutas o recorridos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema de recorrido.</li> <li>- Número de vehículos.</li> <li>- Número de kilómetros de rutas.</li> <li>- Número de rutas.</li> <li>- Transporte.</li> <li>- Rendimiento (km/gal).</li> </ul>
	Para el funcionamiento eficiente del sistema con frecuencia se buscan métodos o procesos de optimización con la finalidad de optimizar varios índices que miden el desempeño dicho sistema.		<p><b>Rendimiento</b></p> <p>El rendimiento es la relación que hay entre la distancia que un camión puede recorrer y la cantidad de litros de combustible consumidos para recorrer dicha distancia; se expresa en kilómetros por litro (km/l). Dicho de otra manera, un vehículo determinado necesitará un litro de gasolina o diésel para recorrer una distancia específica.</p>	



## **2.5. Definición de los términos básicos**

### **2.5.1. Arcos**

Se denomina arco a un segmento de circunferencia. Un arco de circunferencia queda definido por tres puntos, o dos puntos extremos y el radio, o por la longitud de una cuerda y el radio (Wikipedia, 2017).

Representan los caminos, cables, tuberías, rutas de manejo, etc.

### **2.5.2. Equipos especializados para la recolección de residuos sólidos**

Son aquellos que por su diseño original están capacitados para la prestación del servicio de recolección (y posterior descarga) de basura con cierta comodidad, como son todos los vehículos compactadores de carga trasera y lateral, y algunos otros de carga lateral sin mecanismos de compactación pero con placa empujadora de basura.

### **2.5.3. Macrorruteo**

Es la asignación de vehículos recolectores a diversas áreas de la ciudad para realizar la recolección. El macrorruteo se puede hacer partiendo de una población en una zona de la ciudad, de la producción de basura en kilogramo por habitante por día y de la frecuencia del servicio expresado en días por semana.

### **2.5.4. Microrruteo**

Es el recorrido específico que deben cumplir diariamente los vehículos de recolección en las áreas de la población donde han sido asignados con el fin de recolectar de la mejor manera posible los residuos sólidos generados por los habitantes de dicha área. En general, la distribución de rutas involucra una serie de dificultades dado que no es un hecho trivial el designar la ruta óptima a seguir entre dos puntos determinados, considerando las restricciones que esto conlleva, si se toma en cuenta el método de recolección, las vialidades existentes, los horarios, etc.

### **2.5.5. Nodos**

Conjunto de puntos dentro de una red. Representan cruceros, aeropuertos, puntos de conmutación, entre otros.





### **2.5.6. Optimización**

De acuerdo al Diccionario de la Real Academia Española, optimización es la acción y efecto de optimizar. En palabras simples y breves, es buscar una mejor manera de realizar una actividad.

### **2.5.7. Sectorización**

Calificación de los diferentes sectores de la ciudad de acuerdo a criterios de la planificación.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se empleó para el presente estudio fue Aplicada, porque es una investigación a que aporta una solución inmediata a un problema específico.

#### 3.2. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es descriptiva–propositiva. Hernández, Fernández y Baptista (2010) indican que es descriptiva cuando solo se va describir fenómenos, situaciones, contextos y eventos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan, (...) es decir, únicamente pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren; y es propositiva porque planteará las estrategias pertinentes para mejorar la eficiencia del sistema de recojo de residuos sólidos de la municipalidad.

#### 3.3. Diseño de la investigación

El diseño fue no experimental–transversal. Hernández et al. (2010) sostienen que una investigación es no experimental cuando el investigador no propicia cambios intencionales en las variables estudiadas y porque se detectaron, identificaron y precisaron las condiciones óptimas del Sistema de Recojo de Residuos Sólidos Municipales en un punto específico.

#### 3.4. Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo. Según Hernández et al. (2010), una investigación es cuantitativa cuando utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías; asimismo, la recolección de datos se realizó a través de un instrumento y los datos fueron presentados en forma de números que son analizados estadísticamente.



### 3.5. Población y muestra de la investigación

#### 3.5.1. Población

La población está constituida por todo el Distrito de San Jerónimo, Provincia de Cusco, el cual alberga un total de 9,532 familias, según la propia Municipalidad.

#### 3.5.2. Muestra

Para definir el tamaño de la muestra se aplicó el método probabilístico y se utilizó la fórmula:

$$n = \frac{(p.q)Z^2.N}{(E)^2 (N - 1) + (p.q)Z^2}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra.

N: tamaño de la población o universo.

Z: constante que depende del nivel de confianza.

E: error muestral deseado (%).

p: proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio.

q: proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es 1-p.

Sustituyendo:

$$n = (0.5 \times 0.5 \times (1.96)^2 \times 9,532) / (((0.05)^2 \times 9,531) + (0.5 \times 0.5 \times (1.96)^2)).$$

$$n = 369.$$

Por lo tanto, la muestra para el presente trabajo está constituida por 369 familias.

Es preciso indicar que la encuesta inopinada propuesta en el ítem 4.2. de la investigación se aplicó de manera aleatoria en distintos puntos del distrito dado que la muestra contemplada se determinó de forma probabilística porque la población o universo del estudio son todos los habitantes de dicho distrito.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos en campo y gabinete se emplearon técnicas e instrumentos de investigación científica, que se definen en la tabla siguiente.

**Tabla 2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

<b>TÉCNICAS</b> Manera o forma de obtención de datos.	<b>INSTRUMENTOS</b> Herramientas que se utilizan para la recolección de datos.
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Encuesta.</li><li>▪ Revisión documental.</li><li>▪ Guías de observación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cuestionario</li><li>▪ Ficha de recojo de datos</li><li>▪ Guía documental</li><li>▪ GPS Garmin 64s Map</li><li>▪ Software GRAFOS</li><li>▪ Software Basecamp</li><li>▪ Google Earth y Google Maps</li><li>▪ Microsoft Excel</li></ul>



**Figura 5. GPS Garmin 64s Map, empleado en la verificación de rutas.**



**Figura 6. Laptop que se utilizó para ejecutar todos los componentes informáticos que se emplearon en la investigación.**

### **3.7. Procesamiento de datos**

En la elaboración de este trabajo de investigación contempló en la recolección de datos diferentes técnicas:

- Se elaboraron formatos de encuesta con la finalidad de ver si la población del distrito de San Jerónimo se encontraba satisfecha con el servicio de recojo de residuos sólidos que brinda la Municipalidad.
- Se utilizó la metodología del agente viajero para la recolección de datos de las 15 rutas, donde se observaron los puntos de recojo de residuos sólidos.
- El establecimiento de coordenadas geográficas de puntos de recorrido se utilizó un GPS GARMIN 64S MAP.



- La extracción de los datos obtenidos con el GPS se realizó con el software Basecamp, donde se procesaron los datos y se halló la equivalencia de coordenadas en el sistema WGS84 a coordenadas UTM.
- El software GRAFOS representa el modelo de una realidad empresarial en forma de red, relacionadas como la ingeniería de organización industrial, la logística y el transporte, investigación operativa, el diseño de redes, etc. Utilizando dicho programa, el modelo genera rutas óptimas, minimizando distancia como función objetivo y dado que el camión recorre todos los sectores en un día.
- Primero se representó el modelo del servicio en forma de red de nodos, donde cada nodo representa una esquina o la intersección de las calles o una parada prolongada, para continuar a otro punto de manera directa, voltear a la izquierda o derecha, o voltear en U.

La fórmula objetivo necesita multiplicar las veces que se utiliza cada arco por una constante asociada al costo del arco. Esta constante se define en base al tipo de recorrido del vehículo. Esto es a velocidad baja y constante, por tal motivo, tomando en cuenta las características de un vehículo común, el gasto en combustible diésel y por ende los costos asociados dependerán directamente de la distancia recorrida. La distancia recorrida será la constante asociada.

Las aristas representan una cuadra de una calle determinada por dos nodos con la siguiente información:

- Distancia: longitud de la calle o avenida.
- Sentido de la calle o avenida: unidireccional (un sentido) o bidireccional (doble sentido).
- Estado de la cuadra: habilitada (se puede transitar) o inhabilitada (no se puede transitar).
- Además, se tuvo en cuenta la siguiente información:
  - Consumo de combustible.
  - Costo del combustible.
  - Kilómetros recorridos.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

Para enfocar la situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos es primordial entender dicha labor a partir de la opinión que los habitantes tienen de la calidad del servicio de limpieza pública desarrollado por la Municipalidad Distrital de San Jerónimo. Por eso se elaboró una encuesta que fue aplicada de manera inopinada a vecinos del distrito en diferentes lugares y a diferentes horas del día, sin distinción de sexo y preferentemente mayores de edad.

Posteriormente se analizó detalladamente la situación actual de todas las rutas del servicio de limpieza pública, específicamente sobre las condiciones del trabajo de recolección de residuos sólidos efectuado por los camiones compactadores y personal de limpieza con que cuenta el municipio distrital. Así, en base a la información recogida en campo mediante las técnicas e instrumentos de estudio, se procesaron los datos cuantitativos a través del análisis descriptivo e inferencial, con los cuales se procuró al detalle lograr los objetivos mediante cuadros estadísticos, gráficos de acuerdo a las hipótesis de trabajo, fotografías y diagramas de flujo que se relacionan con cada una de las variables.

Se aplicaron los instrumentos de recolección de datos con los que se obtuvo la información de rutas actuales y se aplicó un modelo de mejoramiento de rutas basado en programación lineal que optimiza la recolección de residuos sólidos beneficiando a la población de San Jerónimo. Los gráficos se desarrollaron mediante el software GRAFOS y la metodología para el análisis de datos se desarrolló mediante el método del agente viajero.

#### **4.1. Percepción local del servicio de recolección de residuos sólidos**

Cada persona o familia tiene una percepción u opinión acerca del servicio de limpieza pública que recibe de la municipalidad. Algunas opiniones pueden coincidir masivamente, otras pueden ser casos aislados debido a situaciones diversas que modifican la calidad del servicio.

Si la opinión es buena o mala respecto al servicio que reciben los habitantes del distrito, se puede averiguar aplicando algún instrumento que incida de manera directa sobre las personas. En ese entender, se aplicó una encuesta cuyos resultados permitieron ver cómo asimila la población el servicio de recolección de residuos sólidos, y anticipar y prevenir algún impacto negativo que la modificación de las rutas podría tener sobre ella.

## 4.2. Encuesta de opinión acerca del servicio de recolección de residuos sólidos

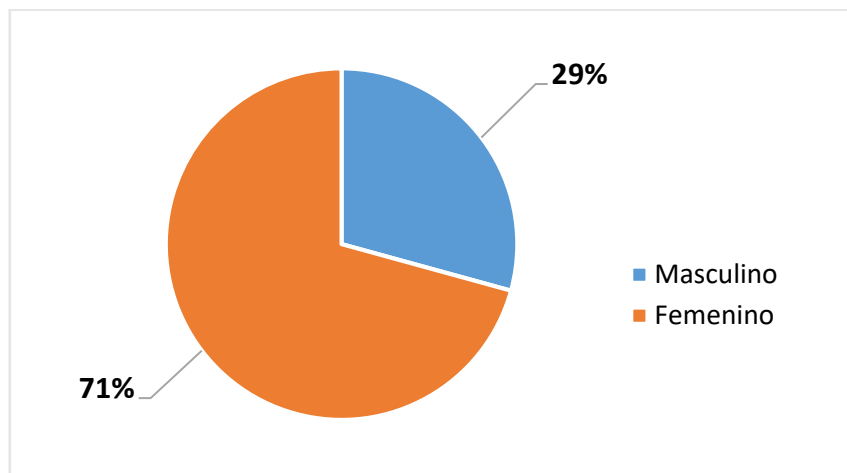
Conocer las costumbres de la población referentes a la generación y disposición de residuos sólidos es fundamental para sustentar los objetivos propuestos por la investigación. También es importante conocer la opinión que los vecinos del distrito de San Jerónimo tienen del servicio de limpieza pública que perciben de la municipalidad.

A continuación se muestran las tablas y sus respectivos diagramas que ayudan a entender los resultados de los cuestionarios en los cuales participó la población local. La validación de la encuesta aplicada se observa en la sección C. de Anexos.

### 4.2.1. Información general

**Tabla 3. Pregunta N° 1: Sexo del encuestado.**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	Masculino	108	29%
2	Femenino	261	71%
<b>TOTAL</b>		369	100%



**Figura 7. Sexo del encuestado.**

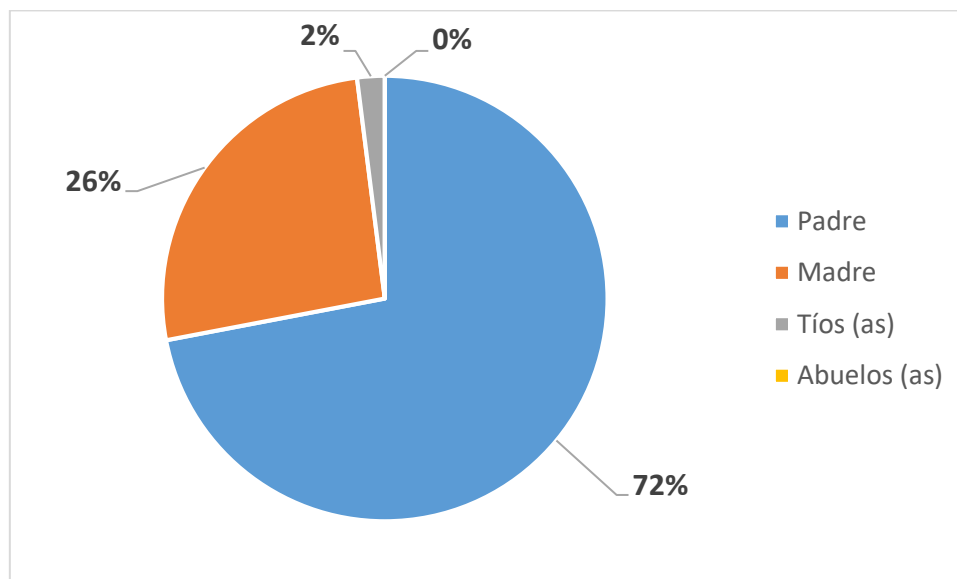
En la Figura 7 se observa que 71% de las personas que colaboraron respondiendo las preguntas formuladas por la encuesta es de sexo femenino y 29% de los encuestados son de sexo masculino. La aplicación de la encuesta fue inopinada y aleatoria, y es preciso aclarar que al



abordar a las personas fueron las mujeres las más accesibles a responder. Lo anterior concuerda con el hecho de que por lo general son las mujeres quienes realizan las labores de aseo del hogar; entendido de esa forma, quien se ocupa de la higiene de la casa es quien, por lo general, determina la configuración de los desechos; también influyen las costumbres y usos comunes de las familias en la composición de la basura doméstica.

**Tabla 4. Pregunta N° 2: ¿Quién es el jefe de familia en casa?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	Padre	267	72%
2	Madre	96	26%
3	Tíos (as)	6	2%
4	Abuelos (as)	0	0%
<b>TOTAL</b>		369	100%



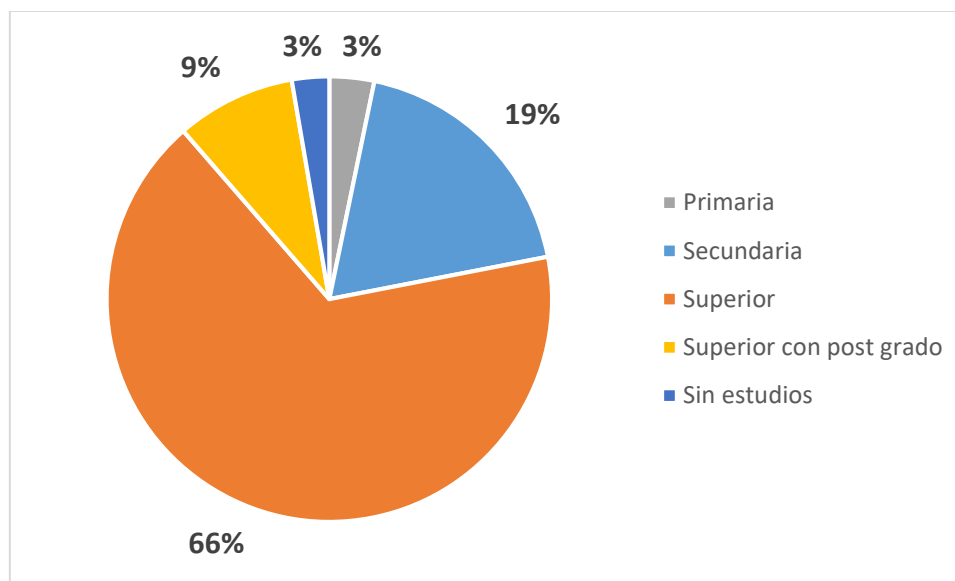
**Figura 8. El jefe de familia en casa.**

En el diagrama mostrado en la Figura 8 se puede ver que 72% de las personas que accedieron a la encuesta afirman que el jefe de familia es el padre, mientras el 26% indican que es la madre quien lidera el hogar. Un pequeño 2% sostiene que sus tíos o tías guían la vida en casa.

Entonces, se verifica que la mayoría de hogares en el distrito tienen una configuración patriarcal tradicional familiar, donde el padre de familia es quien lidera y sostiene el hogar.

**Tabla 5. Pregunta N° 3: ¿Cuál es el grado de instrucción del jefe de familia?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	Primaria	12	3%
2	Secundaria	69	19%
3	Superior	246	67%
4	Superior con post grado	32	9%
5	Sin estudios	10	3%
<b>TOTAL</b>		<b>369</b>	<b>100%</b>



**Figura 9. Grado de instrucción del jefe de familia.**

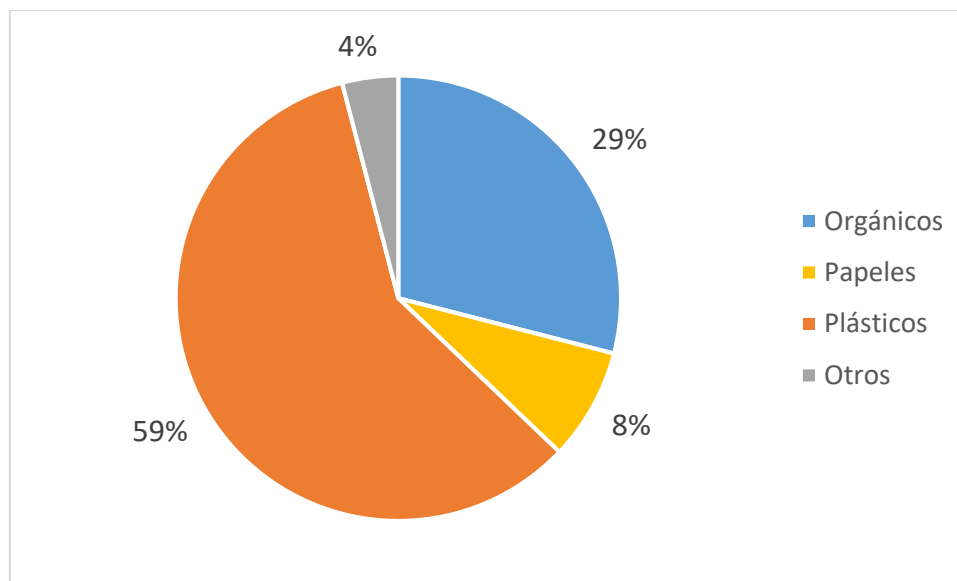
En la Figura 9 se puede apreciar que 66% de encuestados afirma que el jefe de familia tiene instrucción superior. Sigue la instrucción secundaria (completa o incompleta) con 19%. Es interesante ver que de la muestra considerada, un nada despreciable 9% indica tener formación profesional a nivel de post grado; esto podría deberse a la influencia de las familias de la zona residencial de Larapa. Finalmente, un 3% indica que el líder de casa no tiene estudios; igualmente otro 3% asevera que la cabeza de hogar tiene instrucción a nivel primario.

#### 4.2.2. Información sobre la generación de residuos sólidos urbanos

Un factor importante para sustentar de manera más científica el trabajo de investigación desarrollado es conocer la naturaleza de los residuos sólidos urbanos generados por la población del distrito de San Jerónimo.

**Tabla 6. Pregunta N° 4. ¿Qué tipo de residuos desecha más en casa?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	Orgánicos	107	29%
2	Papeles	30	8%
3	Plásticos	217	59%
4	Otros	15	4%
<b>TOTAL</b>		<b>369</b>	<b>100%</b>



**Figura 10. Tipo de residuos sólidos generados en casa.**

La Figura 10 demuestra que un alarmante 59% de encuestados desecha plásticos en sus diferentes formas. El plástico es un agente contaminante que en la actualidad incide mucho en la degradación de los ecosistemas; esto como comentario y no es objeto de estudio en esta tesis. Luego, 29% afirma que la mayor parte de sus desechos son residuos de alimentos, es decir, cáscaras de verduras y sobras de los alimentos que habitualmente se ingieren en los hogares; estos residuos pueden ser empleados para fabricar compost u otro tipo de abonos naturales para el suelo. Asimismo, es importante destacar que un 8% de entrevistados indica que lo que más

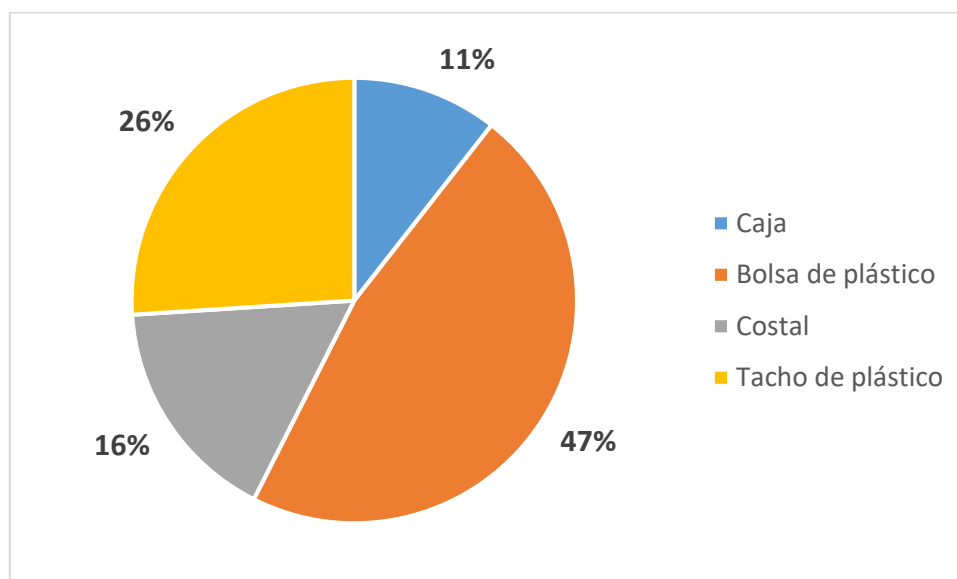
se arroja a la basura en casa es papel o algún tipo de objeto hecho en base a papel, como periódicos y revistas, cuadernos usados y, en gran parte, papel higiénico utilizado de manera cotidiana. El 4% hace referencia a otro tipo de residuos que predominan respecto a la cantidad eliminada, como metales, caucho y gomas, maderas, etc.

#### 4.2.3. Información sobre el tratamiento que la población da a los residuos sólidos

También es importante conocer cuál es el tratamiento que los pobladores del distrito dan a los residuos sólidos que generan en sus predios antes de que el personal de limpieza pública acuda a recolectar los desechos.

**Tabla 7. Pregunta N° 5: ¿En qué tipo de recipiente acumula los residuos en casa?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	Caja	39	11%
2	Bolsa de plástico	173	47%
3	Costal	61	17%
4	Tacho de plástico	96	26%
<b>TOTAL</b>		<b>369</b>	<b>100%</b>

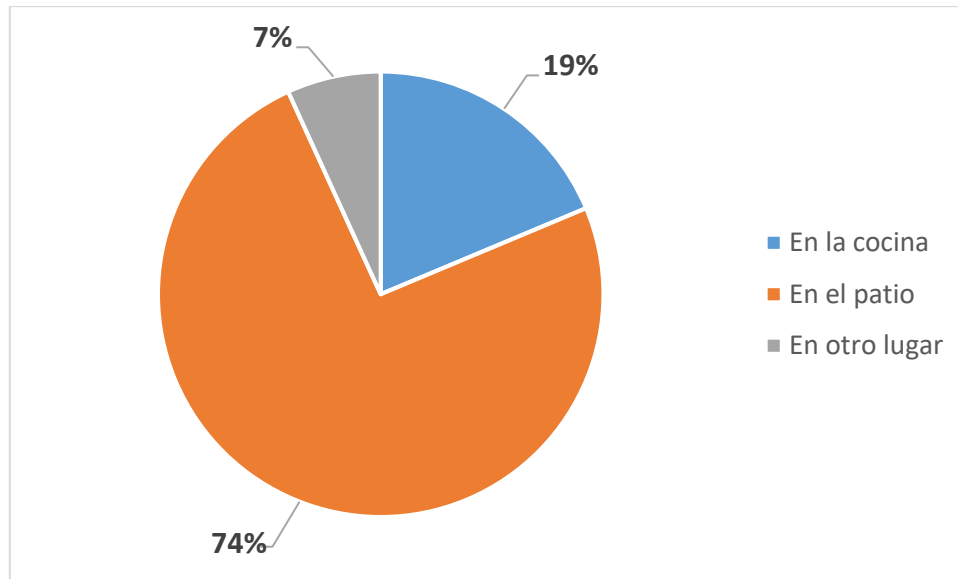


**Figura 11. Recipiente donde se acumulan los residuos en casa.**

En la Figura 11 se muestran los resultados que dieron los encuestados sobre el recipiente o contenedor temporal donde colocan los residuos que producen en sus hogares. En primer lugar, 47% de respuestas afirman que la basura casera se acumula en bolsas de plástico, lo cual es una solución bastante práctica y sencilla debido a que los usuarios del servicio de limpieza pública nunca esperan recuperar sus bolsas; sin embargo, juntar la basura en ese tipo de envases puede generar la descomposición de los residuos orgánicos ya que no permite una adecuada ventilación, lo cual puede convertirse en un potencial foco de infecciones estomacales, fuente de lixiviados y punto de convergencia de moscas. Similar interpretación requiere el 26% de opiniones que aseguran que la basura doméstica se reúne en tachos de plástico; la diferencia con el caso anterior es que las personas no desechan el tacho, lo cual es una alternativa más amigable con el medio ambiente, pero puede presentar los mismos problemas que originan las bolsas de plástico. Asimismo, 16% de las respuestas dicen que acumulan la basura en costales; el costal es un material no hermético que permite el flujo de aire y retrasa el proceso de descomposición de los residuos orgánicos, pero tiene la desventaja de que muchas veces es empleado como envase de un solo uso, por lo que gran número de persona desechan la basura junto con el costal y no recuperan el envase; la rafia con que fabrican los costales tiene su origen en base a los mismos polímeros con que se fabrica el plástico. Por último, 11% de encuestados manifiestan que la basura la juntan en cajas de cartón lo cual es una solución amigable con el ambiente, pero tiene la desventaja de que el cartón es un material poco resistente a la humedad, por lo que se debe tener cuidado de no dañarlo por humedecimiento; por lo general se desecha junto con los residuos que contienen.

**Tabla 8. Pregunta N° 6: ¿En qué lugar de la casa se ubica el recipiente de residuos sólidos?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	En la cocina	74	19%
2	En el patio	295	74%
3	En otro lugar	27	7%
	<b>TOTAL</b>	396	100%

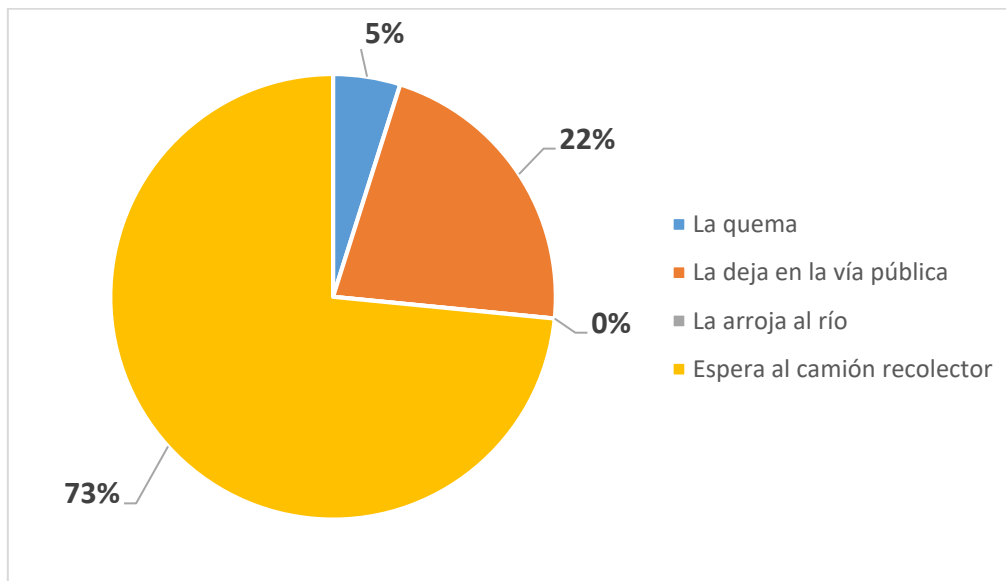


**Figura 12. Ubicación del recipiente de residuos en casa.**

Convencionalmente las familias suelen ubicar sus receptáculos de residuos sólidos en el patio de los predios, lo cual se ve confirmado en el diagrama de la Figura 12: 74% de los entrevistados indica que el tacho o bolsa de desechos está en alguna zona del patio de su casa donde no ocasione molestias ni incomodidades. No menos importante es el 19% que señala que el contenedor doméstico de basura se encuentra en la cocina, donde por lo general la mayoría de residuos son de origen orgánico; sin embargo, de no haber una costumbre de desalojo de basura casi cotidiana en el hogar, un tacho en la cocina significa una potencial fuente de infecciones. Luego, 7% de personas que colaboraron con el cuestionario manifiesta que tiene el receptor casero de basura en otros lugares, como el baño, azoteas, jardines e incluso colgado de alguna pared dentro o fuera de casa. Estos resultados ayudan a conocer las costumbres domésticas de higiene que predomina entre los habitantes del distrito.

**Tabla 9. Pregunta N° 7: Cuando la basura se acumula durante varios días, ¿qué hace con ella?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	La quema	18	5%
2	La deja en la vía pública	80	22%
3	La arroja al río	0	0%
4	Espera al camión recolector	271	73%
<b>TOTAL</b>		369	100%



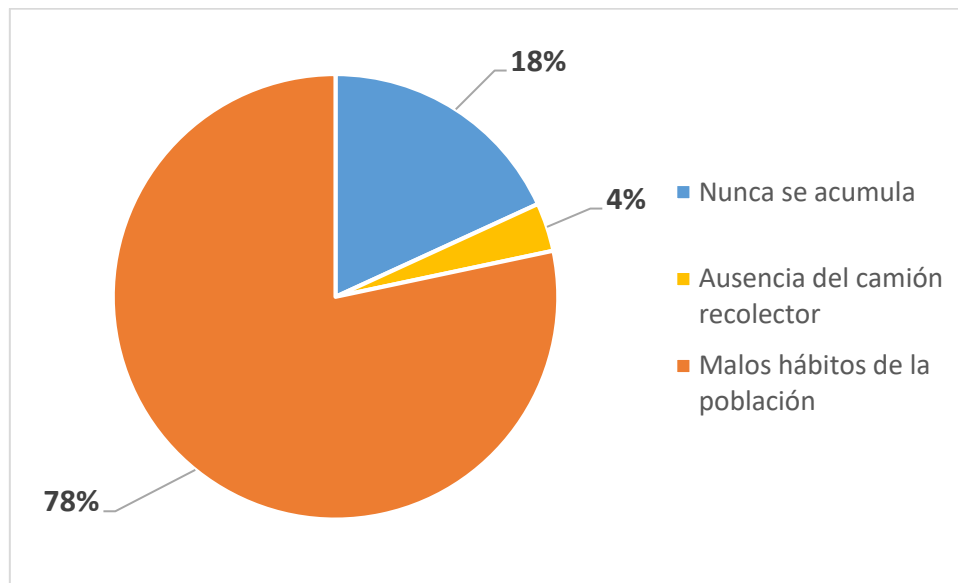
**Figura 13. Acciones ante la acumulación de residuos sólidos en casa.**

En la Figura 13 se puede apreciar que 73% de entrevistados indica que cuando la basura se acumula en casa durante varios días prefieren conservarla hasta que el camión recolector pase por su sector, lo cual es indicio de una costumbre muy saludable ya que las personas optan por no ensuciar la calle ni contaminar el medio ambiente. Sin embargo se puede evidenciar que el 22% prefiere no esperar al recolector y deciden echar la basura en la vía pública, actitud que va contra la estética de su barrio y contribuye a la contaminación del ambiente. Un pequeño pero nada despreciable 5% afirma que quema los residuos sólidos, que es una manera de deshacerse de la basura completamente nociva para el medio ambiente y muy dañina para la salud de las personas.

Los resultados son alentadores ya que la mayoría de familias prefiere no ensuciar su entorno urbano y espera el arribo del camión recolector; actitud responsable que va en crecimiento.

**Tabla 10. Pregunta N° 8: ¿Por qué cree que la basura se acumula en las calles?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	
1	Nunca se acumula	67	18%
2	Ausencia del camión recolector	13	4%
3	Malos hábitos de la población	289	78%
<b>TOTAL</b>		369	100%



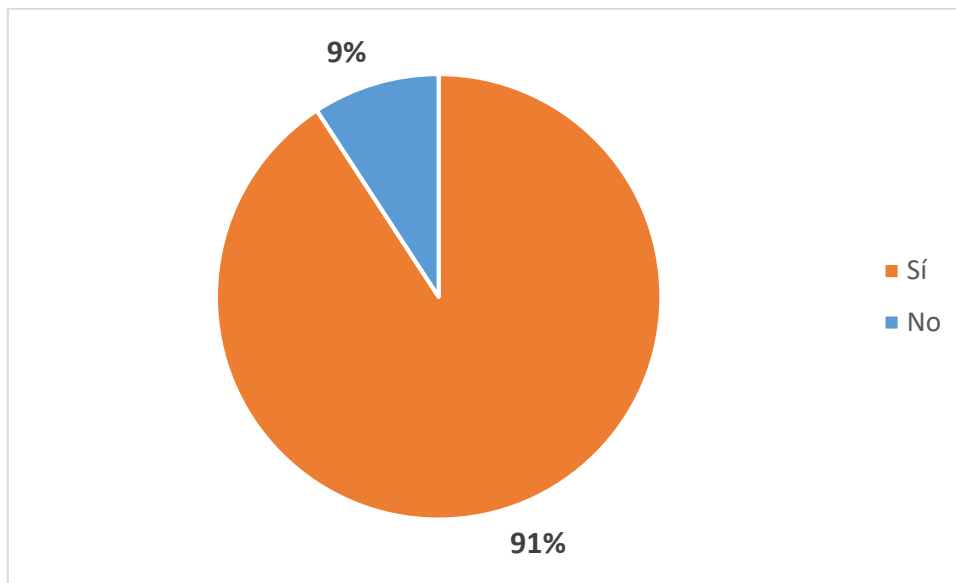
**Figura 14. Causas de la acumulación de residuos sólidos en las calles.**

La Figura 14 pone en evidencia que los malos hábitos de algunas personas respecto a la higiene son la principal causa de la acumulación de basura en las calles del distrito. Así lo corrobora el 78% de entrevistados que confirma que los principales causantes de la presencia de residuos sólidos en la vía pública son los vecinos que irresponsablemente colocan sus desechos en las veredas y jardines, y no esperan al camión recolector. No obstante, un 18% opina que nunca ocurre acumulación de basura en las calles. Por último, 4% de los colaboradores afirma que el camión recolector nunca acude a su sector, lo cual puede deberse a diferentes motivos que no son objeto de estudio en esta investigación. Entonces es posible afirmar que la población es la directa causante de la aparición de residuos sólidos en las calles debido a una falta de cultura de higiene a nivel de sociedad, lo cual podría mejorarse a través de charlas y talleres de sensibilización sobre el tema de limpieza pública.

**Tabla 11. Pregunta N° 9: ¿Estaría Ud. dispuesto a separar sus residuos sólidos para facilitar su reciclaje?**

Ord.	Respuesta	frecuencia	%
1	Sí	335	91%
2	No	34	9%
<b>TOTAL</b>		369	100%





**Figura 15. Opinión de las personas sobre la posibilidad separar residuos sólidos.**

La Figura 15 es muy importante porque describe de manera precisa la cultura ambiental de las personas. En ese sentido, es grato saber que 91% de las personas encuestadas sí estarían dispuestas a separar los residuos que se generan en casa con la finalidad de propiciar su reciclaje, de ser posible ello, y facilitar su disposición final. Solamente un 9% indica que no tiene interés en separar sus desechos.

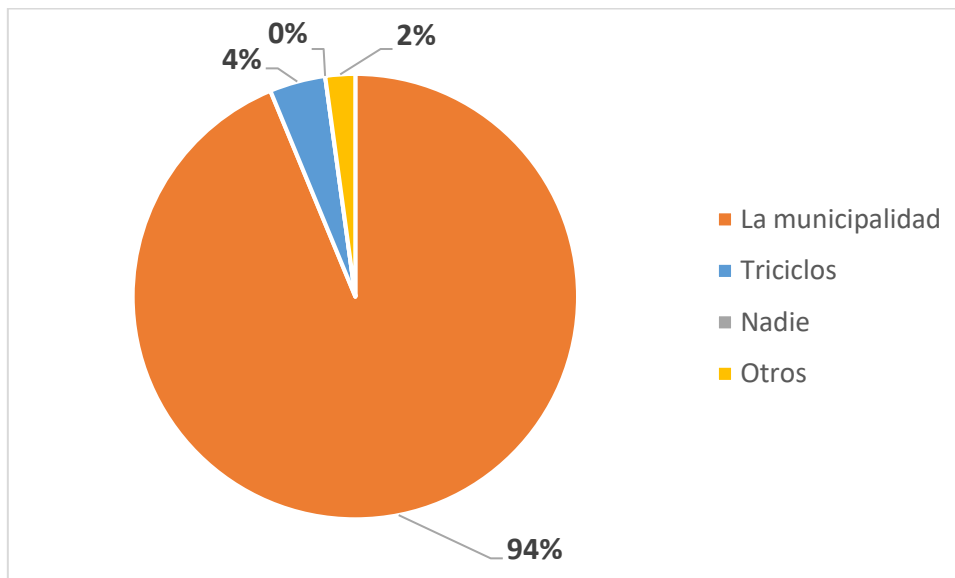
Se puede decir además, como comentario respecto al párrafo anterior, que se hace evidente que las personas tienen la intención de contribuir con la conservación del medio ambiente y colaborar con las autoridades para que dicho propósito se lleve a cabo en el distrito. Para lograr que más personas contribuyan a la preservación del ambiente a través de la selección y separación de residuos sólidos de acuerdo a su naturaleza, sería apropiado y conveniente que las autoridades competentes organicen charlas y talleres de sensibilización con participación activa de la población. Mantener informada a la comunidad acerca de las actividades de limpieza pública que viene desarrollando el distrito es también una actividad que contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente y al bienestar de las personas.

#### 4.2.4. Percepción de la población acerca del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos

Este es el punto más importante de la encuesta aplicada pues permite conocer cuál es la opinión de los vecinos del distrito acerca del servicio de limpieza pública, de la recolección de residuos sólidos y de su calidad. Esta información sirve para consolidar los resultados finales obtenidos.

**Tabla 12. Pregunta N° 10: ¿Quién realiza el servicio de recolección de residuos sólidos en su barrio?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	La municipalidad	346	94%
2	Triciclos	15	4%
3	Nadie	0	0%
4	Otros	8	2%
<b>TOTAL</b>		<b>369</b>	<b>100%</b>



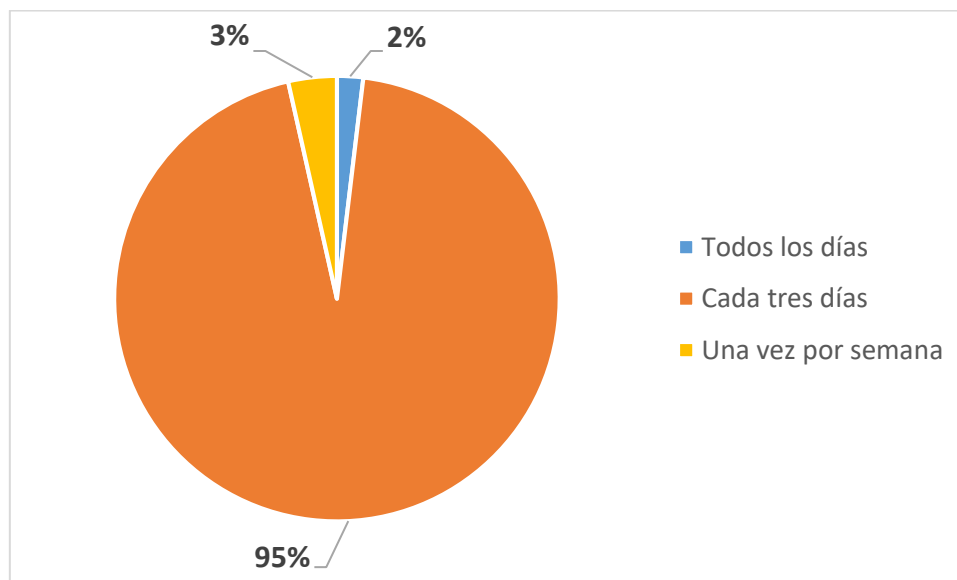
**Figura 16. Encargado de la recolección de residuos sólidos.**

Tras analizar la Figura 16, se confirma que el servicio de limpieza pública del distrito atiende casi por completo a todas las familias residentes ya que el 94% afirma que es la comuna la que recoge sus residuos sólidos. Luego, un 4% dice que la basura es recolectada por personas que

van en triciclos, pero no pueden detallar con certeza si dichas personas trabajan para alguna entidad o si son trabajadores que obtienen algún rédito por coleccionar la basura. Asimismo, 2% de los encuestados afirma que el recojo de basura se realiza por otros medios, donde los recicladores —de metales, plásticos o residuos orgánicos— son los principales agentes de recolección particular; sin embargo las personas afirman que en esa labor muchas personas desparraman los desechos y contribuyen a que la vía pública se ensucie más. De esa manera, se confirma la importancia que tiene el servicio municipal de recolección de basura para los residentes del distrito.

**Tabla 13. Pregunta N° 11: ¿Con qué frecuencia cree Ud. que el camión recolector debería pasar por su sector?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	Todos los días	7	2%
2	Cada tres días	349	95%
3	Una vez por semana	13	4%
<b>TOTAL</b>		369	100%



**Figura 17. Preferencias sobre la frecuencia de recolección de residuos sólidos.**

En la Figura 17 se puede apreciar las preferencias sobre la frecuencia de recolección de residuos sólidos inciden de manera mayoritaria sobre la opción de contar con el servicio de manera

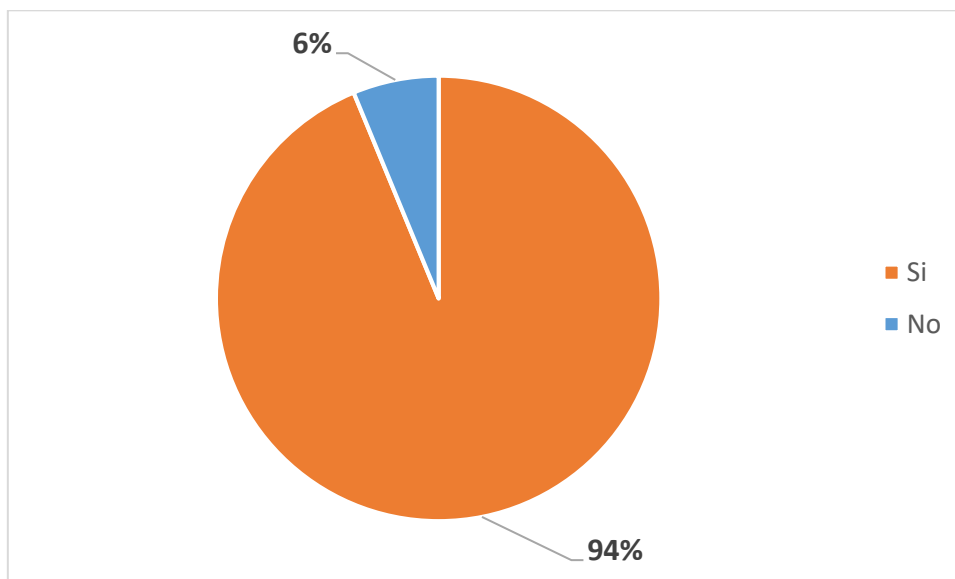
intercalada; por eso, 95% de opiniones considera que una frecuencia de recolección cada tres días, como habitualmente es el distrito, es apropiada. Lo anterior puede deberse a diferentes factores, como los hábitos de consumo de las familias y las actividades que se realizan en los hogares; también es importantes considerar el factor que supone la disponibilidad de tiempo de las personas para atender la necesidad de acudir a un vehículo recolector de residuos para dejar los desechos de sus casas.

En extremos completamente opuestos se encuentran quienes consideran que el camión recolector debería circular una vez por semana (3%) y los que estarían de acuerdo con que dicha unidad vehicular sirva a la población todos los días (2%). Ambas son opiniones que dependen en gran medida de las costumbres domésticas de las familias y de sus actividades cotidianas.

De esa manera se comprueba que la gente del distrito está conforme con la frecuencia de prestación del servicio de limpieza pública que presta la comuna distrital.

**Tabla 14. Pregunta 13: ¿Está Ud. satisfecho con el servicio de recolección de residuos sólidos que presta la municipalidad del distrito?**

Ord.	Respuesta	Frecuencia	%
1	Si	346	94%
2	No	23	6%
<b>TOTAL</b>		369	100%



**Figura 18. Satisfacción de las personas con el servicio de recolección de residuos.**



La Figura 18 muestra que el 94% de entrevistados opina que sí está satisfecho con el servicio de recolección de residuos sólidos que ofrece la municipalidad distrital; esto se debe a factores como la puntualidad y calidad del servicio, según opinión de los encuestados. En el vértice opuesto se encuentra el 6% que afirma que el servicio no satisface sus expectativas por las demoras e irregularidad temporal, así como por las deficiencias que aprecian durante las labores de recolección.

El análisis anterior permite ver que la población se encuentra mayoritariamente conforme con el servicio que le presta la municipalidad distrital, lo cual va en favor de la gestión que dirige la comuna. Además, la conformidad de los pobladores con las labores de recolección es síntoma de concordancia con las políticas de interacción vecino–autoridad que propone el gobierno municipal.

### 4.3. Capacidad actual de maquinaria

Para analizar la capacidad de atención que es capaz de brindar la unidad de recolección de residuos sólidos en camiones es preciso ver de manera amplia los detalles del servicio.

**Tabla 15. Detalles del sistema de recolección de residuos sólidos por vehículo recolector, capacidad y tiempo de trabajo.**

Camión compactador (placa)	Ruta (Nº)	Días de servicio	RSU por día (Tn/día)	Viajes a relleno sanitario (Nº)	RSU por mes (Tn/mes)	Horario de trabajo
EGB-059	1	Lunes y Jueves	8	8	64	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
	6	Martes y Viernes	8	8	64	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
	12	Miércoles y Sábados	8	8	64	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
EGZ-263	2	Lunes y Jueves	11	8	88	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
	7	Martes y Viernes	11	8	88	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
	13	Miércoles y Sábados	11	8	88	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
EGJ-956	3	Lunes y Jueves	8	8	64	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
	8	Martes y Viernes	8	8	64	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
	11	Miércoles y Sábados	8	8	64	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
EGM-031	4	Lunes y Jueves	9	8	72	5:00 a.m. a 2:00 p.m.
	9	Martes y Viernes	9	8	72	5:00 a.m. a 2:00 p.m.
	14	Miércoles y Sábados	9	8	72	5:00 a.m. a 2:00 p.m.
EGM-630	5	Lunes y Jueves	6	8	48	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
	10	Martes y Viernes	6	8	48	5:30 a.m. a 2:30 p.m.
	15	Miércoles y Sábados	6	8	48	5:30 a.m. a 2:30 p.m.

**Total= 1008**

La Tabla 15 muestra una compilación de datos sobre cada una de las unidades vehiculares, las rutas que cubren de acuerdo al día de la semana y, lo que es más importante, la cantidad de desechos por viaje que cada una es capaz de acumular. También se detalla la cantidad de viajes



que realiza al relleno sanitario de Jaquira, así como la cantidad de residuos que puede coleccionar en un mes, la cual llega a un peso total de 1008 toneladas de residuos sólidos que mensualmente se producen en el distrito de San Jerónimo. El consolidado anterior es una apreciación nominal dado que las variables que intervienen a diario en las labores de recolección condicionan variaciones tanto en recorrido como en cantidad de desechos colectados, sin embargo es preciso aclarar que dicho análisis no es competencia de este estudio.

Tras realizar la acotación precedente es posible esquematizar y analizar las implicancias que cada ruta de recolección de residuos sólidos supone para el estudio global que se desea desarrollar.

#### **4.4. Situación actual de las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de San Jerónimo**

Antes de realizar una propuesta o plantear un plan de mejora, es imprescindible conocer plenamente la realidad física, actual y real de lo que se desea mejorar.

A partir de la información suministrada a los tesisistas por la municipalidad distrital de San Jerónimo y por los datos obtenidos en campo recorriendo junto a los camiones, mediante el método del agente viajero anteriormente descrito, y a través de la obtención de las coordenadas geográficas con asistencia satelital de todo el recorrido, se pudo realizar un mapa de recorrido o *ruteo* para cada ruta de recolección de residuos sólidos urbanos establecida por las autoridades.

En el caso de la propuesta de mejora del servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo, fue preciso realizar las gestiones necesarias para tener acceso a información del municipio distrital sobre su unidad de limpieza pública, así como lograr la autorización para acompañar a las unidades vehiculares y sus trabajadores y observar *in situ* cómo es que se desarrolla la labor de limpieza.

Asimismo, se analizaron los datos proporcionados por la autoridad distrital y se tuvo cuidado en cotejar que haya concordancia entre lo observado en campo y la información nominal suministrada por la entidad prestadora del servicio. De esa manera recién se pudo proceder a la evaluación fáctica de todo el sistema que compone el servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito.



Como ya se comentó, la unidad de limpieza pública del municipio dispone de cinco (05) unidades vehiculares para las labores de recolección de los residuos sólidos generados por los moradores del distrito. Cada uno de los camiones recolectores tiene una capacidad de acumulación y, además, tiene asignadas diferentes rutas que deben cubrir en días y horas determinadas.

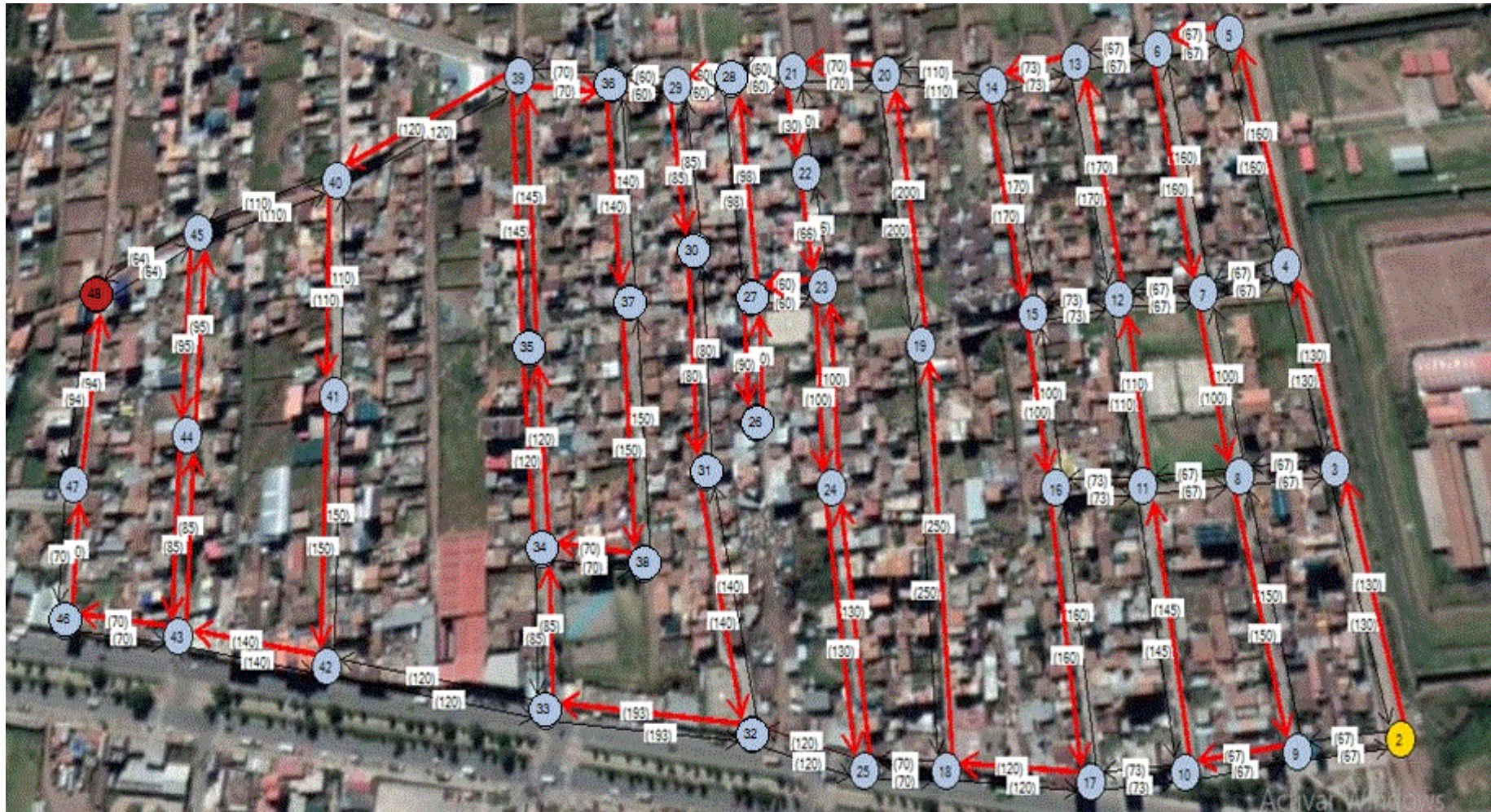
Asimismo, cada vehículo tiene un consumo nominal de combustible que sustenta el presupuesto asignado por la comuna para las labores de salubridad en el distrito.

Las labores de recolección de residuos sólidos dependen mucho de las características de los residuos sólidos que se generan en los predios. Pero también es muy influyente las costumbres y actitudes que la población toma con respecto a los desechos que generan; dicho aspecto se entiende a partir de la encuesta aplicada, para entender mejor el impacto social y aceptación del servicio por parte de la población, pero este tema no es asunto del estudio y se enuncia como un comentario que puede aclarar mejor el panorama de lo que se investiga.

#### **4.4.1. Situación actual de la ruta n.º 1**

La ruta n.º 1 desarrolla su trayectoria de manera sinuosa entre el penal de Qenqoro y el barrio de Monterrico adyacente a Larapa por el oeste. El entorno de desarrollo del recorrido es totalmente urbano y la mayoría de calles por donde pasa la ruta están pavimentadas.





Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 19. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 1.



La Figura 19 muestra de manera detallada el recorrido asignado a lo que la autoridad encargada conoce como **ruta n.º 1**. Con ayuda de una toma fotográfica satelital se pudo recrear una secuencia de recorridos y direcciones que debe recorrer cada unidad motorizada para completar sus actividades diarias.

**Modelamiento de la ruta n.º 1**

A continuación se muestra una secuencia de nodos y lazos orientados desarrollados con el programa informático GRAFOS. Dicho programa permitió establecer una secuencia ordenada y lógica que caracteriza a cada una de las rutas que ha dispuesto el municipio distrital; el mismo análisis sirvió para realizar la propuesta de mejora de cada ruta como se ve más adelante, en el apartado 4.5.

La secuencia de cálculo y desarrollo realizada por el software es:

**Modelo (Ruta “1” Actual)**

VARIABLES DE DECISIÓN:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Función objetivo:**

$$\text{Minimizar: } Z = 130X_{2,3} + 130X_{3,2} + 67X_{2,9} + 67X_{9,2} + 130X_{3,4} + 130X_{4,3} + 67X_{3,8} + 67X_{8,3} + \dots + 94X_{47,48} + 94X_{48,47} + 64X_{48,45} + 64X_{45,48}$$

Sujeto a:

$$\text{Nodo 2: } X_{2,3} + X_{2,9} = 1$$

$$\text{Nodo 3: } X_{3,2} + X_{3,4} + X_{3,8} = 1$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

$$\text{Nodo 47: } X_{47,46} + X_{47,48} = 1$$

$$\text{Nodo 48: } X_{48,47} + X_{48,45} = 1$$

$$X_{i,j} = 0,1$$

El mismo análisis se repitió con las 14 rutas restantes.



**Solución óptima encontrada**

Tiempo de proceso = 3 segundos

lp\_solve -> 0

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_22_21:: 24 --> 23 =	1
x_7_0:: 9 --> 2 =	0	x_29_21:: 31 --> 23 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_21_22:: 23 --> 24 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_23_22:: 25 --> 24 =	1
x_6_1:: 8 --> 3 =	0	x_16_23:: 18 --> 25 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_22_23:: 24 --> 25 =	1
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_24_23:: 26 --> 25 =	0
x_5_2:: 7 --> 4 =	0	x_23_24:: 25 --> 26 =	0
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_25_24:: 27 --> 26 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_34_24:: 36 --> 26 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_24_25:: 26 --> 27 =	0
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_26_25:: 28 --> 27 =	1
x_11_4:: 13 --> 6 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	0
x_2_5:: 4 --> 7 =	0	x_27_26:: 29 --> 28 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_26_27:: 28 --> 29 =	0
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_28_27:: 30 --> 29 =	1
x_10_5:: 12 --> 7 =	0	x_31_27:: 33 --> 29 =	0
x_1_6:: 3 --> 8 =	0	x_19_28:: 21 --> 30 =	0
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_27_28:: 29 --> 30 =	0
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_29_28:: 31 --> 30 =	1
x_9_6:: 11 --> 8 =	0	x_21_29:: 23 --> 31 =	1
x_0_7:: 2 --> 9 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	0
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_30_29:: 32 --> 31 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_27_31:: 29 --> 33 =	0
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_32_31:: 34 --> 33 =	0
x_15_8:: 17 --> 10 =	0	x_37_31:: 39 --> 33 =	1
x_6_9:: 8 --> 11 =	0	x_31_32:: 33 --> 34 =	1



$x_{8_9}:: 10 \rightarrow 11 = 1$	$x_{33_32}:: 35 \rightarrow 34 = 0$
$x_{10_9}:: 12 \rightarrow 11 = 0$	$x_{32_33}:: 34 \rightarrow 35 = 1$
$x_{14_9}:: 16 \rightarrow 11 = 0$	$x_{35_33}:: 37 \rightarrow 35 = 0$
$x_{5_10}:: 7 \rightarrow 12 = 0$	$x_{24_34}:: 26 \rightarrow 36 = 1$
$x_{9_10}:: 11 \rightarrow 12 = 1$	$x_{35_34}:: 37 \rightarrow 36 = 0$
$x_{11_10}:: 13 \rightarrow 12 = 0$	$x_{40_34}:: 42 \rightarrow 36 = 0$
$x_{13_10}:: 15 \rightarrow 12 = 0$	$x_{33_35}:: 35 \rightarrow 37 = 1$
$x_{4_11}:: 6 \rightarrow 13 = 0$	$x_{34_35}:: 36 \rightarrow 37 = 1$
$x_{10_11}:: 12 \rightarrow 13 = 1$	$x_{36_35}:: 38 \rightarrow 37 = 0$
$x_{12_11}:: 14 \rightarrow 13 = 0$	$x_{35_36}:: 37 \rightarrow 38 = 1$
$x_{11_12}:: 13 \rightarrow 14 = 1$	$x_{37_36}:: 39 \rightarrow 38 = 0$
$x_{13_12}:: 15 \rightarrow 14 = 0$	$x_{31_37}:: 33 \rightarrow 39 = 0$
$x_{18_12}:: 20 \rightarrow 14 = 0$	$x_{36_37}:: 38 \rightarrow 39 = 1$
$x_{10_13}:: 12 \rightarrow 15 = 0$	$x_{38_37}:: 40 \rightarrow 39 = 0$
$x_{12_13}:: 14 \rightarrow 15 = 1$	$x_{37_38}:: 39 \rightarrow 40 = 1$
$x_{14_13}:: 16 \rightarrow 15 = 0$	$x_{39_38}:: 41 \rightarrow 40 = 0$
$x_{9_14}:: 11 \rightarrow 16 = 0$	$x_{43_38}:: 45 \rightarrow 40 = 0$
$x_{13_14}:: 15 \rightarrow 16 = 1$	$x_{38_39}:: 40 \rightarrow 41 = 1$
$x_{15_14}:: 17 \rightarrow 16 = 0$	$x_{40_39}:: 42 \rightarrow 41 = 0$
$x_{8_15}:: 10 \rightarrow 17 = 0$	$x_{34_40}:: 36 \rightarrow 42 = 0$
$x_{14_15}:: 16 \rightarrow 17 = 1$	$x_{39_40}:: 41 \rightarrow 42 = 1$
$x_{16_15}:: 18 \rightarrow 17 = 0$	$x_{41_40}:: 43 \rightarrow 42 = 0$
$x_{15_16}:: 17 \rightarrow 18 = 1$	$x_{40_41}:: 42 \rightarrow 43 = 1$
$x_{17_16}:: 19 \rightarrow 18 = 0$	$x_{42_41}:: 44 \rightarrow 43 = 1$
$x_{23_16}:: 25 \rightarrow 18 = 0$	$x_{46_41}:: 48 \rightarrow 43 = 0$
$x_{16_17}:: 18 \rightarrow 19 = 1$	$x_{41_42}:: 43 \rightarrow 44 = 1$
$x_{18_17}:: 20 \rightarrow 19 = 0$	$x_{43_42}:: 45 \rightarrow 44 = 1$
$x_{12_18}:: 14 \rightarrow 20 = 0$	$x_{38_43}:: 40 \rightarrow 45 = 0$
$x_{17_18}:: 19 \rightarrow 20 = 1$	$x_{42_43}:: 44 \rightarrow 45 = 1$
$x_{19_18}:: 21 \rightarrow 20 = 0$	$x_{44_43}:: 46 \rightarrow 45 = 0$
$x_{18_19}:: 20 \rightarrow 21 = 1$	$x_{43_44}:: 45 \rightarrow 46 = 0$
$x_{20_19}:: 22 \rightarrow 21 = 1$	$x_{45_44}:: 47 \rightarrow 46 = 0$
$x_{28_19}:: 30 \rightarrow 21 = 0$	$x_{44_45}:: 46 \rightarrow 47 = 1$
$x_{19_20}:: 21 \rightarrow 22 = 1$	$x_{46_45}:: 48 \rightarrow 47 = 1$
$x_{21_20}:: 23 \rightarrow 22 = 0$	$x_{41_46}:: 43 \rightarrow 48 = 1$
$x_{20_21}:: 22 \rightarrow 23 = 1$	$x_{45_46}:: 47 \rightarrow 48 = 0$

Luego, con los resultados que se obtuvieron del análisis realizado con el software empleado en la investigación, fue posible hacer un ruteo recurriendo al posicionamiento geográfico con GPS y de esa forma se calcularon las distancias efectivas cubiertas por los camiones recolectores y su respectiva cuadrilla de trabajadores cuando sirven a dicha ruta.

**Tabla 16. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 1.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	186609	8500845	2.200
2 al 3	Ciro Alegría	186664	8500961	0.130
3 al 4	Ciro Alegría	186712	8501061	0.130
4 al 5	Ciro Alegría	186774	8501214	0.160
5 al 6	Calle Lima	186710	8501236	0.067
6 al 7	José Carlos Mariátegui	186649	8501094	0.160
7 al 8	José Carlos Mariátegui	186612	8500997	0.100
8 al 9	José Carlos Mariátegui	186555	8500865	0.150
9 al 10	Av. de la Cultura	186495	8500888	0.067
10 al 11	Ricardo Palma	186544	8501007	0.145
11 al 12	Ricardo Palma	186586	8501102	0.110
12 al 13	Ricardo Palma	186654	8501246	0.170
13 al 14	Calle Lima	186598	8501284	0.073
14 al 15	Constructores	186536	8501140	0.170
15 al 16	Constructores	186501	8501051	0.100
16 al 17	Constructores	186436	8500920	0.160
17 al 18	Av. de la Cultura	186363	8500960	0.120
18 al 19	Huayacucho	186461	8501153	0.250
19 al 20	Huayacucho	186525	8501306	0.200
20 al 21	Calle Lima	186470	8501344	0.070
21 al 22	Fray Martín de Porres	186439	8501270	0.081
22 al 23	Fray Martín de Porres	186412	8501209	0.066
23 al 24	Fray Martín de Porres	186369	8501115	0.100
24 al 25	Fray Martín de Porres	186320	8501000	0.130



25 al 26	Fray Martín de Porres	186362	8501197	0.380
26 al 27	La Capullana	186378	8501237	0.090
27 al 28	La Capullana	186399	8501286	0.053
28 al 29	Calle Lima	186433	8501362	0.086
29 al 30	Urb. Villa Postal	186420	8501388	0.110
30 al 31	Urb. Villa Postal	186356	8501265	0.140
31 al 32	Urb. Villa Postal	186318	8501183	0.090
32 al 33	Av. de la Cultura	186273	8501097	0.240
33 al 34	Tingo	186181	8501085	0.170
34 al 35	Tingo	186189	8501150	0.130
35 al 36	Urb. Aprovite	186243	8501288	0.220
36 al 37	Urb. Aprovite	186355	8501411	0.150
37 al 38	Urb. Aprovite	186328	8501330	0.085
38 al 39	Urb. Aprovite	186247	8501142	0.380
39 al 40	Calle Lima	186280	8501441	0.120
40 al 41	El Edén	186171	8501444	0.110
41 al 42	El Edén	186108	8501316	0.150
42 al 43	Av. de la Cultura	186049	8501191	0.140
43 al 44	Santa Mónica	185983	8501263	0.150
44 al 45	Santa Mónica	186014	8501325	0.269
45 al 46	Santa Mónica	186034	8501390	0.068
46 al 47	Monterrico	186060	8501449	0.064
47 al 48	Monterrico	185988	8501461	0.094
48 al 49	Ruta al botadero	822946	8500103	20.700
49 al 50	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 50.598**

La Tabla 16 muestra una secuencia del recorrido de servicio del camión recolector cuando cubre la ruta n.º 1. Gracias al programa informático se puede resumir el recorrido a través de una sucesión de nodos; entre nodo y nodo hay una distancia que fue calculada para cada arteria por donde pasa la ruta, en kilómetros.

Asimismo, se puede apreciar que las distancias más extensas se presentan en el inicio de ruta, con poco más de 2 km, luego las más largas que son el transporte de los residuos al relleno

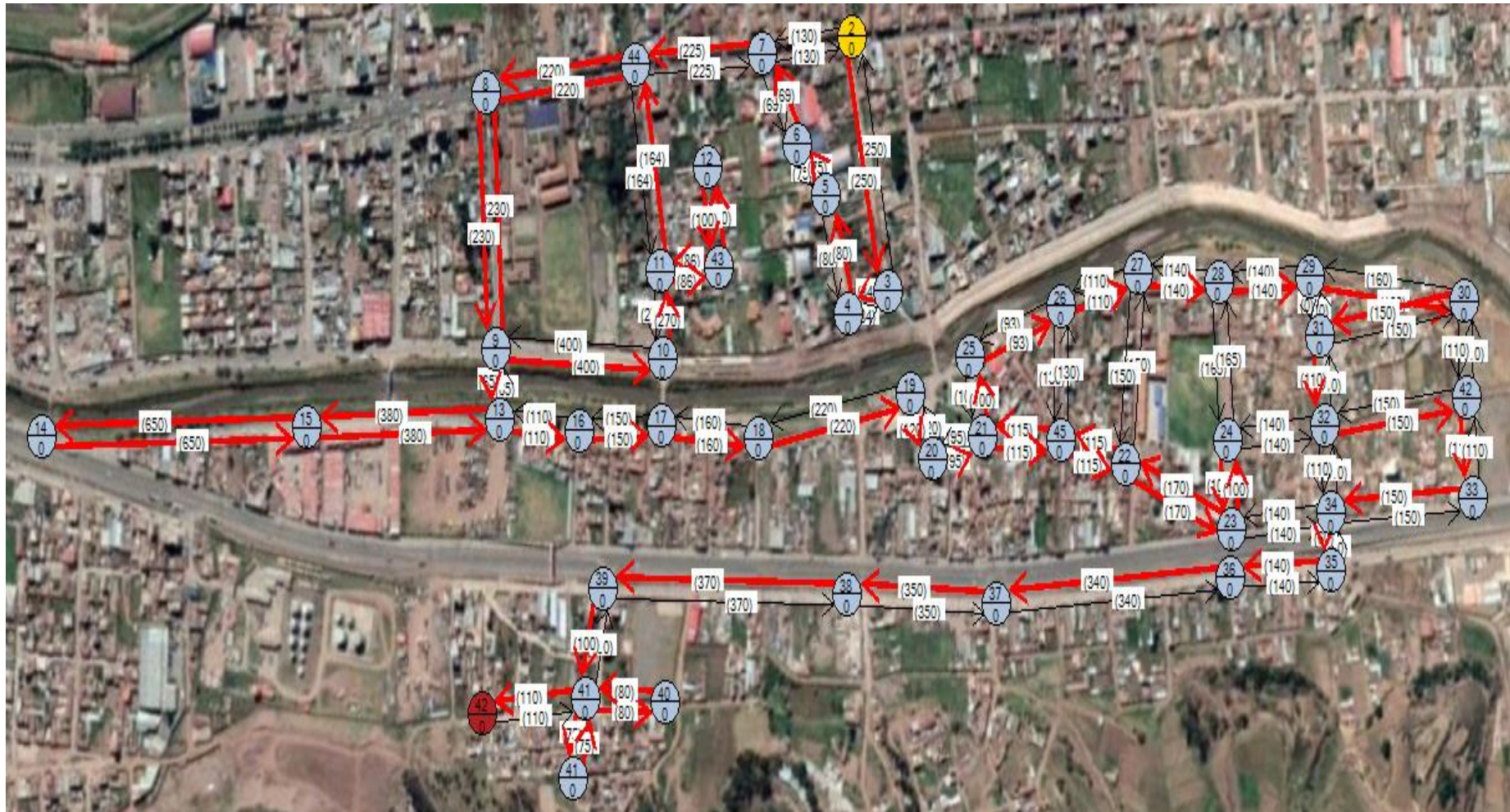


sanitario en Jaquira (20.700 km desde el último punto de recolección) y el respectivo retorno hasta el punto de partida (21.300 km), en la zona de Maestranza.

El recorrido total actual acumulado para la ruta n.º 1 es de 50.598 km cubiertos por viaje.

#### **4.4.2. Situación actual de la ruta n.º 2**

La ruta n.º 2 cubre una parte de la margen derecha del río Huatanay, pero es en la margen izquierda donde se desarrolla una mayor extensión lineal de recorrido.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 20. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 2.





En la Figura 20 se observa una toma aérea del recorrido de la **ruta n.º 2**, donde es posible ver que la mayor parte del recorrido se da en la margen izquierda del Huatanay, donde incluso parte de la ruta va por la recientemente inaugurada Avenida de Evitamiento.

**Modelamiento de la ruta n.º 2**

También es posible realizar una secuencia de nodos y lazos orientados con ayuda del software, lo cual es muy importante para realizar la propuesta de mejora de la ruta n.º 2.

El cálculo desarrollado por el software es:

**Modelo (Ruta “2” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 2 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_24_23:: 26 --> 25 =	0
x_5_0:: 7 --> 2 =	0	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_1_2:: 3 --> 4 =	4	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_22_26:: 24 --> 28 =	0
x_2_3:: 4 --> 5 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_28_27:: 30 --> 29 =	0
x_0_5:: 2 --> 7 =	0	x_29_27:: 31 --> 29 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_27_28:: 29 --> 30 =	1
x_44_5:: 44 --> 7 =	0	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_42_28:: 42 --> 30 =	0
x_44_6:: 44 --> 8 =	1	x_27_29:: 29 --> 31 =	0
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_30_29:: 32 --> 31 =	0



x_11_7:: 13 --> 9 =	0	x_22_30:: 24 --> 32 =	0
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_32_30:: 34 --> 32 =	0
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_42_30:: 42 --> 32 =	0
x_43_9:: 43 --> 11 =	1	x_32_31:: 34 --> 33 =	0
x_44_9:: 44 --> 11 =	0	x_42_31:: 42 --> 33 =	1
x_43_10:: 43 --> 12 =	1	x_21_32:: 23 --> 34 =	0
x_7_11:: 9 --> 13 =	1	x_30_32:: 32 --> 34 =	0
x_13_11:: 15 --> 13 =	1	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_14_11:: 16 --> 13 =	0	x_33_32:: 35 --> 34 =	0
x_13_12:: 15 --> 14 =	1	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_11_13:: 13 --> 15 =	1	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_11_14:: 13 --> 16 =	1	x_35_34:: 37 --> 36 =	0
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_41_37:: 41 --> 39 =	0
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_41_38:: 41 --> 40 =	0
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_41_39:: 41 --> 41 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_41_40:: 41 --> 42 =	1
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_37_41:: 39 --> 41 =	1
x_20_19:: 22 --> 21 =	1	x_38_41:: 40 --> 41 =	0
x_23_19:: 25 --> 21 =	0	x_39_41:: 41 --> 41 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_40_41:: 42 --> 41 =	1
x_21_20:: 23 --> 22 =	1	x_28_42:: 30 --> 42 =	0
x_20_21:: 22 --> 23 =	1	x_30_42:: 32 --> 42 =	1
x_22_21:: 24 --> 23 =	1	x_31_42:: 33 --> 42 =	0
x_32_21:: 34 --> 23 =	0	x_9_43:: 11 --> 43 =	1
x_21_22:: 23 --> 24 =	1	x_10_43:: 12 --> 43 =	1
x_26_22:: 28 --> 24 =	0	x_5_44:: 7 --> 44 =	1
x_30_22:: 32 --> 24 =	0	x_6_44:: 8 --> 44 =	0
x_19_23:: 21 --> 25 =	1	x_9_44:: 11 --> 44 =	1

Igual que en el caso anterior, con los resultados que se obtuvieron del análisis realizado con el software empleado fue posible hacer un ruteo con ayuda del sistema de posicionamiento geográfico (GPS) y así se obtuvieron las distancias efectivas recorridas por los camiones recolectores, lo cual se ve a continuación.

**Tabla 17. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 2.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187835	8500414	0.660
2 al 3	Sorama	187787	8500449	0.250
3 al 4	Vía Expresa	187750	8500214	0.084
4 al 5	Primavera	187691	8500232	0.080
5 al 6	Primavera	187696	8500284	0.075
6 al 7	Primavera	187678	8500368	0.069
7 al 8	Av. de la Cultura	187672	8500478	0.450
8 al 9	Clorinda Matto	187303	8500570	0.230
9 al 10	Vía Expresa	187248	8500336	0.400
10 al 11	Polibio Umpire	187452	8500342	0.270
11 al 12	Polibio Umpire	187549	8500399	0.280
12 al 13	Polibio Umpire	187212	8500291	0.837
13 al 14	Av. Costanera	186628	8500478	0.850
14 al 15	Av. Costanera	186847	8500409	0.650
15 al 16	Av. Costanera	187305	8500241	0.230
16 al 17	Av. Costanera	187460	8500199	0.150
17 al 18	Av. Costanera	187564	8500140	0.160
18 al 19	Av. Costanera	187742	8500116	0.220
19 al 20	Plaza Chimpahuaylla	187762	8500056	0.480
20 al 21	Plaza Chimpahuaylla	187819	8500043	0.095
21 al 22	Av. Sinchiroca	188008	8499965	0.230
22 al 23	Av. Sinchiroca	188133	8499885	0.170
23 al 24	Av. Evitamiento	188150	8499924	0.100
24 al 25	Av. Sinchiroca	187850	8500133	0.490
25 al 26	Tahuantinsuyo	187988	8500131	0.093
26 al 27	Tahuantinsuyo	188084	8500119	0.110
27 al 28	Tahuantinsuyo	188181	8500067	0.140
28 al 29	Tahuantinsuyo	188316	8500034	0.140
29 al 30	Tahuantinsuyo	188456	8499956	0.160
30 al 31	Urb. Manco Cápac	188316	8499981	0.150
31 al 32	Huayarcachi	188274	8499887	0.110
32 al 33	Huayarcachi	188409	8499792	0.250
33 al 34	Av. Evitamiento	188268	8499815	0.150
34 al 35	Calle s/n	188222	8499798	0.060
35 al 36	Av. Evitamiento	188111	8499826	0.140
36 al 37	Av. Evitamiento	187780	8499911	0.340
37 al 38	Av. Evitamiento	187620	8499970	0.350
38 al 39	Av. Evitamiento	187279	8500106	0.370
39 al 40	César Vallejo	187323	8499968	0.210
40 al 41	Villa El Sol	187200	8499954	0.210
41 al 42	Villa El Sol	187155	8500021	0.150



42 al 43	Villa El Sol	187320	8499960	0.160
43 al 44	Villa El Sol	187200	8499953	0.200
44 al 45	Villa El Sol	187155	8500020	0.210
45 al 46	Ruta al botadero	822906	8499938	20.950
46 al 47	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>53.463</b>

En la Tabla 17 se aprecia la secuencia del recorrido que deben cubrir los camiones compactadores cuando atienden la ruta n.º 2. El software nuevamente diagramó el recorrido de dicha ruta e hizo el cálculo respectivo acumulado de la distancia en kilómetros lineales que se debe abarcar para cumplir con las actividades asignadas.

De igual manera, es fácil percibir que las distancias más largas a desarrollar son el transporte de los residuos al botadero (20.950 km) y el retorno al punto de partida (21.300 km), en el sector de Maestranza.

Entonces, el recorrido total actual acumulado para la ruta n.º 2 es de 53.463 km lineales por viaje.

#### 4.4.3. Situación actual de la ruta n.º 3

La principal característica de la ruta n.º 3 es que se desarrolla completamente en la margen izquierda del río Huatanay, donde los camiones llegan hasta la periferia del distrito.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 21. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 3.



En la Figura 21 se puede ver el flujo actual de la **ruta n.º 3** y, como se dijo antes, el recorrido se desarrolla por completo en la margen izquierda del Huatanay y se atiende zonas periféricas por el sur del distrito.

**Modelamiento de la ruta n.º 3**

Aquí también es posible desarrollar una secuencia de nodos y lazos orientados con el software empleado. Los cálculos efectuados por el software entregan los resultados mostrados abajo.

**Modelo (Ruta “3” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 5 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_22_21:: 24 --> 23 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_21_22:: 23 --> 24 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_23_22:: 25 --> 24 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_22_23:: 24 --> 25 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_24_23:: 26 --> 25 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_25_24:: 27 --> 26 =	1
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	1	x_26_25:: 28 --> 27 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_28_25:: 30 --> 27 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	1	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_27_26:: 29 --> 28 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	1	x_26_27:: 28 --> 29 =	1



$x_{6_7}:: 8 \rightarrow 9 = 1$	$x_{25_28}:: 27 \rightarrow 30 = 1$
$x_{8_7}:: 10 \rightarrow 9 = 0$	$x_{20_29}:: 22 \rightarrow 31 = 1$
$x_{7_8}:: 9 \rightarrow 10 = 1$	$x_{30_29}:: 32 \rightarrow 31 = 0$
$x_{9_8}:: 11 \rightarrow 10 = 0$	$x_{29_30}:: 31 \rightarrow 32 = 1$
$x_{8_9}:: 10 \rightarrow 11 = 1$	$x_{31_30}:: 33 \rightarrow 32 = 0$
$x_{10_9}:: 12 \rightarrow 11 = 0$	$x_{30_31}:: 32 \rightarrow 33 = 1$
$x_{9_10}:: 11 \rightarrow 12 = 1$	$x_{32_31}:: 34 \rightarrow 33 = 0$
$x_{11_10}:: 13 \rightarrow 12 = 0$	$x_{31_32}:: 33 \rightarrow 34 = 1$
$x_{10_11}:: 12 \rightarrow 13 = 1$	$x_{35_32}:: 37 \rightarrow 34 = 0$
$x_{12_11}:: 14 \rightarrow 13 = 0$	$x_{34_33}:: 36 \rightarrow 35 = 1$
$x_{11_12}:: 13 \rightarrow 14 = 1$	$x_{33_34}:: 35 \rightarrow 36 = 1$
$x_{13_12}:: 15 \rightarrow 14 = 0$	$x_{35_34}:: 37 \rightarrow 36 = 1$
$x_{12_13}:: 14 \rightarrow 15 = 1$	$x_{32_35}:: 34 \rightarrow 37 = 1$
$x_{14_13}:: 16 \rightarrow 15 = 0$	$x_{34_35}:: 36 \rightarrow 37 = 1$
$x_{13_14}:: 15 \rightarrow 16 = 1$	$x_{36_35}:: 38 \rightarrow 37 = 0$
$x_{15_14}:: 17 \rightarrow 16 = 0$	$x_{35_36}:: 37 \rightarrow 38 = 1$
$x_{14_15}:: 16 \rightarrow 17 = 1$	$x_{37_36}:: 39 \rightarrow 38 = 0$
$x_{16_15}:: 18 \rightarrow 17 = 0$	$x_{36_37}:: 38 \rightarrow 39 = 1$
$x_{15_16}:: 17 \rightarrow 18 = 1$	$x_{38_37}:: 40 \rightarrow 39 = 0$
$x_{17_16}:: 19 \rightarrow 18 = 0$	$x_{37_38}:: 39 \rightarrow 40 = 1$
$x_{16_17}:: 18 \rightarrow 19 = 1$	$x_{39_38}:: 41 \rightarrow 40 = 0$
$x_{18_17}:: 20 \rightarrow 19 = 0$	$x_{38_39}:: 40 \rightarrow 41 = 1$
$x_{17_18}:: 19 \rightarrow 20 = 1$	$x_{40_39}:: 42 \rightarrow 41 = 0$
$x_{19_18}:: 21 \rightarrow 20 = 0$	$x_{39_40}:: 41 \rightarrow 42 = 1$
$x_{18_19}:: 20 \rightarrow 21 = 1$	$x_{41_40}:: 43 \rightarrow 42 = 0$
$x_{20_19}:: 22 \rightarrow 21 = 0$	$x_{40_41}:: 42 \rightarrow 43 = 1$
$x_{19_20}:: 21 \rightarrow 22 = 1$	$x_{28_22}:: 30 \rightarrow 24 = 1$
$x_{21_20}:: 23 \rightarrow 22 = 1$	$x_{22_28}:: 24 \rightarrow 30 = 1$
$x_{29_20}:: 31 \rightarrow 22 = 0$	$x_{19_0}:: 21 \rightarrow 2 = 1$
$x_{20_21}:: 22 \rightarrow 23 = 1$	$x_{0_19}:: 2 \rightarrow 21 = 0$

Los datos obtenidos con empleando el GPS permitieron al software realizar las estimaciones adecuadas y se obtuvieron las distancias efectivas recorridas por los camiones recolectores, lo cual se muestra en la tabla que sigue.

**Tabla 18. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 3.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	185600	8501052	3.100
2 al 3	Nueva Alianza	185149	8500556	0.150
3 al 4	San Lorenzo	185140	8500422	0.148
4 al 5	San Lorenzo	185261	8500552	0.190
5 al 6	Red de energía	185343	8500589	0.090
6 al 7	Red de energía	185309	8500457	0.180
7 al 8	Inticancha	185280	8500310	0.190
8 al 9	Inticancha	185244	8500313	0.170
9 al 10	Inticancha	185517	8500574	0.450
10 al 11	Red de energía	185479	8500661	0.115
11 al 12	Villa Los Andes	185523	8500682	0.080
12 al 13	Villa Los Andes	185617	8500722	0.095
13 al 14	Villa Los Andes	185672	8500746	0.083
14 al 15	Villa Los Andes	185712	8500768	0.100
15 al 16	Villa Los Andes	185791	8500806	0.068
16 al 17	Casuarinas Norte	185755	8500874	0.088
17 al 18	Casuarinas Norte	185670	8500847	0.089
18 al 19	Casuarinas Norte	185535	8500809	0.089
19 al 20	Casuarinas Norte	185490	8500796	0.120
20 al 21	Casuarinas Norte	185407	8500777	0.150
21 al 22	Villa Rinconada	185378	8500764	0.256
22 al 23	Villa Rinconada	185345	8500758	0.110
23 al 24	Lucerinas	185237	8500727	0.070
24 al 25	Lucerinas	184979	8500642	0.496
25 al 26	APV. 1º de Junio	184835	8500546	0.105
26 al 27	APV. 1º de Junio	184858	8500655	0.110
27 al 28	APV. 1º de Junio	184879	8500751	0.147
28 al 29	APV. 1º de Junio	184885	8500803	0.200
29 al 30	Patrón San Jerónimo	184905	8500858	0.461
30 al 31	Patrón San Jerónimo	184924	8500907	0.427
31 al 32	Patrón San Jerónimo	184979	8500945	0.205
32 al 33	Patrón San Jerónimo	185053	8500692	0.120
33 al 34	Av. Evitamiento	185118	8500772	0.120
34 al 35	Santa Bárbara	185172	8500940	0.340
35 al 36	Santa Bárbara	185225	8500785	0.125
36 al 37	Santa Bárbara	185235	8500825	0.150





37 al 38	Santa Bárbara	185342	8500924	0.084
38 al 39	APV. 1º de Junio	185504	8500855	0.270
39 al 40	Casuarinas Sur	185559	8500872	0.118
40 al 41	Casuarinas Sur	185613	8500894	0.200
41 al 42	Casuarinas Sur	185165	8500643	0.146
42 al 43	Casuarinas Sur	185443	8500976	0.180
42 al 43	Ruta al botadero	822930	8499984	19.800
43 al 44	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>51.285</b>

La Tabla 18 presenta de manera ordenada el progreso del recorrido de acuerdo al incremento del número de nodo. Asimismo se detallan las calles y arterias por las cuales pasan los camiones recolectores cuando atienden la ruta n.º 3. Nuevamente, las coordenadas UTM halladas con el GPS permitieron determinar las distancias recorridas, en kilómetros, por los vehículos.

Se observa que las distancias más largas a cubrir son las de transporte de los residuos sólidos al botadero (19.800 km) y el retorno al punto de partida (21.300 km), en el sector de Maestranza. También es de considerar la distancia de inicio, donde el camión sale de la base y acude al inicio de ruta (3.100 km).

La distancia total actual acumulado para recorrer completamente la ruta n.º 3 es de 51.285 km lineales por viaje.

#### **4.4.4. Situación actual de la ruta n.º 4**

La ruta n.º 4 tiene como característica principal el desarrollo de distancias largas y rectas en varios tramos.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 22. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 4.



La Figura 22 detalla el recorrido actual de la ruta n.º 4. Las distancias largas y rectas caracterizan esta ruta que, aunque no atiende varias calles como las otras rutas, hacen que el recorrido sea igual de extenso que las otras. Aquí se cubre en gran parte la zona noroeste del distrito.

**Modelamiento de la ruta n.º 4**

Con los datos obtenidos en campo, el software desarrolló la secuencia de nodos y lazos que definen a la ruta n.º 4, lo que es mostrado a continuación.

**Modelo (Ruta “4” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 2 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_13_12:: 15 --> 14 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_12_13:: 14 --> 15 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	1	x_14_13:: 16 --> 15 =	1
x_3_1:: 5 --> 3 =	0	x_15_13:: 17 --> 15 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_9_14:: 11 --> 16 =	1
x_6_2:: 8 --> 4 =	1	x_13_14:: 15 --> 16 =	0
x_1_3:: 3 --> 5 =	1	x_13_15:: 15 --> 17 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_16_15:: 18 --> 17 =	0
x_7_3:: 9 --> 5 =	0	x_15_16:: 17 --> 18 =	1
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_17_16:: 19 --> 18 =	0
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_16_17:: 18 --> 19 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_18_17:: 20 --> 19 =	0
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_17_18:: 19 --> 20 =	1
x_10_5:: 12 --> 7 =	0	x_19_18:: 21 --> 20 =	0
x_2_6:: 4 --> 8 =	0	x_18_19:: 20 --> 21 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_20_19:: 22 --> 21 =	0
x_3_7:: 5 --> 9 =	1	x_19_20:: 21 --> 22 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_21_20:: 23 --> 22 =	0

x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_20_21:: 22 --> 23 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_22_21:: 24 --> 23 =	0
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_21_22:: 23 --> 24 =	1
x_10_9:: 12 --> 11 =	1	x_23_22:: 25 --> 24 =	0
x_14_9:: 16 --> 11 =	0	x_22_23:: 24 --> 25 =	1
x_5_10:: 7 --> 12 =	0	x_24_23:: 26 --> 25 =	0
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_10_11:: 12 --> 13 =	0	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_11_12:: 13 --> 14 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	1

Los resultados del análisis realizado por el software empleado en la investigación permitieron hacer un ruteo recurriendo al posicionamiento geográfico con GPS. De esa forma se calcularon las distancias efectivas cubiertas por los camiones y la cuadrilla de trabajadores asignada a dicha unidad cuando sirven a dicha ruta.

**Tabla 19. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 4.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187396	8500850	1.400
2 al 3	Clorinda Matto	187437	8500726	0.190
3 al 4	Calle Perú	187350	8500754	0.100
4 al 5	Calle Perú	187312	8500854	0.210
5 al 6	Llocllapata	187442	8500993	0.173
6 al 7	Llocllapata	187551	8501038	0.230
7 al 8	Calle Lima	186795	8500774	0.203
8 al 9	Llocllapata	186821	8501168	1.219
9 al 10	Av. de la Cultura	187172	8500623	0.424
10 al 11	Av. de la Cultura (penal de varones)	186789	8500770	0.188
11 al 12	Ciro Alegría (penal de mujeres)	186602	8500817	0.441
12 al 13	Av. de la Cultura	185995	8501468	1.377
13 al 14	Monterrico	185929	8501300	0.100
14 al 15	Institución	185881	8501590	0.087
15 al 16	Institución	185929	8501300	0.056
16 al 17	Los Kantus	185916	8501665	0.132
17 al 18	Los Kantus	185931	8501721	0.140
18 al 19	Los Kantus	185994	8501841	0.100
19 al 20	Los Kantus	186031	8501924	0.108



20 al 21	Portales de Versailles	186030	8501961	0.126
21 al 22	Portales de Versailles	185990	8501976	0.057
22 al 23	Feudatarios Larapa	185960	8501907	0.150
23 al 24	Feudatarios Larapa	185904	8501772	0.130
24 al 25	Manzana F	185829	8501721	0.096
25 al 26	Manzana F	185803	8501667	0.120
26 al 27	Manzana F	185764	8501554	0.120
27 al 28	Ruta al botadero	822930	8499984	19.760
28 al 29	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>48.737</b>

La Tabla 19 indica la secuencia del recorrido que deben abarcar los camiones compactadores cuando sirven a la ruta n.º 4. El software esquematizó el recorrido de esa ruta y se calcularon las distancias recorridas en cada tramo, y posteriormente se calculó la distancia acumulada en kilómetros lineales que se debe cubrir.

Las distancias más largas fueron, igual que en los casos anteriores, el transporte de los residuos al botadero (19.760 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida (21.300 km), en Maestranza. También hay segmentos que superan un kilómetro de longitud.

Visto lo anterior, el recorrido total actual acumulado para la ruta n.º 4 es 48.737 km lineales por viaje.

#### **4.4.5. Situación actual de la ruta n.º 5**

La ruta n.º 5 cubre la parte noroeste del distrito. Es una mezcla de distancias largas y muchas distancias cortas sobre la parte superior del sector de Larapa, sector que se encuentra en franca expansión urbana.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 23. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 5.



En la Figura 23 se aprecia el recorrido inicial del camión recolector de residuos sólidos, el cual no tiene mayores desvíos sino hasta que llega a la zona alta detrás del sector de Larapa. Una vez en su destino, las unidades motorizadas empiezan a coleccionar los desechos domiciliarios describiendo una intrincada ruta que recorren describiendo gran cantidad de giros y vueltas; es una de las zonas donde se visitan el mayor número de calles. También se puede ver que el recorrido llega a la periferia del distrito por el sector noroeste, hasta las faldas del cerro Pícol.

**Modelamiento de la ruta n.º 5**

El programa informático hizo también un modelamiento de la ruta n.º 5 y estableció los nodos y lazos que describen el recorrido de los camiones cuando acuden a atender dicha ruta.

**Modelo (Ruta “5” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 9 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_32_33:: 37 --> 38 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_34_33:: 39 --> 38 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_33_34:: 38 --> 39 =	1
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_35_34:: 40 --> 39 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_52_34:: 57 --> 39 =	0
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_34_35:: 39 --> 40 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_36_35:: 41 --> 40 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_35_36:: 40 --> 41 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_37_36:: 42 --> 41 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_36_37:: 41 --> 42 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_38_37:: 43 --> 42 =	0
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_37_38:: 42 --> 43 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_40_39:: 45 --> 44 =	0



x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_39_40:: 44 --> 45 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_41_40:: 46 --> 45 =	0
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_40_41:: 45 --> 46 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_42_41:: 47 --> 46 =	0
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_41_42:: 46 --> 47 =	1
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_43_42:: 48 --> 47 =	0
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_42_43:: 47 --> 48 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_44_43:: 49 --> 48 =	0
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_43_44:: 48 --> 49 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_45_44:: 50 --> 49 =	1
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_44_45:: 49 --> 50 =	1
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_46_45:: 51 --> 50 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_52_45:: 57 --> 50 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_45_46:: 50 --> 51 =	1
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_47_46:: 52 --> 51 =	0
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_46_47:: 51 --> 52 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_48_47:: 53 --> 52 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_47_48:: 52 --> 53 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_49_48:: 54 --> 53 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_48_49:: 53 --> 54 =	1
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_50_49:: 55 --> 54 =	0
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_49_50:: 54 --> 55 =	1
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_51_50:: 56 --> 55 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_50_51:: 55 --> 56 =	1
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_52_51:: 57 --> 56 =	0
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_34_52:: 39 --> 57 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_45_52:: 50 --> 57 =	0
x_21_20:: 23 --> 22 =	1	x_51_52:: 56 --> 57 =	1
x_25_20:: 28 --> 22 =	0	x_53_52:: 58 --> 57 =	0
x_20_21:: 22 --> 23 =	1	x_52_53:: 57 --> 58 =	1
x_22_21:: 24 --> 23 =	1	x_54_53:: 59 --> 58 =	0
x_21_22:: 23 --> 24 =	1	x_53_54:: 58 --> 59 =	1
x_23_22:: 25 --> 24 =	1	x_55_54:: 60 --> 59 =	0
x_24_22:: 26 --> 24 =	1	x_57_54:: 62 --> 59 =	0
x_22_23:: 24 --> 25 =	1	x_54_55:: 59 --> 60 =	1
x_22_24:: 24 --> 26 =	1	x_56_55:: 61 --> 60 =	0
x_60_24:: 27 --> 26 =	1	x_55_56:: 60 --> 61 =	1
x_20_25:: 22 --> 28 =	1	x_57_56:: 62 --> 61 =	0
x_61_25:: 29 --> 28 =	0	x_54_57:: 59 --> 62 =	0
x_27_26:: 31 --> 30 =	0	x_56_57:: 61 --> 62 =	1
x_26_27:: 30 --> 31 =	1	x_58_57:: 63 --> 62 =	0
x_62_27:: 32 --> 31 =	0	x_57_58:: 62 --> 63 =	1
x_29_28:: 34 --> 33 =	0	x_59_58:: 64 --> 63 =	0
x_28_29:: 33 --> 34 =	1	x_58_59:: 63 --> 64 =	1
x_30_29:: 35 --> 34 =	0	x_24_60:: 26 --> 27 =	1
x_29_30:: 34 --> 35 =	1	x_25_61:: 28 --> 29 =	1





x_31_30:: 36 --> 35 =	0	x_27_62:: 31 --> 32 =	1
x_30_31:: 35 --> 36 =	1	x_61_26:: 29 --> 30 =	1
x_32_31:: 37 --> 36 =	0	x_62_28:: 32 --> 33 =	1
x_31_32:: 36 --> 37 =	1	x_28_62:: 33 --> 32 =	0
x_33_32:: 38 --> 37 =	0	x_26_61:: 30 --> 29 =	0

Tras el procesamiento de datos realizado por el software y las coordenadas obtenidas por medio del GPS, se pudo hallar la distancia total que las unidades vehiculares deben recorrer cuando atienden la ruta n.º 5.

Las distancias cubiertas de manera disgregada, calle por calle, por los camiones recolectores se muestran en la tabla a continuación.

**Tabla 20. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 5.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187875	8500807	0.900
2 al 3	San Martín	187778	8500788	0.433
3 al 4	Pumacancha	187523	8500878	0.074
4 al 5	Ramón Castilla	187484	8500819	0.187
5 al 6	Llocllapata	187318	8500866	0.136
6 al 7	Llocllapata	187171	8500623	0.138
7 al 8	Av. de la Cultura	186901	8500685	0.280
8 al 9	Av. de la Cultura	186715	8500736	0.190
9 al 10	Av. de la Cultura	186575	8500800	0.150
10 al 11	Av. de la Cultura	186528	8500825	0.062
11 al 12	Av. de la Cultura	186428	8500893	0.130
12 al 13	Av. de la Cultura	186159	8501090	0.350
13 al 14	Av. de la Cultura	185984	8501220	0.220
14 al 15	Av. de la Cultura	185768	8501369	0.270
15 al 16	Av. de la Cultura	185688	8501429	0.110
16 al 17	Av. de la Cultura	185566	8501509	0.150
17 al 18	Av. de la Cultura	185416	8501615	0.180
18 al 19	Av. 1	185458	8501744	0.150
19 al 20	Av. 1	185526	8501908	0.100
20 al 21	Circunvalación Norte	186072	8501661	0.125
21 al 22	Circunvalación Norte	186118	8501623	0.139
22 al 23	Calle Lima	186140	8501674	0.143



23 al 24	Calle Lima	186143	8501599	0.095
24 al 25	Pasaje Sol	186213	8501555	0.070
25 al 26	Calle Lima	186273	8501710	0.170
26 al 27	Av. Tancarpata	185830	8501796	0.190
27 al 28	Av. 5	186140	8501674	0.650
28 al 29	Av. 5	186143	8501599	0.150
29 al 30	Av. 5	186213	8501555	0.162
30 al 31	Av. 8 (San Agustín)	186273	8501710	0.105
31 al 32	Av. 8 (San Agustín)	186321	8502504	0.120
32 al 33	Av. 8 (San Agustín)	186631	8502638	0.220
33 al 34	Los Portales	186622	8502724	0.220
34 al 35	Los Portales	186662	8502809	0.140
35 al 36	Los Portales	186614	8502841	0.099
36 al 37	Los Portales	186564	8502755	0.063
37 al 38	Los Portales	186502	8502632	0.110
38 al 39	Los Portales	186419	8502603	0.140
39 al 40	Los Portales	186463	8502705	0.088
40 al 41	Los Portales	186500	8502778	0.140
41 al 42	Av. 12	186545	8502869	0.100
42 al 43	Calle Orquídeas	185830	8501796	0.100
43 al 44	Av. Pícol	185913	8502009	0.260
44 al 45	Calle 2	186186	8502475	0.150
45 al 46	Calle 2	186148	8502568	0.162
45 al 46	Calle 2	186209	8502542	0.105
45 al 46	Calle 2	186321	8502504	0.120
46 al 47	Feudatarios Larapa	186631	8502638	0.220
47 al 48	Feudatarios Larapa	186622	8502724	0.140
48 al 49	Feudatarios Larapa	186662	8502809	0.099
49 al 50	Av. Pícol	186614	8502841	0.063
51 al 52	Calle 6	186564	8502755	0.110
52 al 53	Calle 6	186502	8502632	0.140
53 al 54	Calle 6	186419	8502603	0.088
54 al 55	Calle 6	186463	8502705	0.140
55 al 56	Calle 6	186500	8502778	0.082
56 al 57	Calle 6	186545	8502869	0.100
57 al 58	Av. Pícol	186489	8502903	0.100
58 al 59	Los Girasoles	186450	8502816	0.092
59 al 60	Los Girasoles	186410	8502458	0.073
60 al 61	Los Girasoles	186380	8502471	0.061
61 al 62	Calle s/n	186305	8502311	0.086
62 al 63	Calle s/n	186284	8502263	0.075
63 al 64	Av. Pícol	186158	8502327	0.220
64 al 65	Ruta al botadero	822946	8500103	21.130
65 al 66	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 52.865**



En la Tabla 20 se muestran las distancias que recorren las unidades motorizadas cuando sirven en esa zona. Las longitudes son pequeñas, pero la cantidad considerable de calles hace que se supere incluso el servicio en rutas que se encuentran mucho más alejadas de la base. El software permitió observar el recorrido actual cuando se atiende la ruta n.º5.

Los recorridos más extensos fueron nuevamente el transporte de los residuos al botadero (21.130 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida (21.300 km), en Maestranza.

La longitud acumulada para esta ruta es 52.865 km lineales por viaje.

#### **4.4.6. Situación actual de la ruta n.º 6**

La ruta n.º 6 es una de las rutas más ordenadas y con recorridos rectilíneos que facilitan el trabajo del personal de limpieza pública. Se encuentra en un sector completamente urbanizado del distrito de San Jerónimo.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 24. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 6.



Tal y como se comentó antes, la ruta n.º 6 describe recorridos parciales rectos y largos. Sin embargo, para abarcar completamente dicha ruta es necesario hacer repasos por algunas calles, como se puede apreciar en la Figura 24. El flujo mostrado en las flechas rojas fue establecido luego de que el software hiciera los cálculos que se muestran a continuación.

**Modelamiento de la ruta n.º 5**

El modelamiento realizado por el programa logró determinar los nodos y lazos que caracterizan el recorrido de la ruta n.º 6.

**Modelo (Ruta “6” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 1 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_20_21:: 22 --> 23 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_22_21:: 24 --> 23 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_21_22:: 23 --> 24 =	1
x_10_1:: 12 --> 3 =	0	x_23_22:: 25 --> 24 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_22_23:: 24 --> 25 =	1
x_3_2:: 5 --> 4 =	1	x_24_23:: 26 --> 25 =	0
x_4_2:: 6 --> 4 =	1	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_2_4:: 4 --> 6 =	1	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_9_4:: 11 --> 6 =	1	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_41_4:: 43 --> 6 =	1	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_16_27:: 18 --> 29 =	0
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_19_27:: 21 --> 29 =	0
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_16_28:: 18 --> 30 =	1



x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_30_29:: 32 --> 31 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_31_29:: 33 --> 31 =	0
x_42_8:: 44 --> 10 =	0	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_4_9:: 6 --> 11 =	0	x_29_31:: 31 --> 33 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_32_31:: 34 --> 33 =	0
x_1_10:: 3 --> 12 =	1	x_13_32:: 15 --> 34 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_11_33:: 13 --> 35 =	0
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_13_33:: 15 --> 35 =	1
x_33_11:: 35 --> 13 =	0	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_40_33:: 42 --> 35 =	0
x_13_12:: 15 --> 14 =	1	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_14_12:: 16 --> 14 =	0	x_35_34:: 37 --> 36 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_32_13:: 34 --> 15 =	0	x_36_35:: 38 --> 37 =	1
x_33_13:: 35 --> 15 =	0	x_38_35:: 40 --> 37 =	0
x_36_13:: 38 --> 15 =	0	x_13_36:: 15 --> 38 =	0
x_12_14:: 14 --> 16 =	1	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_37_36:: 39 --> 38 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_17_15:: 19 --> 17 =	0	x_35_38:: 37 --> 40 =	1
x_17_16:: 19 --> 18 =	1	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_27_16:: 29 --> 18 =	0	x_42_38:: 44 --> 40 =	0
x_28_16:: 30 --> 18 =	0	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_15_17:: 17 --> 19 =	1	x_40_39:: 42 --> 41 =	0
x_16_17:: 18 --> 19 =	0	x_33_40:: 35 --> 42 =	0
x_18_17:: 20 --> 19 =	1	x_39_40:: 41 --> 42 =	1
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_41_40:: 43 --> 42 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	1	x_4_41:: 6 --> 43 =	0
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_40_41:: 42 --> 43 =	1
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_8_42:: 10 --> 44 =	0
x_27_19:: 29 --> 21 =	1	x_38_42:: 44 --> 40 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_10_40:: 12 --> 42 =	0
x_21_20:: 23 --> 22 =	0	x_40_10:: 42 --> 12 =	0
		x_8_38:: 10 --> 40 =	1

Igual que en los casos anteriores, las coordenadas UTM y el programa permitieron determinar las distancias parciales y el total acumulado del recorrido de la ruta n.º 6, lo cual se muestra en la tabla que sigue.

**Tabla 21. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 6.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	185690	8501490	2.470
2 al 3	Av. 5	185745	8501626	0.150
3 al 4	Av. 2	185704	8501725	0.150
4 al 5	Pasaje Las Flores	185673	8501658	0.074
5 al 6	Av. 2	185617	8501677	0.143
6 al 7	Av. 3	185555	8501567	0.140
7 al 8	Las Gardenias	185484	8501609	0.090
8 al 9	Las Gardenias	185437	8501629	0.054
9 al 10	Av. 1	185457	8501738	0.130
10 al 11	Av. 2	185741	8501629	0.073
11 al 12	Av. 2	185818	8501777	0.482
12 al 13	Av. 5	185849	8501847	0.084
13 al 14	Av. 5	185869	8501912	0.109
14 al 15	Av. 4	185908	8501995	0.155
15 al 16	Av. 5	185783	8502052	0.237
16 al 17	Av. 5	185934	8502069	0.085
17 al 18	Av. 5	185960	8502122	0.177
18 al 19	Av. 5	185981	8502181	0.064
19 al 20	Av. 8 (San Agustín)	186015	8502263	0.115
20 al 21	Av. 7 (Los Kantus)	186128	8502323	0.121
21 al 22	Av. 7 (Los Kantus)	186191	8502443	0.105
22 al 23	Av. 12	186176	8502465	0.097
23 al 24	Av. 12	186108	8502491	0.100
24 al 25	Av. 12	186022	8502527	0.140
25 al 26	Av. 1	185888	8502578	0.070
26 al 27	Av. 10	185797	8502465	0.100
27 al 28	Av. 10	185891	8502458	0.100
28 al 29	Av. 10	185946	8502428	0.121
29 al 30	Av. 10	186026	8502398	0.520
30 al 31	Av. 8	185959	8502297	0.157
31 al 32	Av. 8	185805	8502360	0.170
32 al 33	Av. 3	185869	8502340	0.258
33 al 34	Av. 3	185842	8502247	0.100
34 al 35	Av. 3	185721	8501958	0.190
35 al 36	Los Capulíes	185656	8501979	0.070
36 al 37	Los Capulíes	185592	8501999	0.069
37 al 38	Av. 1 (Los Sauces)	185648	8502182	0.114
38 al 39	Av. 1 (Los Sauces)	185691	8502287	0.110
39 al 40	Av. 1 (Los Sauces)	185570	8501911	0.314
40 al 41	Circunvalación Norte	185647	8501802	0.180
41 al 42	Circunvalación Norte	185622	8501740	0.167



42 al 43	Av. 3	185520	8501720	0.493
43 al 44	Ruta al botadero	822946	8500103	18.800
44 al 45	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>48.948</b>

Las distancias que recorren las unidades de recolección de residuos sólidos se muestran en la Tabla 21. Hay recorridos parciales largos; incluso uno de ellos alcanza los 520 metros de longitud. También hay repasos para llegar a zonas donde no se podría llegar de forma directa; ello hace que el recorrido se prolongue, por tanto la distancia acumulada al final se incrementa también.

Las distancias más grandes son, como en casos anteriores, el transporte de los residuos al relleno sanitario de Jaquira (18.800 km desde el último punto de recolección) y el retorno a la base (21.300 km) en Maestranza.

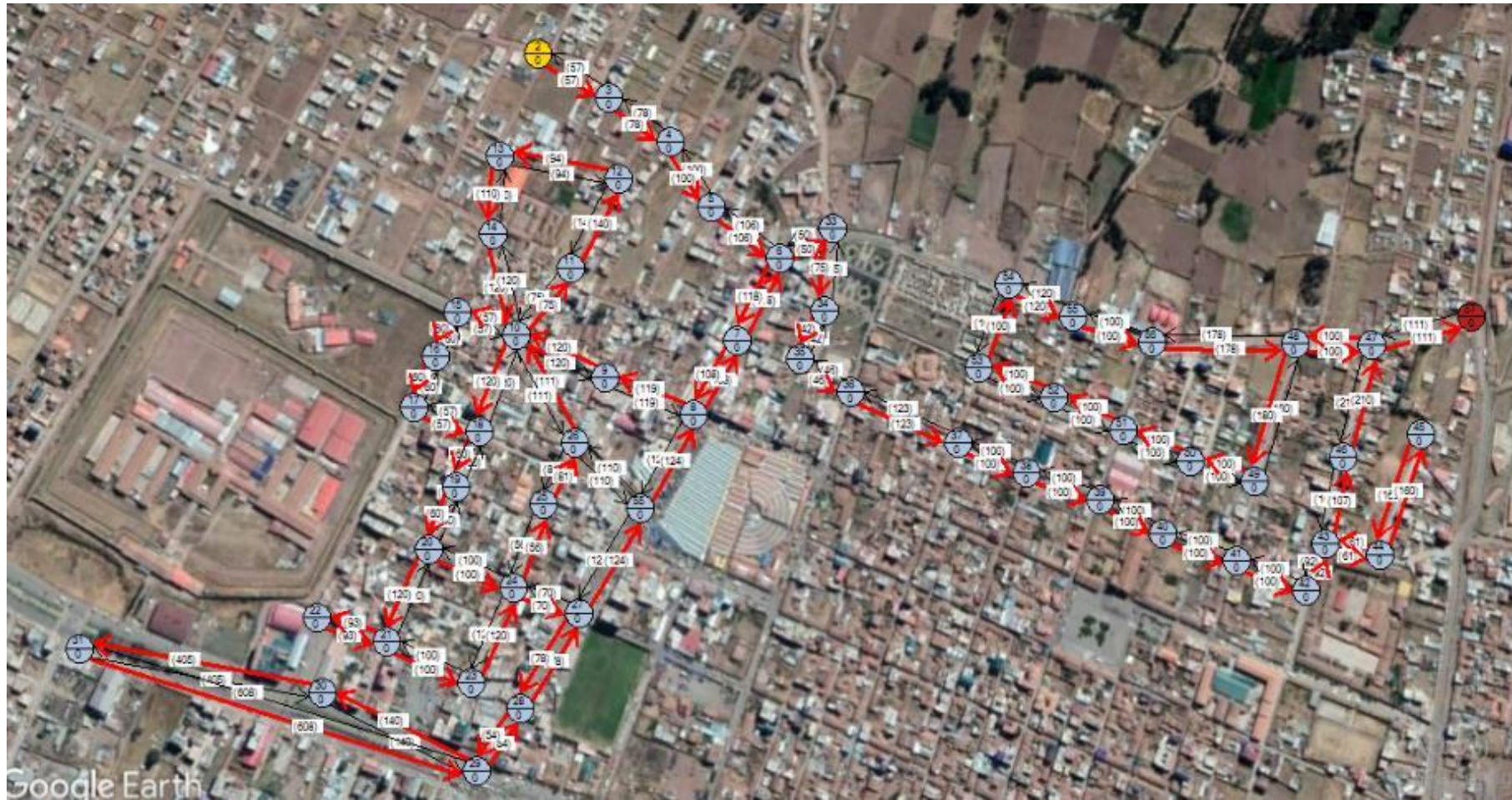
La longitud acumulada para esta ruta es 48.948 km lineales por viaje.

#### 4.4.7. Situación actual de la ruta n.º 7

La ruta n.º 7 recorre la zona adyacente al centro penitenciario; también abarca el mercado mayorista y la parte posterior al templo del distrito: Es una de las rutas más importantes por los lugares que atiende.

Fundamentalmente cubre el sector norte y oeste de la parte más antigua del distrito.





Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 25. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 7.



La toma aérea mostrada en la Figura 25 muestra el recorrido de la ruta n.º 7, donde se puede ver que la mayor parte del recorrido se desarrolla en la parte urbana antigua del distrito. De esa forma, se ve atendido el mercado mayorista de Vinocanchón y la zona al oeste del penal de Qenqoro.

**Modelamiento de la ruta n.º 7**

El análisis a través de nodos y lazos orientados permite observar de mejor manera el recorrido actual que comprende la ruta n.º 7; esto lo realizó el software.

**Modelo (Ruta “7” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 6 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_27_26:: 29 --> 28 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_28_27:: 30 --> 29 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_29_27:: 31 --> 29 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_27_28:: 29 --> 30 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_27_29:: 29 --> 31 =	0
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_30_4:: 33 --> 6 =	0	x_4_30:: 6 --> 33 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_31_30:: 34 --> 33 =	0
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_30_31:: 33 --> 34 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_32_31:: 35 --> 34 =	0
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_31_32:: 34 --> 35 =	1
x_25_6:: 27 --> 8 =	0	x_33_32:: 36 --> 35 =	0
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_32_33:: 35 --> 36 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_34_33:: 37 --> 36 =	0
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_33_34:: 36 --> 37 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_35_34:: 38 --> 37 =	0



x_13_8:: 15 --> 10 =	0	x_34_35:: 37 --> 38 =	1
x_16_8:: 18 --> 10 =	0	x_36_35:: 39 --> 38 =	0
x_24_8:: 26 --> 10 =	0	x_35_36:: 38 --> 39 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_37_36:: 40 --> 39 =	0
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_36_37:: 39 --> 40 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_38_37:: 41 --> 40 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_37_38:: 40 --> 41 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_39_38:: 42 --> 41 =	0
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_38_39:: 41 --> 42 =	1
x_11_12:: 14 --> 10 =	1	x_40_39:: 43 --> 42 =	0
x_8_13:: 10 --> 15 =	1	x_39_40:: 42 --> 43 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_41_40:: 44 --> 43 =	1
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_43_40:: 46 --> 43 =	0
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_40_41:: 43 --> 44 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_42_41:: 45 --> 44 =	1
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_41_42:: 44 --> 45 =	1
x_8_16:: 10 --> 18 =	1	x_40_43:: 43 --> 46 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_44_43:: 47 --> 46 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_43_44:: 46 --> 47 =	0
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_45_44:: 48 --> 47 =	0
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_54_44:: 57 --> 47 =	0
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_44_45:: 47 --> 48 =	1
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_46_45:: 49 --> 48 =	0
x_22_18:: 24 --> 20 =	0	x_53_45:: 56 --> 48 =	0
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_45_46:: 48 --> 49 =	1
x_20_19:: 22 --> 21 =	1	x_47_46:: 50 --> 49 =	0
x_21_19:: 23 --> 21 =	0	x_46_47:: 49 --> 50 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_48_47:: 51 --> 50 =	0
x_19_21:: 21 --> 23 =	1	x_47_48:: 50 --> 51 =	1
x_22_21:: 24 --> 23 =	0	x_49_48:: 52 --> 51 =	0
x_18_22:: 20 --> 24 =	0	x_48_49:: 51 --> 52 =	1
x_21_22:: 23 --> 24 =	1	x_50_49:: 53 --> 52 =	0
x_23_22:: 25 --> 24 =	0	x_49_50:: 52 --> 53 =	1
x_25_22:: 27 --> 24 =	0	x_51_50:: 54 --> 53 =	0
x_22_23:: 24 --> 25 =	1	x_50_51:: 53 --> 54 =	1
x_24_23:: 26 --> 25 =	0	x_52_51:: 55 --> 54 =	0
x_8_24:: 10 --> 26 =	0	x_51_52:: 54 --> 55 =	1
x_23_24:: 25 --> 26 =	1	x_53_52:: 56 --> 55 =	0
x_6_25:: 8 --> 27 =	0	x_45_53:: 48 --> 56 =	0
x_22_25:: 24 --> 27 =	1	x_52_53:: 55 --> 56 =	1
x_26_25:: 28 --> 27 =	1	x_44_54:: 47 --> 57 =	1

Luego del análisis mostrado arriba, y empleando los datos obtenidos con el GPS, se pudo realizar las estimaciones necesarias y se determinaron las distancias efectivas recorridas por los camiones, lo cual se muestra en la tabla a continuación.

**Tabla 22. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 7.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187188	8501399	1.430
2 al 3	1.1 Prolongación	187237	8501376	0.057
3 al 4	1.1 Prolongación	187289	8501327	0.078
4 al 5	1.1 Prolongación	187374	8501241	0.100
5 al 6	1.1 Prolongación	187411	8501075	0.106
6 al 7	Llocllapata	187255	8501039	0.118
7 al 8	Llocllapata	187217	8501051	0.108
8 al 9	Calle Lima	187187	8501106	0.120
9 al 10	Calle Lima	187234	8501188	0.075
10 al 11	Prollma	187259	8501258	0.140
11 al 12	Prollma	187125	8501279	0.100
12 al 13	Calle s/n	187109	8501198	0.093
13 al 14	Allpa Orcona	187154	8501106	0.110
14 al 15	Allpa Orcona	187117	8501091	0.177
15 al 16	Los Triunfadores	187059	8500999	0.060
16 al 17	Los Triunfadores	187128	8500956	0.060
17 al 18	José Gálvez	187113	8500902	0.057
18 al 19	Andrés Avelino Cáceres	187089	8500847	0.060
19 al 20	Andrés Avelino Cáceres	187079	8500799	0.057
20 al 21	Andrés Avelino Cáceres	187001	8500752	0.120
21 al 22	Calle Arequipa	187089	8500720	0.093
22 al 23	Calle Arequipa	187156	8500713	0.193
23 al 24	Calle Abancay	187196	8500829	0.120
24 al 25	Calle Abancay	187213	8500883	0.056
25 al 26	Calle Abancay	187235	8500960	0.083
26 al 27	Calle Abancay	187237	8500741	0.521
27 al 28	Llocllapata	187202	8500671	0.078
28 al 29	Llocllapata	187175	8500625	0.054
29 al 30	Av. De la Cultura	187055	8500660	0.140
30 al 31	Av. De la Cultura	186986	8500680	0.406
31 al 32	Av. De la Cultura	187209	8500673	0.608
32 al 33	Calle Líderes	187464	8501203	0.657
33 al 34	Calle Líderes	187519	8501217	0.075
34 al 35	Calle Líderes	187501	8501070	0.042
35 al 36	24 de Junio	187548	8501041	0.046
36 al 37	25 de Junio	187657	8501004	0.123
37 al 38	26 de Junio	187731	8500984	0.100
38 al 39	27 de Junio	187821	8500943	0.100
39 al 40	28 de Junio	187900	8500918	0.100
40 al 41	29 de Junio	187974	8500893	0.100
41 al 42	30 de Junio	188064	8500863	0.110

42 al 43	Túpac Amaru	188083	8500921	0.092
43 al 44	El Bosquecito	188137	8500905	0.051
44 al 45	El Bosquecito	188195	8501035	0.150
45 al 46	Túpac Amaru	188092	8500936	0.318
46 al 47	Túpac Amaru	188112	8501041	0.210
47 al 48	Almudena	188051	8501123	0.100
48 al 49	Calle Soroma	188003	8500973	0.100
49 al 50	Calle Hospital	187833	8501031	0.100
50 al 51	Calle Hospital	187780	8501046	0.100
51 al 52	Calle Hospital	187702	8501073	0.100
52 al 53	Calle Hospital	187714	8501166	0.100
53 al 54	Agustín Gamarra	187792	8501144	0.100
54 al 55	Almudena	187935	8501118	0.178
55 al 56	Ruta al botadero	822946	8500103	21.800
56 al 57	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>51.830</b>

En la Tabla 22 se puede observar la secuencia del recorrido que deben realizar los camiones compactadores para cubrir la ruta n.º 7. El software esquematizó el recorrido de dicha ruta y realizó el cálculo respectivo acumulado de la distancia en kilómetros lineales que se debe completar para cumplir con las actividades de limpieza.

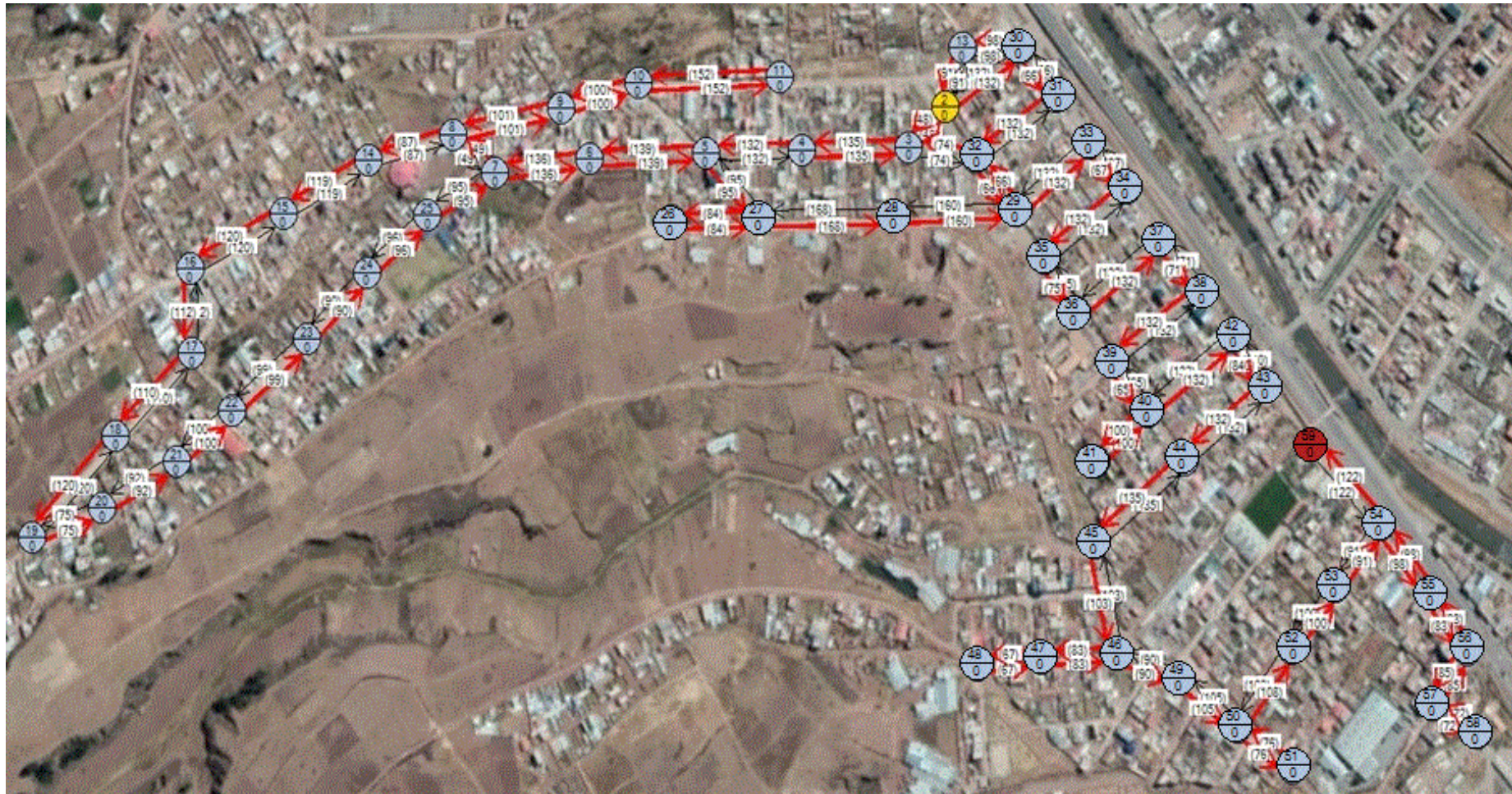
Nuevamente las distancias más largas son el transporte de los residuos al botadero (21.800 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida (21.300 km), en el sector de Maestranza.

El recorrido total actual acumulado para la ruta n.º 7 es de 51.830 km lineales, desde el punto de partida hasta el punto de retorno.

#### **4.4.8. Situación actual de la ruta n.º 8**

La ruta n.º 8 se desarrolla por completo en la margen derecha del río Huatanay. Asimismo, el recorrido llega hasta la zona periférica del distrito por la parte sur.

Una característica de la ruta es que cuenta con una trayectoria ordenada, pero con algunos repasos para atender completamente a los usuarios del servicio de limpieza pública.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 26. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 8.



La Figura 26 muestra el recorrido de la ruta n.º 8. Como se puede ver, la mayor parte de la trayectoria está compuesta por recorridos parciales largos; sin embargo en la zona de Pícol Orcompugio II las labores se desarrollan cubriendo manzana por manzana y describiendo varios giros, sin embargo dichos cambios de sentido no representan mayor problema por la facilidad y orden de las maniobras. Además, la ruta llega hasta zonas periféricas del distrito y se encuentra complementemente establecida sobre la margen derecha del río Huatanay.

**Modelamiento de la ruta n.º 8**

Con la herramienta del programa lineal se hizo un modelamiento de la ruta n.º 8 y se determinaron los nodos y lazos que describen el recorrido de los camiones cuando acuden a atender dicha ruta.

**Modelo (Ruta “8” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 7 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_29_28:: 29 --> 28 =	0
x_10_0:: 13 --> 2 =	1	x_28_29:: 28 --> 29 =	1
x_28_0:: 28 --> 2 =	0	x_30_29:: 30 --> 29 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_1_30:: 3 --> 30 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_27_30:: 27 --> 30 =	1
x_30_1:: 30 --> 3 =	0	x_29_30:: 29 --> 30 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_27_31:: 27 --> 31 =	1
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_32_31:: 32 --> 31 =	0
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_31_32:: 31 --> 32 =	1
x_23_3:: 6 --> 5 =	0	x_33_32:: 33 --> 32 =	0
x_25_3:: 25 --> 5 =	0	x_32_33:: 32 --> 33 =	1
x_5_4:: 8 --> 7 =	0	x_34_33:: 34 --> 33 =	0
x_22_4:: 25 --> 7 =	0	x_33_34:: 33 --> 34 =	1
x_23_4:: 6 --> 7 =	1	x_35_34:: 35 --> 34 =	0
x_4_5:: 7 --> 8 =	1	x_34_35:: 34 --> 35 =	1



x_6_5:: 9 --> 8 =	1	x_36_35:: 36 --> 35 =	0
x_11_5:: 14 --> 8 =	0	x_35_36:: 35 --> 36 =	1
x_5_6:: 8 --> 9 =	1	x_37_36:: 37 --> 36 =	0
x_7_6:: 10 --> 9 =	1	x_36_37:: 36 --> 37 =	1
x_6_7:: 9 --> 10 =	1	x_38_37:: 38 --> 37 =	0
x_8_7:: 11 --> 10 =	1	x_37_38:: 37 --> 38 =	1
x_7_8:: 10 --> 11 =	1	x_39_38:: 39 --> 38 =	1
x_9_8:: 12 --> 11 =	0	x_40_38:: 40 --> 38 =	0
x_8_9:: 11 --> 12 =	0	x_38_39:: 38 --> 39 =	1
x_10_9:: 13 --> 12 =	0	x_38_40:: 38 --> 40 =	1
x_0_10:: 2 --> 13 =	0	x_41_40:: 41 --> 40 =	0
x_9_10:: 12 --> 13 =	0	x_40_41:: 40 --> 41 =	1
x_5_11:: 8 --> 14 =	1	x_42_41:: 42 --> 41 =	0
x_12_11:: 15 --> 14 =	0	x_41_42:: 41 --> 42 =	1
x_11_12:: 14 --> 15 =	1	x_43_42:: 43 --> 42 =	0
x_13_12:: 16 --> 15 =	0	x_42_43:: 42 --> 43 =	1
x_12_13:: 15 --> 16 =	1	x_44_43:: 44 --> 43 =	0
x_14_13:: 17 --> 16 =	0	x_43_44:: 43 --> 44 =	1
x_13_14:: 16 --> 17 =	1	x_45_44:: 45 --> 44 =	1
x_15_14:: 18 --> 17 =	0	x_47_44:: 47 --> 44 =	0
x_14_15:: 17 --> 18 =	1	x_44_45:: 44 --> 45 =	1
x_16_15:: 19 --> 18 =	0	x_46_45:: 46 --> 45 =	1
x_15_16:: 18 --> 19 =	1	x_45_46:: 45 --> 46 =	1
x_17_16:: 20 --> 19 =	0	x_44_47:: 44 --> 47 =	1
x_16_17:: 19 --> 20 =	1	x_48_47:: 48 --> 47 =	0
x_18_17:: 21 --> 20 =	0	x_47_48:: 47 --> 48 =	1
x_17_18:: 20 --> 21 =	1	x_49_48:: 49 --> 48 =	1
x_19_18:: 22 --> 21 =	0	x_50_48:: 51 --> 48 =	0
x_18_19:: 21 --> 22 =	1	x_48_49:: 48 --> 49 =	1
x_20_19:: 23 --> 22 =	0	x_58_49:: 50 --> 49 =	0
x_19_20:: 22 --> 23 =	1	x_48_50:: 48 --> 51 =	1
x_21_20:: 24 --> 23 =	0	x_51_50:: 52 --> 51 =	0
x_20_21:: 23 --> 24 =	1	x_50_51:: 51 --> 52 =	1
x_22_21:: 25 --> 24 =	0	x_52_51:: 53 --> 52 =	0
x_4_22:: 7 --> 25 =	0	x_51_52:: 52 --> 53 =	1
x_21_22:: 24 --> 25 =	1	x_53_52:: 54 --> 53 =	1
x_3_23:: 5 --> 6 =	1	x_57_52:: 58 --> 53 =	0
x_4_23:: 7 --> 6 =	0	x_52_53:: 53 --> 54 =	1
x_25_24:: 25 --> 24 =	1	x_54_53:: 55 --> 54 =	1
x_3_25:: 5 --> 25 =	1	x_53_54:: 54 --> 55 =	1
x_24_25:: 24 --> 25 =	1	x_55_54:: 56 --> 55 =	1
x_26_25:: 26 --> 25 =	0	x_54_55:: 55 --> 56 =	1
x_25_26:: 25 --> 26 =	1	x_56_55:: 57 --> 56 =	1
x_27_26:: 27 --> 26 =	0	x_55_56:: 56 --> 57 =	1
x_26_27:: 26 --> 27 =	1	x_52_57:: 53 --> 58 =	1
x_30_27:: 30 --> 27 =	1	x_49_58:: 49 --> 50 =	0
x_31_27:: 31 --> 27 =	1	x_58_55:: 50 --> 56 =	0
x_0_28:: 2 --> 28 =	1	x_55_58:: 56 --> 50 =	0



Tras el procesamiento de datos realizado por el software de programación lineal y las coordenadas obtenidas por medio del GPS, se pudo hallar las distancias parciales y la distancia total que las unidades vehiculares deben recorrer cuando sirven a la ruta n.º 8.

Las distancias cubiertas se muestran de manera disgregada, calle por calle, en la tabla que está a continuación.

**Tabla 23. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 8.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187668	8500491	1.235
2 al 3	30 de Setiembre	186646	8500762	0.148
3 al 4	30 de Setiembre	186324	8500971	0.135
4 al 5	30 de Setiembre	186181	8500874	0.132
5 al 6	30 de Setiembre	186053	8500666	0.139
6 al 7	30 de Setiembre	186049	8500740	0.136
7 al 8	Calle s/n	185912	8500639	0.049
8 al 9	A.P.V. Los Pinos	185850	8500616	0.101
9 al 10	A.P.V. Los Pinos	185781	8500590	0.100
10 al 11	A.P.V. Los Pinos	185711	8500556	0.152
11 al 12	A.P.V. Los Pinos	185523	8500445	0.130
12 al 13	A.P.V. Los Pinos	185475	8500402	0.075
13 al 14	A.P.V. Los Pinos	185390	8500323	0.645
14 al 15	A.P.V. Los Pinos	185296	8500196	0.119
15 al 16	A.P.V. Los Pinos	185314	8500101	0.120
16 al 17	Calle s/n	185240	8499882	0.112
17 al 18	Calle s/n	185313	8499969	0.110
18 al 19	Calle s/n	185348	8500016	0.120
19 al 20	Vallecito	185386	8500080	0.075
20 al 21	Vallecito	185432	8500161	0.092
21 al 22	Vallecito	185487	8500262	0.100
22 al 23	Vallecito	185517	8500343	0.099
23 al 24	Vallecito	185563	8500419	0.090
24 al 25	Vallecito	185655	8500445	0.096
25 al 26	Pasaje Rinconada	185726	8500481	1.083
26 al 27	Pasaje Rinconada	185815	8500510	0.084
27 al 28	Picol Orcompugio II	185884	8500472	0.168
28 al 29	Av. Fernando	185822	8500444	0.160
29 al 30	Picol Orcompugio II	185966	8500505	0.320
30 al 31	Picol Orcompugio II	186131	8500595	0.066
31 al 32	Av. Fernando	186042	8500620	0.132
32 al 33	Picol Orcompugio II	185875	8500548	0.193
33 al 34	Picol Orcompugio II	185954	8500576	0.067



34 al 35	Picol Orcompugio II	186049	8500652	0.132
35 al 36	Av. Fernando	186111	8500749	0.075
36 al 37	Picol Orcompugio II	186164	8500722	0.132
37 al 38	Picol Orcompugio II	186142	8500682	0.071
38 al 39	Picol Orcompugio II	186106	8500622	0.132
39 al 40	Picol Orcompugio II	186150	8500588	0.065
40 al 41	Av. Fernando	186219	8500689	0.100
41 al 42	Tablón	186276	8500653	0.232
42 al 43	Tablón	186237	8500600	0.084
43 al 44	Tablón	186213	8500558	0.132
44 al 45	Pasaje Matamoros	186261	8500508	0.135
45 al 46	Pasaje Matamoros	186326	8500617	0.103
46 al 47	Pasaje Matamoros	186378	8500595	0.083
47 al 48	Nuevo Horizonte	186321	8500486	0.067
48 al 49	Nuevo Horizonte	186353	8500445	0.240
49 al 50	Los Trigales	186406	8500504	0.105
50 al 51	Los Trigales	186490	8500521	0.075
51 al 52	Los Trigales	186428	8500419	0.183
52 al 53	Los Trigales	186383	8500358	0.100
53 al 54	Av. Evitamiento	186342	8500290	0.091
54 al 55	Av. Evitamiento	186370	8500264	0.093
55 al 56	Av. Evitamiento	186445	8500334	0.083
56 al 57	Av. Evitamiento	186271	8500130	0.085
57 al 58	Term. Petro Perú	186341	8500152	0.072
58 al 59	Av. Evitamiento	186407	8500205	0.460
59 al 60	Ruta al botadero	822946	8500103	18.500
60 al 61	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>49.513</b>

La Tabla 23 muestra el progreso ordenado del recorrido de acuerdo al incremento del número de nodo. Además se especifican los nombre de calles y arterias por las que pasan los camiones recolectores cuando atienden la ruta n.º 8. Las coordenadas UTM halladas con el GPS permitieron otra vez calcular las distancias recorridas, en kilómetros, por los vehículos.

Como sucede en los casos anteriores, las distancias más largas a recorrer son las de transporte de los residuos sólidos al botadero (18.500 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida (21.300 km), en el sector de Maestranza.

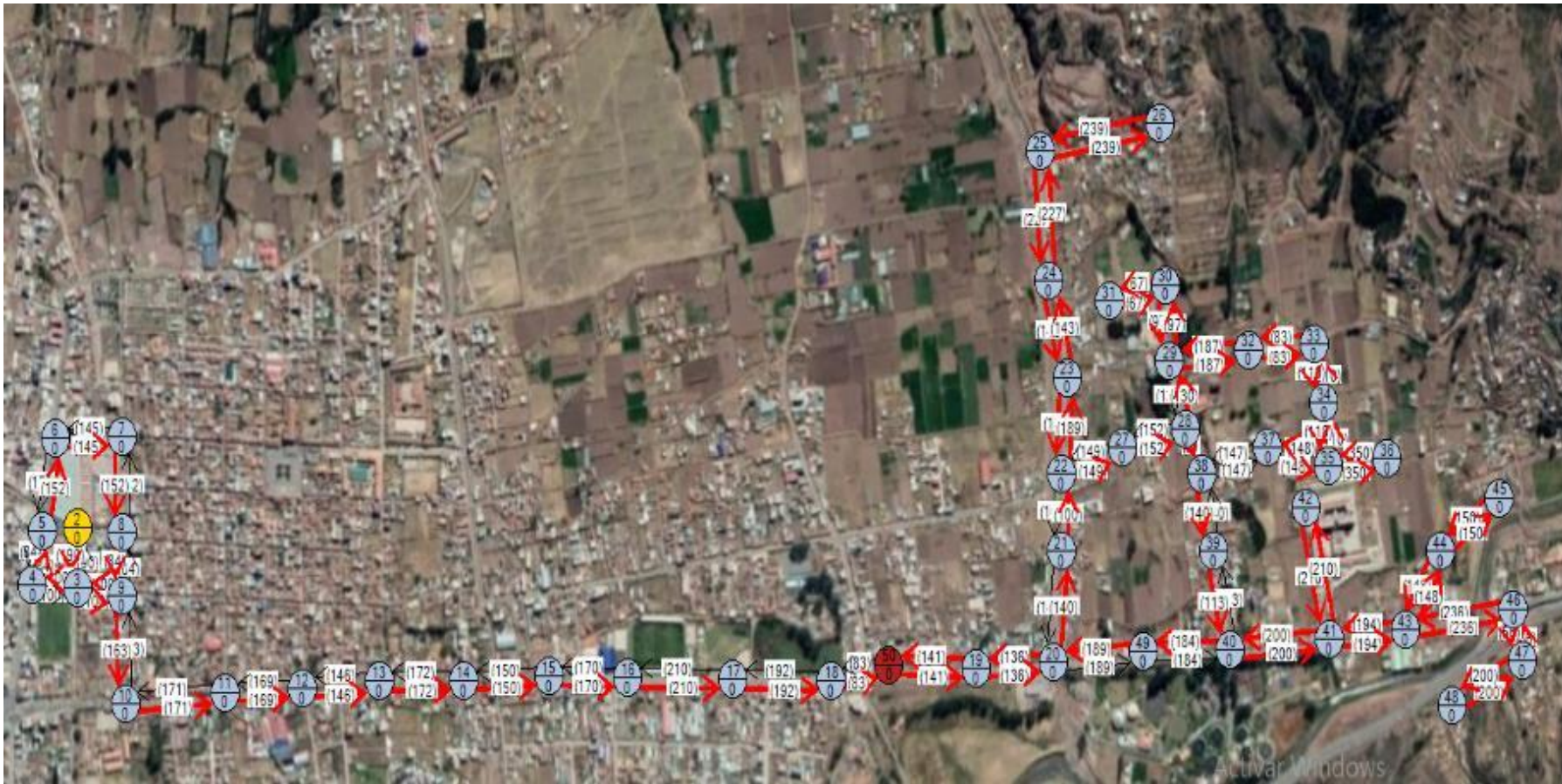
La distancia total actual acumulada para recorrer completamente la ruta n.º 8 es de 49.513 km lineales por viaje.



#### **4.4.9. Situación actual de la ruta n.º 9**

La ruta n.º 9 se caracteriza por que llega hasta el extremo este del distrito, cerca del sector de Angostura, en sus límites con el distrito de Saylla. El recorrido se desarrolla por la prolongación Av. de la Cultura, y llega a zonas periféricas en plena expansión urbana.

Es una trayectoria que recorre calles pavimentadas pero también se pasa por zonas donde las calle tienen superficie afirmada sobre suelo natural.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 27. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 9.



En la Figura 27 se puede apreciar el recorrido actual de la ruta n.º 9 que se comentó antes. La Av. de la Cultura es la parte medular de la ruta, sin embargo debe considerarse la extensión del recorrido a la altura de la planta de tratamiento de aguas residuales, donde los camiones deben dirigirse en dirección norte para atender a las familias que viven en dicha zona.

**Modelamiento de la ruta n.º 9**

Los datos obtenidos permitieron al programa desarrollar la secuencia de nodos y lazos que describen a la ruta n.º 9, lo cual es detallado en los cálculos que siguen.

**Modelo (Ruta “9” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 4 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

$x_{1_0}:: 3 \rightarrow 2 =$	0	$x_{23_24}:: 25 \rightarrow 26 =$	1
$x_{0_1}:: 2 \rightarrow 3 =$	1	$x_{20_25}:: 22 \rightarrow 27 =$	1
$x_{2_1}:: 4 \rightarrow 3 =$	0	$x_{26_25}:: 28 \rightarrow 27 =$	0
$x_{7_1}:: 9 \rightarrow 3 =$	1	$x_{25_26}:: 27 \rightarrow 28 =$	1
$x_{1_2}:: 3 \rightarrow 4 =$	1	$x_{27_26}:: 29 \rightarrow 28 =$	1
$x_{3_2}:: 5 \rightarrow 4 =$	0	$x_{26_27}:: 28 \rightarrow 29 =$	1
$x_{2_3}:: 4 \rightarrow 5 =$	1	$x_{28_27}:: 30 \rightarrow 29 =$	1
$x_{4_3}:: 6 \rightarrow 5 =$	0	$x_{30_27}:: 32 \rightarrow 29 =$	1
$x_{3_4}:: 5 \rightarrow 6 =$	1	$x_{27_28}:: 29 \rightarrow 30 =$	1
$x_{5_4}:: 7 \rightarrow 6 =$	0	$x_{29_28}:: 31 \rightarrow 30 =$	1
$x_{4_5}:: 6 \rightarrow 7 =$	1	$x_{28_29}:: 30 \rightarrow 31 =$	1
$x_{6_5}:: 8 \rightarrow 7 =$	0	$x_{27_30}:: 29 \rightarrow 32 =$	1
$x_{5_6}:: 7 \rightarrow 8 =$	1	$x_{31_30}:: 33 \rightarrow 32 =$	1
$x_{7_6}:: 9 \rightarrow 8 =$	0	$x_{30_31}:: 32 \rightarrow 33 =$	1
$x_{1_7}:: 3 \rightarrow 9 =$	1	$x_{32_31}:: 34 \rightarrow 33 =$	1
$x_{6_7}:: 8 \rightarrow 9 =$	1	$x_{31_32}:: 33 \rightarrow 34 =$	1
$x_{8_7}:: 10 \rightarrow 9 =$	0	$x_{33_32}:: 35 \rightarrow 34 =$	1
$x_{7_8}:: 9 \rightarrow 10 =$	1	$x_{32_33}:: 34 \rightarrow 35 =$	1



x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_34_33:: 36 --> 35 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_35_33:: 37 --> 35 =	1
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_33_35:: 35 --> 37 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_35_36:: 37 --> 38 =	0
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_38_37:: 40 --> 39 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_37_38:: 39 --> 40 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_47_38:: 49 --> 40 =	0
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_40_39:: 42 --> 41 =	1
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_41_39:: 43 --> 41 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_39_40:: 41 --> 42 =	1
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_39_41:: 41 --> 43 =	1
x_48_17:: 50 --> 19 =	1	x_42_41:: 44 --> 43 =	1
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_44_41:: 46 --> 43 =	1
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_41_42:: 43 --> 44 =	1
x_47_18:: 49 --> 20 =	0	x_43_42:: 45 --> 44 =	1
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_42_43:: 44 --> 45 =	1
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_41_44:: 43 --> 46 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_45_44:: 47 --> 46 =	1
x_21_20:: 23 --> 22 =	1	x_44_45:: 46 --> 47 =	1
x_25_20:: 27 --> 22 =	0	x_46_45:: 48 --> 47 =	1
x_20_21:: 22 --> 23 =	1	x_45_46:: 47 --> 48 =	1
x_22_21:: 24 --> 23 =	1	x_18_47:: 20 --> 49 =	0
x_21_22:: 23 --> 24 =	1	x_38_47:: 40 --> 49 =	1
x_23_22:: 25 --> 24 =	1	x_17_48:: 19 --> 50 =	1
x_22_23:: 24 --> 25 =	1	x_16_48:: 18 --> 50 =	1
x_24_23:: 26 --> 25 =	1	x_48_16:: 50 --> 18 =	0

Conocidos los resultados que se obtuvieron del análisis realizado con el programa en la investigación, y con la verificación que ofrecen los datos del GPS, fue posible hacer un ruteo y de esa manera se calcularon las distancias efectivas cubiertas por los camiones y su respectiva cuadrilla de trabajadores cuando atienden dicha ruta.

**Tabla 24. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 9.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187396	8500850	1.400
2 al 3	Clorinda Matto	187437	8500726	0.190
3 al 4	Calle Perú	187350	8500754	0.100
4 al 5	Llocllapata	187312	8500854	0.084
5 al 6	Llocllapata	187442	8500993	0.152
6 al 7	Calle Lima	187551	8501038	0.147
7 al 8	Pumacahua	189289	8500019	0.152
8 al 9	Pumacahua	189324	8500048	0.084
9 al 10	Pumacahua	189357	8500142	0.163
10 al 11	Av. de la Cultura	189370	8500190	0.171
11 al 12	Av. de la Cultura	189695	8500819	0.169
12 al 13	Av. de la Cultura	189614	8500820	0.146
13 al 14	Av. de la Cultura	189509	8500826	0.172
14 al 15	Av. de la Cultura	189483	8500688	0.150
15 al 16	Av. de la Cultura	189472	8500520	0.170
16 al 17	Av. de la Cultura	189415	8500336	0.210
17 al 18	Av. de la Cultura	189521	8500332	0.192
18 al 19	Av. de la Cultura	189688	8500337	0.083
19 al 20	Av. de la Cultura	189678	8500404	0.141
20 al 21	Calle Los Jardines	190268	8499794	0.140
21 al 22	Calle Los Jardines	190082	8499749	0.100
22 al 23	Calle Los Jardines	189699	8500543	0.189
23 al 24	Calle Los Jardines	189607	8500550	0.143
24 al 25	Calle Los Jardines	189860	8500402	0.227
25 al 26	Andén-Andén	189926	8500390	0.239
26 al 27	Patrón San Jerónimo	189982	8500374	0.947
27 al 28	Patrón San Jerónimo	190194	8500143	0.152
28 al 29	CC. Ccollana	190077	8500154	0.130
29 al 30	CC. Ccollana	189770	8500249	0.097
30 al 31	CC. Ccollana	189892	8500228	0.067
31 al 32	Chahuanccosco	189953	8500181	0.351
32 al 33	Chahuanccosco	189693	8500225	0.083
33 al 34	Fundo Acoyoc	189692	8500151	0.110
34 al 35	Fundo Acoyoc	189681	8500079	0.110
35 al 36	Prolongación Perú	189681	8499972	0.350
36 al 37	Prolongación Perú	189899	8500166	0.497
37 al 38	Prolongación Perú	190013	8499885	0.147
38 al 39	CC. CCollana	190317	8500025	0.140
39 al 40	CC. CCollana	190264	8500021	0.113
40 al 41	CC. CCollana	190211	8500008	0.200
41 al 42	Universidad Andina del Cusco	190084	8499943	0.210



42 al 43	Av. de la Cultura	189959	8499901	0.404
43 al 44	Wiracocha	189905	8499907	0.146
44 al 45	Wiracocha	189825	8499924	0.150
45 al 46	Wiracocha	189771	8499935	0.534
46 al 47	Pasaje Tambillo	189573	8499984	0.085
47 al 48	Pasaje Tambillo	189430	8500017	0.200
48 al 49	Av. de la Cultura	189160	8500080	1.098
49 al 50	Av. de la Cultura	189068	8500115	0.466
50 al 51	Ruta al botadero	822946	8500103	21.950
51 al 52	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>			<b>55.151</b>	

En la Tabla 24 se puede ver las distancias que recorren los camiones compactadores cuando atienden la ruta n.º 9. Las longitudes largas son la característica principal del recorrido, con tramos parciales que se acercan incluso al kilómetro lineal de extensión, como en el caso del sector de Patrón San Jerónimo, con 947 metros de longitud.

Asimismo, cabe destacar los recorridos más extensos que fueron, nuevamente, el transporte de los residuos al relleno sanitario de Jaquira (21.950 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida (21.300 km), en Maestranza.

La longitud acumulada para esta ruta es 55.151 km lineales por viaje, entre la salida de la base hasta su respectivo punto de retorno.

#### 4.4.10. Situación actual de la ruta n.º 10

La ruta n.º 10 es una de las rutas más extensas respecto a las demás. Su cobertura llega hasta la parte periférica urbana del distrito por la parte sur. El recorrido debe hacerse en algunas partes vías de suelo afirmado. Los recorridos rectilíneos que facilitan el trabajo del personal de limpieza pública, sin embargo las labores de recolección se hacen más esforzadas debido a la extensión y a veces se dificultan más por influencia de los factores climáticos.





Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 28. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 10.



Como se había comentado, la ruta n.º 10 se caracteriza por recorridos parciales rectos y largos, como se muestra en la toma satelital de la Figura 28. Asimismo, se puede notar que el recorrido llega hasta zonas rurales del distrito, como sucede en el sector de la quebrada donde se asienta el centro poblado de Pillao Matao, hoy asimilado a la parte urbana del distrito.

**Modelamiento de la ruta n.º 10**

El programa realizó cálculos y análisis sobre los datos insertados, y logró determinar los nodos y lazos que describen la situación actual del recorrido de la ruta n.º 10, lo cual se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “10” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{ij}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 7 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_29_27:: 31 --> 29 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_29_28:: 31 --> 30 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_37_28:: 39 --> 30 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_27_29:: 29 --> 31 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_28_29:: 30 --> 31 =	0
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_30_29:: 32 --> 31 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_31_30:: 33 --> 32 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_30_31:: 32 --> 33 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_32_31:: 34 --> 33 =	1
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_33_32:: 35 --> 34 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_34_33:: 36 --> 35 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_33_34:: 35 --> 36 =	1



x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_35_34:: 37 --> 36 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_36_35:: 38 --> 37 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_28_37:: 30 --> 39 =	1
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_38_37:: 40 --> 39 =	0
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_37_38:: 39 --> 40 =	1
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_40_39:: 42 --> 41 =	0
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_39_40:: 41 --> 42 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_41_40:: 43 --> 42 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_40_41:: 42 --> 43 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_42_41:: 44 --> 43 =	1
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_48_41:: 50 --> 43 =	0
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_41_42:: 43 --> 44 =	1
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_43_42:: 45 --> 44 =	0
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_42_43:: 44 --> 45 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_44_43:: 46 --> 45 =	1
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_45_43:: 47 --> 45 =	1
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_43_44:: 45 --> 46 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_46_44:: 48 --> 46 =	1
x_21_20:: 23 --> 22 =	0	x_43_45:: 45 --> 47 =	0
x_20_21:: 22 --> 23 =	1	x_46_45:: 48 --> 47 =	1
x_22_21:: 24 --> 23 =	0	x_44_46:: 46 --> 48 =	0
x_21_22:: 23 --> 24 =	1	x_45_46:: 47 --> 48 =	0
x_23_22:: 25 --> 24 =	0	x_47_46:: 49 --> 48 =	1
x_22_23:: 24 --> 25 =	1	x_46_47:: 48 --> 49 =	1
x_24_23:: 26 --> 25 =	0	x_41_48:: 43 --> 50 =	1
x_23_24:: 25 --> 26 =	1	x_49_48:: 51 --> 50 =	0
x_25_24:: 27 --> 26 =	0	x_48_49:: 50 --> 51 =	1
x_24_25:: 26 --> 27 =	1	x_50_49:: 52 --> 51 =	0
x_26_25:: 28 --> 27 =	0	x_49_50:: 51 --> 52 =	1

De forma similar que el desarrollo en los casos anteriores, las coordenadas UTM y el software permitieron determinar las distancias parciales y la distancia total acumulada del recorrido de la ruta n.º 10, lo cual se muestra en la tabla que sigue.

**Tabla 25. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 10.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187875	8500807	0.900
2 al 3	Plaza de San Jerónimo	187778	8500788	0.140
3 al 4	San Martín	187523	8500878	0.280
4 al 5	Pumacahua	187484	8500819	0.091
5 al 6	Ramón Castilla	187318	8500866	0.190



6 al 7	Llocllapata	187171	8500623	0.300
7 al 8	Llocllapata	186901	8500685	0.280
8 al 9	Av. de la Cultura	186715	8500736	0.190
9 al 10	Av. de la Cultura	186575	8500800	0.150
10 al 11	Av. de la Cultura	186528	8500825	0.062
11 al 12	Av. de la Cultura	186428	8500893	0.130
12 al 13	Av. de la Cultura	186159	8501090	0.350
13 al 14	Av. de la Cultura	185984	8501220	0.220
14 al 15	Av. de la Cultura	185768	8501369	0.270
15 al 16	Av. de la Cultura	185688	8501429	0.110
16 al 17	Av. de la Cultura	185566	8501509	0.150
17 al 18	Av. de la Cultura	185416	8501615	0.180
18 al 19	Av. de la Cultura	185122	8500420	0.250
19 al 20	Abelardo Túpac Amaru	185122	8500420	0.340
20 al 21	José Túpac Amaru	185239	8500162	0.453
21 al 22	José Túpac Amaru	184447	8498932	0.330
22 al 23	Vía Expresa	184510	8499049	0.170
23 al 24	Vía Expresa	184593	8499195	0.140
24 al 25	Av. Evitamiento	184660	8499318	0.300
25 al 26	Patrón San Jerónimo	184803	8499580	0.180
26 al 27	Patrón San Jerónimo	184887	8499720	0.100
27 al 28	Villa Rinconada	184944	8499790	0.256
28 al 29	Nueva Alianza	184985	8499837	0.341
29 al 30	Nueva Alianza	185047	8499909	0.241
30 al 31	Nueva Alianza	185085	8499952	0.211
31 al 32	Pillao Matao	185123	8499995	0.243
32 al 33	Pillao Matao	185168	8500049	0.240
33 al 34	Pillao Matao	185224	8500125	0.210
34 al 35	Pillao Matao	185258	8500162	0.360
35 al 36	Pillao Matao	185283	8500184	0.360
36 al 37	Pillao Matao	186344	8500289	0.120
37 al 38	Pillao Matao	186605	8500125	3.810
38 al 39	Vallecito	186488	8500090	0.636
39 al 40	Pasaje rinconada	186461	8500035	0.540
40 al 41	Picol Orcompugio II	186435	8499931	0.398
41 al 42	Tablón	186450	8499880	0.086
42 al 43	Nuevo Horizonte	186535	8499889	0.110
43 al 44	Pasaje Entrada	186620	8499601	0.137
44 al 45	Tejas y Ladrillos	186602	8499647	0.100
45 al 46	Tejas y Ladrillos	186586	8499683	0.080
46 al 47	Tejas y Ladrillos	186565	8499774	0.049
47 al 48	Tejas y Ladrillos	186544	8499846	0.084
48 al 49	Tejas y Ladrillos	186436	8499819	0.093
49 al 50	Trigales	186557	8500199	0.616
50 al 51	Trigales	186587	8500270	0.120



51 al 52	Av. Evitamiento	186619	8500353	0.100
52 al 53	Ruta al botadero	822946	8500103	19.800
53 al 54	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>56.897</b>

En la Tabla 25 se aprecia una compilación detallada de las calles y avenidas que recorren las unidades motorizadas cuando cubren la ruta n.º 10. La principal característica de la ruta son los recorridos de longitudes parciales extensas; además, resalta también el hecho de que los camiones ingresan hasta zonas adyacentes a campos agrícolas. Es destacable la distancia de retorno cuando los vehículos salen de la zona de Pillao Matao, pues recorren de llano los 3.810 km que tuvo que recorrer de a pocos recolectando los residuos sólidos.

Los recorridos más extensos fueron el transporte de los residuos sólidos a Jaquira (19.800 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida (21.300 km), en Maestranza.

La longitud acumulada para esta ruta es 56.897 km lineales por viaje.

#### 4.4.11. Situación actual de la ruta n.º 11

La ruta n.º 11 se desarrolla en torno al eje de la Av. de la Cultura, desde el Control hasta la Granja K'ayra. Aunque no desarrolla muchos giros, la extensión que abarca lleva a las unidades a cubrir una importante parte del distrito.

El objetivo de la ruta es atender a la zona sureste adyacente a la parte más antigua del distrito de San Jerónimo, sobre todo la parte que se encuentra al norte de los Humedales.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 29. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 11.



En la Figura 29 destaca la cobertura extensa del servicio de limpieza pública, ya que los camiones recolectores trabajan en función a una línea troncal que es la Av. de la Cultura. Luego desarrollan trayectorias con idas y vueltas sobre las mismas calles, debido a la facilidad para circular que otras cercanas no siempre permiten. La ruta n.º 11 desarrolla por completo su recorrido en zona urbana, donde la parte sureste es de reciente urbanización.

**Modelamiento de la ruta n.º 11**

El programa lineal hizo un modelamiento de la ruta n.º 11 y se determinaron los nodos y lazos que describen el recorrido de los camiones cuando acuden a atender dicha ruta, lo cual se aprecia a continuación.

**Modelo (Ruta “11” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 1 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	1	x_21_20:: 23 --> 22 =	1
x_13_0:: 15 --> 2 =	0	x_20_21:: 22 --> 23 =	1
x_22_0:: 24 --> 2 =	0	x_28_21:: 30 --> 23 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_0_22:: 2 --> 24 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	1	x_23_22:: 25 --> 24 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_22_23:: 24 --> 25 =	1
x_3_2:: 5 --> 4 =	1	x_24_23:: 26 --> 25 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_31_23:: 33 --> 25 =	0
x_4_3:: 6 --> 5 =	1	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_25_24:: 27 --> 26 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	1	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_26_25:: 28 --> 27 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	1	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_7_6:: 9 --> 8 =	1	x_26_27:: 28 --> 29 =	1

x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_28_27:: 30 --> 29 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	1	x_21_28:: 23 --> 30 =	0
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_27_28:: 29 --> 30 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	1	x_29_28:: 31 --> 30 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_40_28:: 41 --> 30 =	0
x_10_9:: 12 --> 11 =	1	x_28_29:: 30 --> 31 =	0
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_30_29:: 32 --> 31 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	1	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_23_31:: 25 --> 33 =	0
x_12_11:: 14 --> 13 =	1	x_32_31:: 34 --> 33 =	1
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_34_31:: 36 --> 33 =	0
x_0_13:: 2 --> 15 =	1	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	1	x_33_32:: 35 --> 34 =	1
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_15_14:: 17 --> 16 =	1	x_31_34:: 33 --> 36 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_35_34:: 37 --> 36 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	1	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	1	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_18_17:: 20 --> 19 =	1	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_38_37:: 40 --> 39 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	1	x_37_38:: 39 --> 40 =	1
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_20_19:: 22 --> 21 =	1	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_28_40:: 30 --> 41 =	1

Una vez determinados los resultados del análisis realizado por el software en la investigación, apoyados con la verificación que ofrecen los datos del GPS, se hizo un ruteo y de esa manera se calcularon las distancias efectivas parciales y la distancia total acumulada cubiertas por los camiones recolectores de residuos sólidos.

**Tabla 26. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 11.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187232	8500600	0.438
2 al 3	Av. de la Cultura	187174	8500613	0.123
3 al 4	Av. de la Cultura	187230	8500586	0.128
4 al 5	Av. de la Cultura	187449	8500538	0.152
5 al 6	Av. de la Cultura	187506	8500529	0.110
6 al 7	Av. de la Cultura	187527	8500516	0.100
7 al 8	Av. de la Cultura	187587	8500498	0.098
8 al 9	Av. de la Cultura	187662	8500479	0.100





9 al 10	Av. de la Cultura	187713	8500470	0.125
10 al 11	Av. de la Cultura	187761	8500458	0.155
11 al 12	Av. de la Cultura	187824	8500445	0.230
12 al 13	Av. de la Cultura	187849	8500434	0.070
13 al 14	Av. de la Cultura	187912	8500415	0.062
14 al 15	Av. de la Cultura	188044	8500378	0.056
15 al 16	Calle Romerito	188093	8500369	0.080
16 al 17	Pampachacra	188161	8500351	0.070
17 al 18	Pampachacra	188160	8500251	0.110
18 al 19	Pampachacra	188211	8500239	0.053
19 al 20	Pampachacra	188289	8500220	0.079
20 al 21	Pampachacra	188379	8500195	0.094
21 al 22	Pampachacra	188445	8500171	0.068
22 al 23	Pampachacra	188509	8500150	0.067
23 al 24	Pampachacra	188554	8500134	0.825
24 al 25	Av. de la Cultura	188696	8500086	0.150
25 al 26	Av. de la Cultura	188232	8500331	0.075
26 al 27	Av. de la Cultura	188277	8500313	0.049
27 al 28	Av. de la Cultura	188394	8500285	0.130
28 al 29	Av. de la Cultura	188495	8500256	0.110
29 al 30	Av. de la Cultura	188585	8500227	0.095
30 al 31	Av. de la Cultura	188651	8500210	0.120
31 al 32	Av. de la Cultura	188718	8500184	0.118
32 al 33	Av. de la Cultura	188770	8500173	0.750
33 al 34	Calle Perú	188849	8500143	0.140
34 al 35	Calle Perú	188589	8500238	0.159
35 al 36	Calle Perú	188185	8500489	0.140
36 al 37	Calle Perú	188269	8500470	0.411
37 al 38	Calle Perú	188378	8500452	0.150
38 al 39	Calle Perú	188567	8500428	0.110
39 al 40	Calle Perú	188722	8500403	0.190
40 al 41	Calle Perú	188891	8500382	0.160
41 al 42	Comisaría Forestal	188776	8500285	0.548
43 al 44	Ruta al botadero	822946	8500103	21.930
44 al 45	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>50.228</b>

En la Tabla 26 se puede ver la secuencia que describe el recorrido que realizan los camiones compactadores para cubrir la ruta n.º 11. El software hizo un flujo de desarrollo de dicha ruta y realizó el cálculo respectivo acumulado de la distancia en kilómetros lineales que las unidades deben recorrer al atender dicha zona. En la Figura 29 resaltan los repasos por vías que fueron



cubiertas, lo cual hace que el recorrido de los vehículos recolectores se haga más denso cuando se analiza su desempeño.

Asimismo, las distancias que se observan durante el recorrido son el transporte de los residuos al botadero (21.930 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida (21.300 km) en Maestranza.

El recorrido total actual acumulado para la ruta n.º 11 es de 50.228 km lineales, desde el punto de partida hasta el punto de retorno.

#### **4.4.12. Situación actual de la ruta n.º 12**

La ruta n.º 12 es la más importante ya que cubre toda la parte antigua del distrito de San Jerónimo. Se desarrolla por completo en zona urbana y atiende, entre otros lugares, al Mercado Mayorista Vinocanchón y al Penal de Qenqoro. El punto de inicio está cerca de la Plaza del distrito y su recorrido termina en la zona de Larapa.

La ruta tiene una trayectoria ordenada, con algunos repasos para atender completamente a los usuarios del servicio de limpieza pública.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 30. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 12.



La ruta n.º 12 de recolección de residuos sólidos se caracteriza por sus escasos giros y por su tramos de circulación rectilíneos. Además, como ya se comentó antes, esta ruta es importante porque atiende a la parte histórica del distrito, así como a establecimientos importantes como el mercado de Vinocanchón y el penal de Qenqoro.

En el desarrollo de la ruta incide de manera directa la vialidad del centro del distrito, que se caracteriza por tener calles angostas y, en algunos casos, con pendientes ligeras. El recorrido toma luego la Av. de la Cultura y termina en el límite con el distrito de San Sebastián, en la zona de Larapa.

**Modelamiento de la ruta n.º 12**

Se logró determinar los nodos y lazos que describen la situación actual del recorrido de la ruta n.º 12; los resultados del procesamiento realizado por el software se muestran a continuación.

**Modelo (Ruta “12” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 1 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_24_23:: 26 --> 25 =	0
x_13_0:: 15 --> 2 =	1	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_14_0:: 16 --> 2 =	0	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_35_0:: 37 --> 2 =	0	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_28_27:: 30 --> 29 =	0
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_27_28:: 29 --> 30 =	1
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_30_29:: 32 --> 31 =	0



x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_31_30:: 33 --> 32 =	0
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_30_31:: 32 --> 33 =	1
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_32_31:: 34 --> 33 =	0
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_33_32:: 35 --> 34 =	0
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_35_34:: 37 --> 36 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_0_35:: 2 --> 37 =	0
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_14_36:: 16 --> 38 =	0
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_0_13:: 2 --> 15 =	0	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_18_13:: 20 --> 15 =	0	x_38_37:: 40 --> 39 =	0
x_0_14:: 2 --> 16 =	1	x_37_38:: 39 --> 40 =	1
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_36_14:: 38 --> 16 =	0	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_40_39:: 42 --> 41 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_39_40:: 41 --> 42 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_41_40:: 43 --> 42 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_40_41:: 42 --> 43 =	1
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_42_41:: 44 --> 43 =	0
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_41_42:: 43 --> 44 =	1
x_13_18:: 15 --> 20 =	0	x_43_42:: 45 --> 44 =	0
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_42_43:: 44 --> 45 =	1
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_44_43:: 46 --> 45 =	0
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_43_44:: 45 --> 46 =	1
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_45_44:: 47 --> 46 =	0
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_44_45:: 46 --> 47 =	1
x_21_20:: 23 --> 22 =	0	x_46_45:: 48 --> 47 =	0
x_20_21:: 22 --> 23 =	1	x_45_46:: 47 --> 48 =	1
x_22_21:: 24 --> 23 =	0	x_47_46:: 49 --> 48 =	0
x_21_22:: 23 --> 24 =	1	x_46_47:: 48 --> 49 =	1
x_23_22:: 25 --> 24 =	0	x_48_47:: 49 --> 49 =	0
x_22_23:: 24 --> 25 =	1	x_47_48:: 49 --> 50 =	1

Al igual que en el caso anterior, los resultados obtenidos del análisis realizado con el software empleado permitieron hacer un ruteo con ayuda del sistema de posicionamiento geográfico (GPS); de esa forma se obtuvieron las distancias efectivas recorridas por los camiones recolectores, lo cual se ve a continuación.



Tabla 27. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 12.

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	188409	8500368	1.300
2 al 3	Ramón Castilla	187449	8500723	0.100
3 al 4	Ramón Castilla	187496	8500794	0.022
4 al 5	Ramón Castilla	187519	8500786	0.079
5 al 6	Ramón Castilla	187592	8500759	0.059
6 al 7	Ramón Castilla	187645	8500747	0.030
7 al 8	Ramón Castilla	187670	8500732	0.059
8 al 9	Suárez	187713	8500724	0.039
9 al 10	San Martín	187746	8500712	0.038
10 al 11	San Martín	187779	8500698	0.050
11 al 12	San Martín	187826	8500682	0.056
12 al 13	San Martín	187862	8500671	0.041
13 al 14	San Martín	187900	8500656	0.060
14 al 15	San Martín	187949	8500641	0.048
15 al 16	Pumacahua	187989	8500622	0.372
16 al 17	Llocllapata	188009	8500696	0.150
17 al 18	Llocllapata	187985	8500714	0.134
18 al 19	Almudena	187952	8500724	0.100
19 al 20	Pumacahua	187904	8500737	0.188
20 al 21	Calle Lima	187869	8500752	0.130
21 al 22	Calle Lima	187789	8500813	0.074
22 al 23	Calle Lima	187741	8500799	0.024
23 al 24	Calle Lima	187713	8500797	0.040
24 al 25	Calle Lima	187677	8500816	0.046
25 al 26	Calle Lima	187633	8500832	0.088
26 al 27	Calle Lima	187549	8500858	0.145
27 al 28	Romeritos	187511	8500879	0.120
28 al 29	Romeritos	187529	8500965	0.174
29 al 30	Calle Perú	187589	8500933	0.059
30 al 31	Calle Perú	187636	8500913	0.084
31 al 32	Calle Perú	187717	8500895	0.040
32 al 33	Calle Perú	187748	8500879	0.062
33 al 34	Calle Perú	187805	8500861	0.063
34 al 35	Calle Perú	187973	8500800	0.068
35 al 36	Calle Perú	188039	8500776	0.063
36 al 37	Calle Perú	188100	8500765	0.073
37 al 38	Calle Perú	188131	8500520	0.221
38 al 39	Llocllapata	188063	8500535	0.200
39 al 40	Av. de la Cultura	188022	8500535	0.168
40 al 41	Av. de la Cultura	187979	8500537	0.159
41 al 42	Av. de la Cultura	187936	8500553	0.172



42 al 43	Av. de la Cultura	187897	8500568	0.184
43 al 44	Av. de la Cultura	187861	8500577	0.180
44 al 45	Av. de la Cultura	187818	8500592	0.179
45 al 46	Av. de la Cultura	187781	8500607	0.157
44 al 47	Av. de la Cultura	187743	8500628	0.132
47 al 48	Av. de la Cultura	187700	8500632	0.144
48 al 49	Av. de la Cultura	187664	8500650	0.151
49 al 50	Av. 5 (U. Andina)	187578	8500683	0.092
50 al 51	Ruta al botadero	822946	8500103	20.450
51 al 52	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>48.167</b>

Las distancias que deben recorrer las unidades de recolección de residuos sólidos se muestran en la Tabla 27. La ruta pasa por calles tradicionales del distrito describe una trayectoria ordenada.

Las distancias más grandes a cubrir son, como en los casos anteriores, el transporte de los residuos sólidos al relleno sanitario de Jaquira (20.450 km desde el último punto de recolección) y el retorno a la base (21.300 km) en Maestranza.

La longitud acumulada para esta ruta es 48.167 km lineales, desde el inicio hasta el punto de retorno.

#### 4.4.13. Situación actual de la ruta n.º 13

La ruta n.º 13 cubre la franja delimitada por la Av. de la Cultura y el río Huatanay. Es una gran extensión que los vehículos recolectores deben completar en cada una de sus salidas. El punto de inicio está a la altura de Larapa, y el final de ruta está a la altura del control policial, pero junto al río.

Esta ruta cubre el sector sur de la margen izquierda del río Huatanay.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 31. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 13.





En la Figura 31 se puede ver una vista aérea de la zona delimitada por el río Huatanay y la Av. de la Cultura. La zona a cubrir es extensa pero completamente inserta dentro del ámbito urbano del distrito. De hecho, se trata de un sector con abundante movimiento comercial, donde hay tiendas por departamentos y agencias bancarias.

La ruta n.º 13 tiene muchos giros obligados por la disposición urbanística, pero también hay puntos de largas distancias parciales que los camiones deben abarcar.

**Modelamiento de la ruta n.º 13**

El programa lineal permitió procesar los datos adquiridos en campo y se hizo un modelamiento de la ruta n.º 13 y se determinaron los nodos y lazos que grafican el recorrido de los camiones cuando acuden a atender dicha ruta.

**Modelo (Ruta “13” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 7 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_22_21:: 24 --> 23 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_21_22:: 23 --> 24 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_20_23:: 22 --> 25 =	1
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_24_23:: 26 --> 25 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_6_2:: 8 --> 4 =	0	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_27_24:: 29 --> 26 =	0
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	0
x_9_4:: 11 --> 6 =	0	x_28_26:: 30 --> 28 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_24_27:: 26 --> 29 =	0
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_29_27:: 31 --> 29 =	0
x_2_6:: 4 --> 8 =	0	x_26_28:: 28 --> 30 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_27_29:: 29 --> 31 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_30_29:: 32 --> 31 =	1



x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_32_29:: 34 --> 31 =	0
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_31_30:: 33 --> 32 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_30_31:: 32 --> 33 =	1
x_4_9:: 6 --> 11 =	0	x_29_32:: 31 --> 34 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_33_32:: 35 --> 34 =	0
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_17_10:: 19 --> 12 =	1	x_35_34:: 37 --> 36 =	0
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_38_37:: 40 --> 39 =	0
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_37_38:: 39 --> 40 =	1
x_15_14:: 17 --> 16 =	1	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_18_14:: 20 --> 16 =	0	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_40_39:: 42 --> 41 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	1	x_39_40:: 41 --> 42 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_41_40:: 43 --> 42 =	0
x_10_17:: 12 --> 19 =	1	x_40_41:: 42 --> 43 =	1
x_14_18:: 16 --> 20 =	1	x_42_41:: 44 --> 43 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_41_42:: 43 --> 44 =	1
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_43_42:: 45 --> 44 =	0
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_42_43:: 44 --> 45 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_44_43:: 46 --> 45 =	0
x_21_20:: 23 --> 22 =	0	x_43_44:: 45 --> 46 =	1
x_23_20:: 25 --> 22 =	0	x_45_44:: 47 --> 46 =	0
x_20_21:: 22 --> 23 =	1	x_44_45:: 46 --> 47 =	1

Luego del análisis que se aprecia en la parte superior, y utilizando los datos obtenidos con el GPS, se realizaron los cálculos necesarios para determinar las distancias efectivas recorridas por los camiones, lo cual se muestra en la tabla que sigue.

**Tabla 28. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 13.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	185392	8501602	1.721
2 al 3	Av. de la Cultura	185534	8501500	0.070
3 al 4	Av. de la Cultura	185549	8501448	0.128
4 al 5	Calle s/n	185543	8501358	0.100
5 al 6	Calle s/n	185608	8501433	0.075
6 al 7	Calle s/n	185655	8501417	0.076
7 al 8	Calle s/n	185661	8501386	0.076



8 al 9	Av. de la Cultura	185635	8501341	0.078
9 al 10	A.P.V. Los Pinos	185620	8501312	0.116
10 al 11	A.P.V. Los Pinos	185568	8501228	0.121
11 al 12	Vía Expresa	185599	8501197	0.146
12 al 13	Juan Pablo II	185649	8501178	0.088
13 al 14	Juan Pablo II	185790	8501072	0.091
14 al 15	Av. de la Cultura	185673	8501170	0.160
15 al 16	Av. de la Cultura	185713	8501227	0.096
16 al 17	Díaz Quintanilla	185742	8501275	0.096
17 al 18	Díaz Quintanilla	185776	8501324	0.091
18 al 19	Vía Expresa	185965	8501202	0.160
19 al 20	Díaz Quintanilla	185939	8501139	0.517
20 al 21	Av. de la Cultura	185909	8501087	0.190
21 al 22	Av. de la Cultura	185854	8501028	0.180
22 al 23	A.P.V. Versalles	185905	8501005	0.095
23 al 24	A.P.V. Versalles	186145	8501070	0.083
24 al 25	A.P.V. Versalles	186261	8500968	0.376
25 al 26	Av. de la Cultura	186172	8500854	0.160
26 al 27	Condominio Magisterial	186303	8500951	0.210
27 al 28	Condominio Magisterial	186344	8500921	0.052
28 al 29	Condominio Magisterial	186392	8500889	0.381
29 al 30	Ciro Alegría	186469	8500834	0.260
30 al 31	Ciro Alegría	186450	8500654	0.198
31 al 32	Ciro Alegría	186538	8500580	0.110
32 al 33	Vía Expresa	186641	8500518	0.083
33 al 34	Ciro Alegría	186591	8500564	0.264
34 al 35	Los Claveles	186559	8500769	0.067
35 al 36	Petro Perú	186560	8500704	0.145
36 al 37	Vía Expresa	186608	8500693	0.173
37 al 38	Vía Expresa	186683	8500660	0.170
38 al 39	Vía Expresa	186736	8500501	0.175
39 al 40	Vía Expresa	186893	8500456	0.160
40 al 41	Parustaca	187105	8500406	0.107
41 al 42	Parustaca	187153	8500568	0.114
42 al 43	Av. de la Cultura	186784	8500688	0.180
43 al 44	Av. de la Cultura	186848	8500671	0.350
44 al 45	Av. de la Cultura	186960	8500645	0.142
45 al 46	Av. de la Cultura	187036	8500612	0.181
46 al 47	Perolpugio	187014	8500543	0.100
47 al 48	Perolpugio	186987	8500458	0.100
48 al 49	Ruta al botadero	822946	8500103	19.630
49 al 50	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 49.742**



La Tabla 28 permite apreciar la secuencia que describe el recorrido que los camiones compactadores deben abarcar para cubrir la ruta n.º 13. El software estimó un flujo ordenado y secuencial a partir de los nodos y lazos generados arriba y realizó el cálculo de las distancias parciales y su respectivo acumulado en kilómetros lineales. En la Figura 31 son destacables los locales comerciales y el orden urbanístico que caracteriza a la zona en estudio.

Asimismo, las distancias más extensas que se observan durante el recorrido son el transporte de los residuos al relleno sanitario (19.630 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida (21.300 km) en Maestranza.

El total actual acumulado que debe recorrerse para cubrir la ruta n.º 13 es de 49.742 km lineales, desde el punto de partida hasta el punto de retorno.

#### **4.4.14. Situación actual de la ruta n.º 14**

La ruta n.º 14 cubre una gran distancia sobre la periferia del centro del distrito por la parte este, norte y oeste; describe pocos giros pero tiene segmentos rectos de considerable longitud. Nuevamente vuelve a pasar por inmediaciones del mercado de Vinocanchón debido a que dicho establecimiento comercial genera grandes cantidades de residuos sólidos cada día. Por la parte norte se aproxima a zonas rurales y por la parte este cubre zonas de que se encuentran en expansión urbana.

La ruta tiene una trayectoria ordenada y secuencial, e incluso llega a visitar lugares alejados de los predios familiares.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 32. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 14.



Como se comentó en el párrafo anterior, la ruta n.º 14 se caracteriza por describir tramos parciales rectos y largos, como se muestra en la toma aérea de la Figura 32; requiere de pocos giros y cubre la zona periférica del distrito por la parte este, norte y oeste. Asimismo, se puede ver que el recorrido llega hasta zonas rurales del distrito. Aunque atiende a un amplio sector del distrito, son pocas las calles que ven circular a los camiones que sirven a esa ruta.

**Modelamiento de la ruta n.º 14**

Tras los cálculos efectuados por el software, y empleando los datos posicionales obtenidos, se pudo determinar los nodos y lazos que describen la situación del recorrido de la ruta n.º 14 en la actualidad, lo cual se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “14” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 0 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_12_11:: 14 --> 13 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_11_12:: 13 --> 14 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	1	x_13_12:: 15 --> 14 =	1
x_3_1:: 5 --> 3 =	0	x_15_12:: 17 --> 14 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_12_13:: 14 --> 15 =	1
x_1_3:: 3 --> 5 =	1	x_14_13:: 16 --> 15 =	0
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_13_14:: 15 --> 16 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_12_15:: 14 --> 17 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_16_15:: 18 --> 17 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_15_16:: 17 --> 18 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_17_16:: 19 --> 18 =	0
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_19_16:: 21 --> 18 =	0
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_16_17:: 18 --> 19 =	1
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_18_17:: 20 --> 19 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_17_18:: 19 --> 20 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_16_19:: 18 --> 21 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_20_19:: 22 --> 21 =	0



x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_19_20:: 21 --> 22 =	1
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_21_20:: 23 --> 22 =	0
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_20_21:: 22 --> 23 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_22_21:: 24 --> 23 =	0
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_21_22:: 23 --> 24 =	1

De forma similar a los casos de rutas anteriores, los resultados obtenidos del análisis realizado con el software permitieron hacer un ruteo del recorrido echando mano del sistema de posicionamiento geográfico (GPS); así se obtuvieron las distancias parciales efectivas y la distancia acumulada total recorridas por los camiones recolectores de residuos sólidos, lo cual se ve a continuación.

**Tabla 29. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 14.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187396	8500850	1.400
2 al 3	Clorinda Matto	187437	8500726	0.190
3 al 4	Calle Perú	187350	8500754	0.100
4 al 5	Calle Perú	187312	8500854	0.210
5 al 6	Llocllapata	187442	8500993	0.230
6 al 7	Llocllapata	187551	8501038	0.190
7 al 8	Calle Lima	188294	8501369	0.160
8 al 9	Pumacahua	188269	8501250	0.120
9 al 10	Calle Líderes	188260	8501166	0.393
10 al 11	Almudena	188268	8501107	0.260
11 al 12	Almudena	188245	8500936	0.380
12 al 13	Almudena	188414	8500915	0.270
13 al 14	Almudena	188650	8500927	0.240
14 al 15	Derrama Magisterial	188229	8500828	0.243
15 al 16	Derrama Magisterial	188218	8500750	0.251
16 al 17	Derrama Magisterial	188203	8500642	0.509
17 al 18	Derrama Magisterial	188189	8500560	0.240
18 al 19	Sector Tancarpatá	188182	8500488	0.243
19 al 20	Sector Tancarpatá	188187	8500567	0.269
20 al 21	Calle Romerito	188279	8500634	0.642
21 al 22	Calle Romerito	188202	8500717	0.238
22 al 23	Calle Romerito	188225	8500809	0.227
23 al 24	Calle Romerito	188240	8500932	0.232
25 al 26	Ruta al botadero	822946	8500103	20.700
26 al 27	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 49.237**



En la Tabla 29 se detalla la secuencia del recorrido que los camiones compactadores deben realizar cuando sirven a la ruta n.º 14. Además, el software hizo un esquema del recorrido de dicha ruta y se calcularon las distancias recorridas en cada tramo, y posteriormente se calculó la distancia acumulada en kilómetros lineales que se debe recorrer.

Las distancias más largas fueron, como en los casos anteriores, el transporte de los residuos sólidos al relleno sanitario de Jaquira (19.760 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida (21.300 km) en Maestranza. Cabe advertir que la longitud promedio de los segmentos oscila alrededor de 200 metros.

Entonces, el total actual acumulado que debe recorrer un camión compactador para cubrir la ruta n.º 14 es 49.237 km lineales por viaje.

#### **4.4.15. Situación actual de la ruta n.º 15**

La ruta n.º 15 tiene una proyección similar a la ruta anterior, sin embargo abarca una mayor extensión porque se proyecta hasta el sector de Larapa por el lado oeste. Nuevamente se presta el servicio de recolección de residuos sólidos al mercado de Vinocanchón y al penal de Qenqoro. Está compuesta por recorridos parciales largos y tiene pocos giros.





Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 33. Recorrido y situación actual de la ruta n.º 15.



La ruta n.º 15 se compone de tramos parciales rectos y largos y pocos giros a lo largo de toda su trayectoria, como se muestra en la fotografía satelital de la Figura 33. Cubre la parte urbanizada y parte de la zona en expansión urbana de Larapa por el lado noroeste del distrito. También se puede observar que la ruta llega hasta zonas rurales por el norte.

**Modelamiento de la ruta n.º 15**

Luego de realizar el análisis y los cálculos, el software pudo determinar los nodos y lazos que caracterizan a la ruta n.º 15. El procesamiento de la información se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “15” Actual)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado =11 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve ->0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_18_19:: 20 --> 21 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_20_19:: 22 --> 21 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_19_20:: 21 --> 22 =	1
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_21_20:: 23 --> 22 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_20_21:: 22 --> 23 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_22_21:: 24 --> 23 =	0
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_21_22:: 23 --> 24 =	1
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_23_22:: 25 --> 24 =	0
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_22_23:: 24 --> 25 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_24_23:: 26 --> 25 =	0
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_26_25:: 28 --> 27 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_27_25:: 29 --> 27 =	0
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_25_27:: 27 --> 29 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_28_27:: 30 --> 29 =	0
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_27_28:: 29 --> 30 =	1

x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_30_29:: 32 --> 31 =	0
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_31_30:: 33 --> 32 =	0
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_30_31:: 32 --> 33 =	1
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_32_31:: 34 --> 33 =	0
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_33_32:: 35 --> 34 =	1
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_35_32:: 37 --> 34 =	0
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_36_33:: 38 --> 35 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_32_35:: 34 --> 37 =	1
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_36_35:: 38 --> 37 =	1
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_33_36:: 35 --> 38 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_35_36:: 37 --> 38 =	1

Los resultados del análisis realizado por el software empleado en la investigación, apoyados con la verificación que ofrecen los datos del GPS, permitieron hacer un ruteo del recorrido y de esa manera se calcularon las distancias efectivas parciales y la distancia total acumulada que los camiones recolectores de residuos sólidos deben recorrer.

**Tabla 30. Nodos de recorrido y situación actual de la ruta n.º 15.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187875	8500807	0.900
2 al 3	Plaza de Armas	187778	8500788	0.140
3 al 4	Pumacahua	187523	8500878	0.280
4 al 5	Ramón Castilla	187484	8500819	0.191
5 al 6	Llocllapata	187318	8500866	0.190
6 al 7	Llocllapata	187171	8500623	0.200
7 al 8	Av. de la Cultura	186901	8500685	0.280
8 al 9	Av. de la Cultura	186715	8500736	0.190
9 al 10	Av. de la Cultura	186575	8500800	0.150
10 al 11	Av. de la Cultura	186528	8500825	0.162
11 al 12	Av. de la Cultura	186428	8500893	0.130
12 al 13	Av. de la Cultura	186159	8501090	0.350
13 al 14	Av. de la Cultura	185984	8501220	0.220
14 al 15	Av. de la Cultura	185768	8501369	0.270
15 al 16	Av. de la Cultura	185688	8501429	0.110
16 al 17	Av. 1	185566	8501509	0.150
17 al 18	Av. 2	185416	8501615	0.150



18 al 19	Av. 5	188358	8500309	0.150
19 al 20	Calle Lima	188345	8500354	0.320
20 al 21	Calle Lima	188347	8500357	0.440
21 al 22	Calle Lima	188075	8501144	0.780
22 al 23	Calle Lima	188135	8501433	0.710
23 al 24	Calle Lima	188284	8500931	0.668
24 al 25	Llocllapata	188993	8500853	0.210
25 al 26	Almudena	188964	8500796	0.162
26 al 27	Almudena	188885	8500606	0.100
27 al 28	Rutitabla	188881	8500540	0.220
28 al 29	Almudena	188901	8500440	0.389
29 al 30	Derrama Magisterial	189073	8500350	0.240
30 al 31	Sector Tancarpata	189173	8500335	0.120
31 al 32	Sector Tancarpata	188934	8500207	0.197
32 al 33	Isaiah Bowman	189053	8500177	0.290
33 al 34	Buena vista	189144	8500141	0.450
34 al 35	Uvima X	188936	8500266	0.172
35 al 36	Uvima X	189269	8500322	0.172
36 al 37	Uvima X	189363	8500314	0.516
37 al 38	Calle s/n	188916	8500095	0.172
38 al 39	Ruta al botadero	882946	8500103	21.600
39 al 40	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 53.441**

Las distancias que deben cubrir los camiones recolectores de residuos sólidos se describen en la Tabla 30. La ruta empieza en la Plaza de Armas del distrito y toma la Av. de la Cultura; llega a Larapa y toma sentido este hasta llegar a la altura del colegio Isaiah Bowman, hasta terminar el recorrido frente a la Granja K'ayra.

Las distancias más largas a recorrer son, igual que en las demás rutas, el transporte de los residuos sólidos al relleno sanitario de Jaquira (21.600 km desde el último punto de recolección) y el retorno a la base (21.300 km) en Maestranza.

La longitud total acumulada para la ruta n.º 15 es 53.441 km lineales, desde el inicio hasta el punto de retorno.



#### **4.5. Propuesta de mejoramiento para las rutas de recolección de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo**

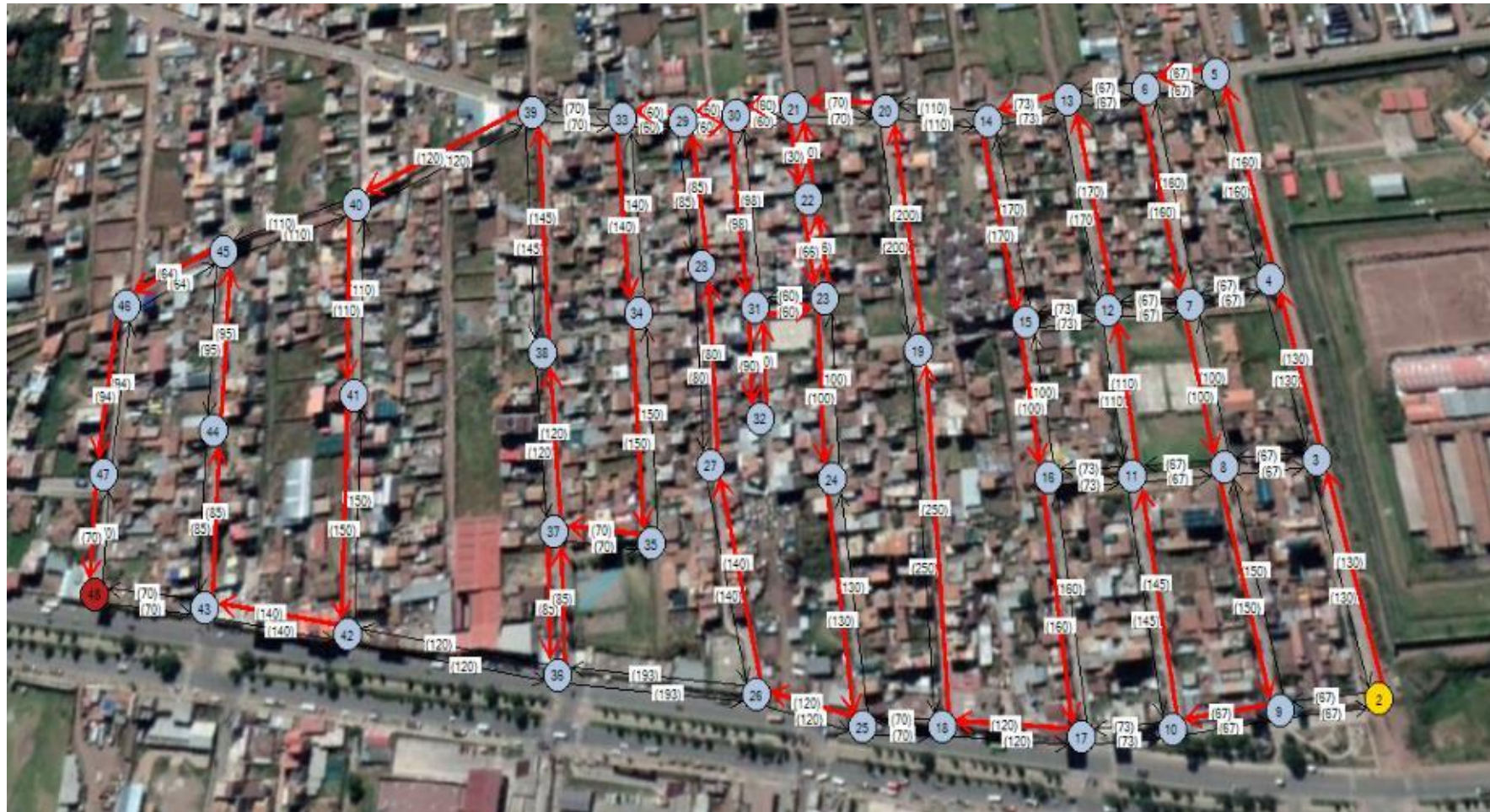
En base al análisis de cada ruta de recolección de residuos sólidos existente, establecidas por la municipalidad distrital, se puede realizar un proceso analítico con la finalidad de lograr mejorar las trayectorias en función, principalmente, de la reducción de distancias recorridas.

También se tuvo en cuenta algunos factores que inciden directamente sobre las labores de recolección de residuos sólidos urbanos generados en el distrito de San Jerónimo, como el eventual bloqueo de calles por diverso motivo, efectos del clima o motivos diversos que muchas veces alteran las rutas y modifican los tiempos. Pero es necesario aclarar que este estudio no tiene como objetivo optimizar los tiempos, ya que el hecho de que hayan imprevistos en las rutas hace poco certera la posibilidad de establecer intervalos de tiempo fijos entre inicio y final de recorrido.

La idea fundamental de la mejora propuesta en esta investigación tiene que ver directamente con la reducción de distancias y eliminación de recorridos innecesarios que se han apreciado durante los recorridos en campo, en una etapa preliminar del trabajo. La reducción de distancias y mejora de rutas permiten deducir que habrá una reducción en el consumo del combustible que es asignado para la ejecución de las actividades de recolección de desechos.

##### **4.5.1. Propuesta de mejora para la ruta n.º 1**

La ruta n.º 1 empieza en la calle Ciro Alegría y describe en términos generales un recorrido zigzagueante, donde se detectó el problema de algunos repasos innecesarios por calles que previamente fueron atendidas.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 34. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 1.



En la Figura 34 se puede ver la propuesta que modificaría la ruta n.º 1. Nótese que el recorrido mostrado en la Figura 19 sufre una ligera modificación cuando los camiones recolectores pasan por el sector de Aproveite, por el lado de la Av. de la Cultura. Con ello se reduce la distancia recorrida para atender a las familias del lugar.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 1**

Se empleó la misma metodología de análisis para modelar las propuestas de rutas actuales. El software realizó los cálculos necesarios y determinó los nodos y lazos más convenientes que mejoran la trayectoria de la ruta n.º 1. El procesamiento de la información se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “1” Propuesta)**

VARIABLES DE DECISIÓN:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Función Objetivo:**

Minimizar:  $Z = 130X_{2,3} + 130X_{3,2} + 67X_{2,9} + 67X_{9,2} + 130X_{3,4} + 130X_{4,3} + 67X_{3,8} + 67X_{8,3} + \dots + 70X_{47,48} + 70X_{48,47} + 70X_{48,43} + 70X_{43,48}$

Sujeto a:

Nodo 2:  $X_{2,3} + X_{2,9} = 1$

Nodo 3:  $X_{3,2} + X_{3,4} + X_{3,8} = 1$

. . .  
. . .  
. . .

Nodo 47:  $X_{47,46} + X_{47,48} = 1$

Nodo 48:  $X_{48,47} + X_{48,43} = 1$

$X_{i,j} = 0,1$

El mismo análisis se realizó con las 14 restantes rutas propuestas.

Tiempo de modelado = 5 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos



lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_22_21:: 24 --> 23 =	0
x_7_0:: 9 --> 2 =	0	x_29_21:: 31 --> 23 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_21_22:: 23 --> 24 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_23_22:: 25 --> 24 =	0
x_6_1:: 8 --> 3 =	0	x_16_23:: 18 --> 25 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_22_23:: 24 --> 25 =	1
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_24_23:: 26 --> 25 =	0
x_5_2:: 7 --> 4 =	0	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_34_24:: 36 --> 26 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_11_4:: 13 --> 6 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_2_5:: 4 --> 7 =	0	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_28_27:: 30 --> 29 =	1
x_10_5:: 12 --> 7 =	0	x_31_27:: 33 --> 29 =	0
x_1_6:: 3 --> 8 =	0	x_19_28:: 21 --> 30 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_27_28:: 29 --> 30 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_9_6:: 11 --> 8 =	0	x_21_29:: 23 --> 31 =	0
x_0_7:: 2 --> 9 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_30_29:: 32 --> 31 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_27_31:: 29 --> 33 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_32_31:: 34 --> 33 =	0
x_15_8:: 17 --> 10 =	0	x_37_31:: 39 --> 33 =	0
x_6_9:: 8 --> 11 =	0	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_33_32:: 35 --> 34 =	0
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_14_9:: 16 --> 11 =	0	x_35_33:: 37 --> 35 =	0
x_5_10:: 7 --> 12 =	0	x_24_34:: 26 --> 36 =	0
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_35_34:: 37 --> 36 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_40_34:: 42 --> 36 =	0
x_13_10:: 15 --> 12 =	0	x_33_35:: 35 --> 37 =	1
x_4_11:: 6 --> 13 =	0	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_31_37:: 33 --> 39 =	0



x_18_12:: 20 --> 14 =	0	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_10_13:: 12 --> 15 =	0	x_38_37:: 40 --> 39 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_37_38:: 39 --> 40 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_9_14:: 11 --> 16 =	0	x_43_38:: 45 --> 40 =	0
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_40_39:: 42 --> 41 =	0
x_8_15:: 10 --> 17 =	0	x_34_40:: 36 --> 42 =	0
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_39_40:: 41 --> 42 =	1
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_41_40:: 43 --> 42 =	0
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_40_41:: 42 --> 43 =	1
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_42_41:: 44 --> 43 =	0
x_23_16:: 25 --> 18 =	0	x_46_41:: 48 --> 43 =	0
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_41_42:: 43 --> 44 =	1
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_43_42:: 45 --> 44 =	0
x_12_18:: 14 --> 20 =	0	x_38_43:: 40 --> 45 =	0
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_42_43:: 44 --> 45 =	1
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_44_43:: 46 --> 45 =	0
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_43_44:: 45 --> 46 =	1
x_20_19:: 22 --> 21 =	1	x_45_44:: 47 --> 46 =	0
x_28_19:: 30 --> 21 =	0	x_44_45:: 46 --> 47 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_46_45:: 48 --> 47 =	0
x_21_20:: 23 --> 22 =	1	x_41_46:: 43 --> 48 =	0
x_20_21:: 22 --> 23 =	1	x_45_46:: 47 --> 48 =	1

El software toma los datos obtenidos en campo, los procesa, los analiza y determina el recorrido más adecuado para evitar recorrer distancias innecesarias. También se determinaron, igual que en el apartado 4.4., las distancias efectivas parciales y la distancia total acumulada que los camiones recolectores de residuos sólidos deben recorrer.

**Tabla 31. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 1.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	186609	8500845	2.200
2 al 3	Ciro Alegría	186664	8500961	0.130
3 al 4	Ciro Alegría	186712	8501061	0.130
4 al 5	Ciro Alegría	186774	8501214	0.160
5 al 6	Calle Lima	186710	8501236	0.067
6 al 7	José Carlos Mariátegui	186649	8501094	0.160
7 al 8	José Carlos Mariátegui	186612	8500997	0.100
8 al 9	José Carlos Mariátegui	186555	8500865	0.150
9 al 10	Av. de la Cultura	186495	8500888	0.067
10 al 11	Ricardo Palma	186544	8501007	0.145



11 al 12	Ricardo Palma	186586	8501102	0.110
12 al 13	Ricardo Palma	186654	8501246	0.170
13 al 14	Calle Lima	186598	8501284	0.073
14 al 15	Constructores	186536	8501140	0.170
15 al 16	Constructores	186501	8501051	0.100
16 al 17	Constructores	186436	8500920	0.160
17 al 18	Av. de la Cultura	186363	8500960	0.120
18 al 19	Huayacucho	186461	8501153	0.250
19 al 20	Huayacucho	186525	8501306	0.200
20 al 21	Calle Lima	186470	8501344	0.070
21 al 22	Fray Martín de Porres	186439	8501270	0.081
22 al 23	Fray Martín de Porres	186412	8501209	0.066
23 al 24	Fray Martín de Porres	186369	8501115	0.100
24 al 25	Fray Martín de Porres	186320	8501000	0.130
25 al 26	Av. de la Cultura	186362	8501197	0.120
26 al 27	Urb. Villa Postales	186318	8501183	0.140
27 al 28	Urb. Villa Postales	186356	8501265	0.080
28 al 29	Urb. Villa Postales	186420	8501388	0.085
29 al 30	Calle Lima	186433	8501362	0.060
30 al 31	Fray Martín de Porres	186399	8501286	0.098
31 al 32	Fray Martín de Porres	186378	8501237	0.090
32 al 33	Calle Lima	186355	8501411	0.308
33 al 34	Urb. Aproveite	186328	8501330	0.140
34 al 35	Urb. Aproveite	186247	8501142	0.150
35 al 36	Tingo	186181	8501085	0.145
36 al 37	Tingo	186189	8501150	0.085
37 al 38	Tingo	186243	8501288	0.120
38 al 39	Tingo	186355	8501411	0.145
39 al 40	Calle Lima	186280	8501441	0.120
40 al 41	El Edén	186171	8501444	0.110
41 al 42	El Edén	186108	8501316	0.150
42 al 43	Av. de la Cultura	186049	8501191	0.140
43 al 44	Santa Mónica	185983	8501263	0.150
44 al 45	Santa Mónica	186014	8501325	0.069
45 al 46	Santa Mónica	186034	8501390	0.064
46 al 47	Monterrico	186060	8501449	0.094
47 al 48	Monterrico	185988	8501461	0.079
48 al 49	Ruta al botadero	822946	8500103	20.500
49 al 50	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 49.651**

La Tabla 31 presenta el progreso del recorrido de la ruta n.º 1 de acuerdo a la mejora determinada por el programa. Aunque tiene similitudes con el recorrido mostrado en la Tabla



16, e incluso el mismo número de nodos, nótese que el recorrido ya no pasa por el sector de La Capullana, así se evita hacer un recorrido que incrementa la distancia acumulada que los camiones recolectores deben recorrer.

No obstante, la distancia del viaje de ida al relleno sanitario de Jaquira se incrementa en 200 metros respecto a la situación actual (20.500 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida, en el sector de Maestranza, se mantiene sin alteración (21.300 km).

La distancia total actual acumulada para recorrer completamente la ruta n.º 1 de acuerdo a la propuesta es de 49.651 km lineales por viaje.

Si comparamos la distancia total de la propuesta de mejora con la situación real, se tiene una reducción en el recorrido de **0.947 km**, resultado que consolida los objetivos propuestos en este trabajo de investigación.

#### **4.5.2. Propuesta de mejora para la ruta n.º 2**

La ruta n.º 2 cubre principalmente la zona sur del distrito, por la margen izquierda y en mayor proporción por la margen derecha del río Huatanay. Los investigadores observaron algunos aspectos que son susceptible de mejora en el recorrido actual de la ruta sometida a estudio.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 35. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 2.



En la Figura 35 se muestra la propuesta que modificaría la ruta n.º 2. Aquí la trayectoria se sustenta principalmente en la Av. Costanera, junto a la faja marginal derecha del río Huatanay. La ruta está establecida, lo que falta es mejorar el recorrido de acuerdo a las observaciones de campo.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 2**

La secuencia de cálculo mediante el software se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “2” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 2 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_24_23:: 26 --> 25 =	0
x_5_0:: 7 --> 2 =	0	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_24_25:: 26 --> 27 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_22_26:: 24 --> 28 =	0
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_28_27:: 30 --> 29 =	0
x_0_5:: 2 --> 7 =	0	x_29_27:: 31 --> 29 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_27_28:: 29 --> 30 =	1
x_44_5:: 44 --> 7 =	0	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_42_28:: 42 --> 30 =	0
x_44_6:: 44 --> 8 =	0	x_27_29:: 29 --> 31 =	0
x_6_7:: 8 --> 9 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	1	x_30_29:: 32 --> 31 =	0
x_11_7:: 13 --> 9 =	0	x_22_30:: 24 --> 32 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	0	x_29_30:: 31 --> 32 =	1



x_9_8:: 11 --> 10 =	1	x_32_30:: 34 --> 32 =	0
x_8_9:: 10 --> 11 =	0	x_42_30:: 42 --> 32 =	0
x_43_9:: 43 --> 11 =	1	x_32_31:: 34 --> 33 =	0
x_44_9:: 44 --> 11 =	1	x_42_31:: 42 --> 33 =	1
x_43_10:: 43 --> 12 =	1	x_21_32:: 23 --> 34 =	0
x_7_11:: 9 --> 13 =	1	x_30_32:: 32 --> 34 =	1
x_13_11:: 15 --> 13 =	1	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_14_11:: 16 --> 13 =	0	x_33_32:: 35 --> 34 =	0
x_13_12:: 15 --> 14 =	1	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_11_13:: 13 --> 15 =	1	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_11_14:: 13 --> 16 =	1	x_35_34:: 37 --> 36 =	0
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_41_37:: 41 --> 39 =	0
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_41_38:: 41 --> 40 =	1
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_41_39:: 41 --> 41 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_41_40:: 41 --> 42 =	0
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_37_41:: 39 --> 41 =	1
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_38_41:: 40 --> 41 =	1
x_23_19:: 25 --> 21 =	0	x_39_41:: 41 --> 41 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	0	x_40_41:: 42 --> 41 =	1
x_21_20:: 23 --> 22 =	0	x_28_42:: 30 --> 42 =	0
x_20_21:: 22 --> 23 =	0	x_30_42:: 32 --> 42 =	1
x_22_21:: 24 --> 23 =	0	x_31_42:: 33 --> 42 =	0
x_32_21:: 34 --> 23 =	1	x_9_43:: 11 --> 43 =	1
x_21_22:: 23 --> 24 =	1	x_10_43:: 12 --> 43 =	1
x_26_22:: 28 --> 24 =	0	x_5_44:: 7 --> 44 =	1
x_30_22:: 32 --> 24 =	0	x_6_44:: 8 --> 44 =	0
x_19_23:: 21 --> 25 =	1	x_9_44:: 11 --> 44 =	0

Tabla 32. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 2.

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187835	8500414	0.660
2 al 3	Sorama	187787	8500449	0.250
3 al 4	Vía Expresa	187750	8500214	0.084
4 al 5	Primavera	187691	8500232	0.080
5 al 6	Primavera	187696	8500284	0.075
6 al 7	Primavera	187678	8500368	0.069
7 al 8	Av. de la Cultura	187672	8500478	0.225



8 al 9	Polibio Umpire	187303	8500570	0.265
9 al 10	Polibio Umpire	187212	8500291	0.100
10 al 11	Polibio Umpire	187549	8500399	0.086
11 al 12	Polibio Umpire	187452	8500342	0.270
12 al 13	Vía Expresa	187248	8500336	0.400
13 al 14	Av. Costanera	186628	8500478	1.013
14 al 15	Av. Costanera	186847	8500409	0.650
15 al 16	Av. Costanera	187305	8500241	0.380
16 al 17	Av. Costanera	187460	8500199	0.110
17 al 18	Av. Costanera	187564	8500140	0.150
18 al 19	Av. Costanera	187742	8500116	0.220
19 al 20	Plaza de Chimpahuaylla	187762	8500056	0.120
20 al 21	Plaza de Chimpahuaylla	187819	8500043	0.095
21 al 22	Plaza de Chimpahuaylla	187850	8500133	0.100
22 al 23	Tahuantinsuyo	187988	8500131	0.093
23 al 24	Av. Los Girasoles	188008	8499965	0.100
24 al 25	Av. Sinchi Roca	188084	8500119	0.115
25 al 26	Portales	186628	8500478	0.150
26 al 27	Tahuantinsuyo	187534	8503045	0.110
27 al 28	Tahuantinsuyo	188181	8500067	0.140
28 al 29	Tahuantinsuyo	188316	8500034	0.140
29 al 30	Urb. Manco Cápac	188456	8499956	0.160
30 al 31	Huayarcachi	188316	8499981	0.110
31 al 32	Huayarcachi	188274	8499887	0.110
32 al 33	Av. Evitamiento	188222	8499798	0.140
33 al 34	Pasaje Alegría	188310	8500512	0.100
34 al 35	Calle s/n	188142	848932	0.290
35 al 36	Calle s/n	188268	8499815	0.110
36 al 37	Av. Evitamiento	187780	8499911	0.210
37 al 38	Av. Evitamiento	187620	8499970	0.140
38 al 39	Av. Evitamiento	187279	8500106	0.340
39 al 40	Av. Evitamiento	187323	8499968	0.350
40 al 41	Av. Evitamiento	187200	8499954	0.370
41 al 42	Villa El Sol	187155	8500021	0.150
42 al 43	Villa El Sol	187320	8499960	0.080
43 al 44	Villa El Sol	187200	8499953	0.075
44 al 45	Villa El Sol	187155	8500020	0.185
45 al 46	Ruta al botadero	822906	8499938	20.950
46 al 47	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 51.420**

En la Tabla 32 se aprecia el recorrido propuesto para mejorar la trayectoria de la ruta n.º 2. A diferencia de lo que se vio en la Tabla 17, puede observarse que en la propuesta existe un solo



paso por la Av. Sinchi Roca, donde actualmente hay tres pases; esto se debe a que en la mejora se plantea que los camiones ahora aborden por la Av. Los Girasoles y por el sector de los Portales, así se reduce la distancia acumulada.

La distancia del viaje de ida al relleno sanitario se mantiene respecto a la situación actual (20.950 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida, en el sector de Maestranza, se mantiene también sin alteración (21.300 km).

La distancia total acumulada para recorrer completamente la ruta n.º 2, de acuerdo a la mejora, es de 51.420 km lineales por viaje.

Realizando la comparación entre la propuesta y la situación real, se tiene una reducción en el recorrido de **2.043 km**, lo cual representa una mejora en la ruta.

#### **4.5.3. Propuesta de mejora para la ruta n.º 3**

La ruta n.º 3 atiende a la zona suroeste del distrito, en la margen derecha del río Huatanay, en los límites con el distrito de San Sebastián. Aquí también se pudo ver recorridos parciales que podrían ser mejorados, sobre todo en el sector de Red de Energía, con un adecuado análisis producto de los datos recogidos en campo.





Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 36. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 3.



A diferencia de lo que se observa en la Figura 21, que es la situación actual de desarrollo de la ruta n.º 3, donde en la parte de Red de Energía hay un recorrido que contempla repasos de los vehículos, en la Figura 36 se muestra una circulación más simple y directa por la zona en mención.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 3**

El procesamiento de la información se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “3” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 3 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo = 5.34KM

Valor actual de las variables

x_1_0:: 15 --> 14 =	0	x_22_21:: 35 --> 34 =	0
x_0_1:: 14 --> 15 =	1	x_21_22:: 34 --> 35 =	1
x_2_1:: 16 --> 15 =	0	x_23_22:: 39 --> 35 =	0
x_1_2:: 15 --> 16 =	1	x_22_23:: 35 --> 39 =	0
x_3_2:: 17 --> 16 =	0	x_24_23:: 38 --> 39 =	1
x_2_3:: 16 --> 17 =	1	x_23_24:: 39 --> 38 =	1
x_4_3:: 18 --> 17 =	0	x_25_24:: 37 --> 38 =	1
x_3_4:: 17 --> 18 =	1	x_24_25:: 38 --> 37 =	1
x_5_4:: 19 --> 18 =	0	x_26_25:: 40 --> 37 =	0
x_4_5:: 18 --> 19 =	1	x_28_25:: 36 --> 37 =	1
x_6_5:: 20 --> 19 =	0	x_25_26:: 37 --> 40 =	1
x_5_6:: 19 --> 20 =	1	x_27_26:: 41 --> 40 =	0
x_7_6:: 21 --> 20 =	0	x_26_27:: 40 --> 41 =	1
x_6_7:: 20 --> 21 =	1	x_25_28:: 37 --> 36 =	0
x_8_7:: 22 --> 21 =	0	x_20_29:: 13 --> 12 =	0
x_7_8:: 21 --> 22 =	1	x_30_29:: 11 --> 12 =	1
x_9_8:: 23 --> 22 =	0	x_29_30:: 12 --> 11 =	0
x_8_9:: 22 --> 23 =	1	x_32_31:: 9 --> 10 =	1
x_10_9:: 24 --> 23 =	0	x_31_32:: 10 --> 9 =	0

x_9_10:: 23 --> 24 =	1	x_33_32:: 8 --> 9 =	1
x_11_10:: 25 --> 24 =	0	x_32_33:: 9 --> 8 =	0
x_10_11:: 24 --> 25 =	1	x_34_33:: 7 --> 8 =	1
x_12_11:: 26 --> 25 =	0	x_33_34:: 8 --> 7 =	0
x_11_12:: 25 --> 26 =	1	x_35_34:: 6 --> 7 =	1
x_13_12:: 27 --> 26 =	0	x_34_35:: 7 --> 6 =	0
x_12_13:: 26 --> 27 =	1	x_36_35:: 5 --> 6 =	1
x_14_13:: 28 --> 27 =	0	x_35_36:: 6 --> 5 =	0
x_13_14:: 27 --> 28 =	1	x_37_36:: 4 --> 5 =	1
x_15_14:: 29 --> 28 =	0	x_36_37:: 5 --> 4 =	0
x_14_15:: 28 --> 29 =	1	x_38_37:: 3 --> 4 =	1
x_16_15:: 30 --> 29 =	0	x_37_38:: 4 --> 3 =	0
x_15_16:: 29 --> 30 =	1	x_39_38:: 2 --> 3 =	1
x_17_16:: 31 --> 30 =	0	x_38_39:: 3 --> 2 =	0
x_16_17:: 30 --> 31 =	1	x_28_22:: 36 --> 35 =	0
x_18_17:: 32 --> 31 =	0	x_22_28:: 35 --> 36 =	1
x_17_18:: 31 --> 32 =	1	x_19_0:: 33 --> 14 =	1
x_19_18:: 33 --> 32 =	0	x_0_19:: 14 --> 33 =	0
x_18_19:: 32 --> 33 =	1	x_5_7:: 19 --> 21 =	1
x_20_19:: 13 --> 33 =	1	x_7_5:: 21 --> 19 =	0
x_19_20:: 33 --> 13 =	1	x_4_8:: 18 --> 22 =	0
x_21_20:: 34 --> 13 =	0	x_8_4:: 22 --> 18 =	0
x_29_20:: 12 --> 13 =	1	x_30_33:: 11 --> 8 =	0
x_20_21:: 13 --> 34 =	1	x_33_30:: 8 --> 11 =	1

**Tabla 33. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 3.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	185443	8500976	1.820
2 al 3	Casuarinas Sur	185165	8500643	0.180
3 al 4	Casuarinas Sur	185613	8500894	0.146
4 al 5	Casuarinas Sur	185559	8500872	0.150
5 al 6	Casuarinas Sur	185504	8500855	0.118
6 al 7	Primero de Junio	185342	8500924	0.270
7 al 8	Santa Bárbara	185235	8500825	0.084
8 al 9	Santa Bárbara	185225	8500785	0.150
9 al 10	Santa Bárbara	185172	8500940	0.126
10 al 11	Santa Bárbara	185118	8500772	0.290
11 al 12	Patrón San Jerónimo	185053	8500692	0.205
12 al 13	Patrón San Jerónimo	184979	8500945	0.150
13 al 14	Villa Rinconada	184924	8500907	0.466
14 al 15	Nueva Alianza	185149	8500556	0.150
15 al 16	San Lorenzo	185140	8500422	0.148
16 al 17	San Lorenzo	185261	8500552	0.190



17 al 18	Red de Energía	185343	8500589	0.190
18 al 19	Red de Energía	185309	8500457	0.180
19 al 20	Inticancha	185280	8500310	0.190
20 al 21	Inticancha	185244	8500313	0.170
21 al 22	Inticancha	185517	8500574	0.450
22 al 23	Red de Energía	185479	8500661	0.115
23 al 24	Villa Los Andes	185523	8500682	0.080
24 al 25	Villa Los Andes	185617	8500722	0.095
25 al 26	Villa Los Andes	185672	8500746	0.083
26 al 27	Villa Los Andes	185712	8500768	0.100
27 al 28	Villa Los Andes	185791	8500806	0.068
28 al 29	Casuarinas Norte	185755	8500874	0.088
29 al 30	Casuarinas Norte	185670	8500847	0.089
30 al 31	Casuarinas Norte	185535	8500809	0.089
31 al 32	Casuarinas Norte	185490	8500796	0.120
32 al 33	Casuarinas Norte	185407	8500777	0.150
33 al 34	Villa Rinconada	185345	8500758	0.366
34 al 35	Lucerinas	185237	8500727	0.070
35 al 36	Lucerinas	184979	8500642	0.167
36 al 37	Lucerinas	184835	8500546	0.114
37 al 38	A.P.V. 1º de Junio	184858	8500655	0.110
38 al 39	A.P.V. 1º de Junio	184879	8500751	0.105
39 al 40	A.P.V. 1º de Junio	184885	8500803	0.352
40 al 41	A.P.V. 1º de Junio	184905	8500858	0.200
41 al 42	Ruta al botadero	822930	8499984	18.440
42 al 43	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>48.124</b>

La Tabla 33 muestra detalla una trayectoria completamente diferente a la situación actual del ruta n.º 3 que se especifica en la Tabla 18, aunque el flujo gráfico pudiera aparentar similitud porque se desea cubrir los mismos lugares sin sacrificar la calidad del servicio. Así, el recorrido propuesto empieza en el sector de Casuarinas Sur con la Av. Evitamiento, punto que actualmente es el final de dicha ruta. En la propuesta se intenta atender a los usuarios ascendiendo de forma gradual hasta la zona de Red de Energía, que es el punto más alto, y luego desciende para terminar en inmediaciones de la A.P.V. 1º de Junio. También es necesario hacer notar que el programa ha determinado la reducción de un nodo de circulación, con lo cual la mejora de recorrido se confirma.

La distancia al relleno sanitario se reduce en la propuesta (18.440 km desde el último punto de recolección) y el retorno al punto de partida, en el sector de Maestranza, se mantiene igualmente sin alteración (21.300 km).



De acuerdo a la propuesta, la distancia total acumulada para recorrer completamente la ruta n.º 3 es de 48.124 km lineales por viaje.

Una simple comparación entre lo actual y la propuesta permite determinar una reducción en la longitud total de la trayectoria de **3.161 km**.

#### **4.5.4. Propuesta de mejora para la ruta n.º 4**

En el caso de la ruta n.º 4, los tesisistas notaron que es posible simplificar el recorrido evitando volver a la Av. de la Cultura tras atender al penal de Qenqoro. La ruta es poco intrincada, por lo cual el programa propuso una mejora sencilla de la trayectoria.

Esta es una ruta muy importante porque presta servicio al mercado de Vinocanchón y al centro penitenciario.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 37. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 4.



La ruta n.º 4 propuesta en la Figura 37 ofrece un flujo más sencillo y directo que el recorrido actual mostrado en la Figura 22. Si bien los puntos iniciales y finales coinciden, la gran diferencia radica en la inclusión de la zona de Praderas del Sur en la ruta del servicio de limpieza pública, con lo cual se logra mejorar la calidad de vida de muchas más familias.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 4**

El procesamiento y cálculos de la información suministrada al programa se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “4” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 2 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo = 4.57km

Valor actual de las variables

$x_{1_0}:: 7 \rightarrow 2 =$	0	$x_{14_13}:: 18 \rightarrow 17 =$	0
$x_{0_1}:: 2 \rightarrow 7 =$	0	$x_{13_14}:: 17 \rightarrow 18 =$	1
$x_{2_1}:: 6 \rightarrow 7 =$	1	$x_{15_14}:: 19 \rightarrow 18 =$	0
$x_{3_1}:: 8 \rightarrow 7 =$	0	$x_{14_15}:: 18 \rightarrow 19 =$	1
$x_{1_2}:: 7 \rightarrow 6 =$	0	$x_{16_15}:: 20 \rightarrow 19 =$	0
$x_{6_2}:: 5 \rightarrow 6 =$	1	$x_{15_16}:: 19 \rightarrow 20 =$	1
$x_{1_3}:: 7 \rightarrow 8 =$	1	$x_{17_16}:: 21 \rightarrow 20 =$	0
$x_{4_3}:: 3 \rightarrow 8 =$	0	$x_{16_17}:: 20 \rightarrow 21 =$	1
$x_{7_3}:: 9 \rightarrow 8 =$	0	$x_{18_17}:: 22 \rightarrow 21 =$	0
$x_{3_4}:: 8 \rightarrow 3 =$	0	$x_{17_18}:: 21 \rightarrow 22 =$	1
$x_{5_4}:: 4 \rightarrow 3 =$	0	$x_{19_18}:: 23 \rightarrow 22 =$	0
$x_{4_5}:: 3 \rightarrow 4 =$	1	$x_{18_19}:: 22 \rightarrow 23 =$	1
$x_{6_5}:: 5 \rightarrow 4 =$	0	$x_{20_19}:: 24 \rightarrow 23 =$	0
$x_{10_5}:: 12 \rightarrow 4 =$	0	$x_{19_20}:: 23 \rightarrow 24 =$	1
$x_{2_6}:: 6 \rightarrow 5 =$	0	$x_{21_20}:: 25 \rightarrow 24 =$	0
$x_{5_6}:: 4 \rightarrow 5 =$	1	$x_{20_21}:: 24 \rightarrow 25 =$	1
$x_{3_7}:: 8 \rightarrow 9 =$	1	$x_{22_21}:: 26 \rightarrow 25 =$	0
$x_{8_7}:: 10 \rightarrow 9 =$	0	$x_{21_22}:: 25 \rightarrow 26 =$	1



x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_23_22:: 27 --> 26 =	0
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_22_23:: 26 --> 27 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_24_23:: 28 --> 27 =	1
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_23_24:: 27 --> 28 =	0
x_5_10:: 4 --> 12 =	0	x_25_24:: 29 --> 28 =	0
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_24_25:: 28 --> 29 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_0_4:: 2 --> 3 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_4_0:: 3 --> 2 =	0
x_12_11:: 16 --> 13 =	0	x_11_26:: 13 --> 14 =	1
x_11_12:: 13 --> 16 =	1	x_26_27:: 14 --> 15 =	1
x_13_12:: 17 --> 16 =	0	x_26_11:: 14 --> 13 =	1
x_12_13:: 16 --> 17 =	1	x_27_26:: 15 --> 14 =	1

Tabla 34. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 4.

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187396	8500850	1.400
2 al 3	Ramón Castilla	187442	8500993	0.060
3 al 4	Llocllapata	187551	8501038	0.230
4 al 5	Calle Lima	186795	8500774	0.203
5 al 6	Pumacahua	187350	8500754	0.331
6 al 7	Calle Lima	187437	8500726	0.100
7 al 8	Calle Lima	187312	8500854	0.110
8 al 9	Llocllapata	186821	8501168	0.478
9 al 10	Av. de la Cultura	187172	8500623	0.424
10 al 11	Av. de la Cultura (penal de varones)	186789	8500770	0.188
11 al 12	Ciro Alegría (penal de mujeres)	186602	8500817	0.441
12 al 13	Calle Lima	186247	8501142	0.534
13 al 14	Calle Lima	186344	8501522	0.125
14 al 15	Praderas del Sur	186280	8501441	0.132
15 al 16	Calle Lima	185929	8501300	0.502
16 al 17	Monterrico	185881	8501590	0.120
17 al 18	Los Kantus	185929	8501300	0.087
18 al 19	Institución	185916	8501665	0.058
19 al 20	Los Kantus	185931	8501721	0.132
20 al 21	Los Kantus	185994	8501841	0.140
21 al 22	Los Kantus	186031	8501924	0.100
22 al 23	Portales de Versalles	186030	8501961	0.108
23 al 24	Portales de Versalles	185990	8501976	0.126
24 al 25	Feudatarios Larapa	185960	8501907	0.057
25 al 26	Feudatarios Larapa	185904	8501772	0.150





26 al 27	Manzana F	185829	8501721	0.130
27 al 28	Manzana F	185803	8501667	0.096
28 al 29	Manzana F	185764	8501554	0.120
29 al 30	Ruta al botadero	822930	8499984	19.760
30 al 31	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>47.742</b>

La trayectoria mostrada en la Tabla 34 es la propuesta de mejora realizada tras el análisis y cálculos correspondientes. Aunque se incorporan dos nuevos nodos y dos nuevos recorridos parciales respecto a la Tabla 19, se logra evitar la bajada hacia a la Av. de la Cultura tras atender la parte baja de la Calle Lima; en esa manera se propone que se cubra por completo la Calle Lima, lo cual posibilita entregar el servicio al barrio periférico de Praderas del Sur, sector en franca expansión urbana. El resto del recorrido atiende por completo a las zonas definidas por las autoridades distritales.

La distancia al relleno sanitario de Jaquira se mantiene sin alteración en la propuesta (19.760 km desde el último punto de recolección), igual que el retorno al punto de partida (21.300 km), en el sector de Maestranza.

La propuesta establece una distancia total acumulada necesaria para cubrir por completo la ruta n.º 4 de 47.742 km lineales por viaje.

Comparando la ruta actual y la propuesta, se puede determinar que la reducción en la longitud total de la trayectoria de **0.995 km**.

#### 4.5.5. Propuesta de mejora para la ruta n.º 5

La ruta n.º 5 es una de las más importantes porque contempla la recolección de los residuos sólidos generados en el mercado de Vinocanchón y en el penal de Qenqoro.

De manera similar a las rutas anteriores, las observaciones hechas en campo y el procesamiento de datos permitieron plantear la posibilidad de una mejora en la ruta n.º 4, a través de algunas modificaciones en el recorrido sin reducir la calidad del servicio que actualmente se presta a la población atendida por dicha ruta.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 38. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 5.



Haciendo un contraste, se puede notar que la Figura 38 propone un recorrido más ordenado y directo, a diferencia de lo que se vio en la trayectoria actual de la Figura 23. Una de las principales diferencias es que el punto final de recolección de la propuesta se encuentra en el barrio de Los Portales; en la ruta actual las actividades acaban en la Av. Pícol. También es notorio que la ruta propuesta ya no cubre el sector de la A.P.V. Tancarpatá, adyacente a Las Praderas del Sur, sector que según la propuesta de ruta n.º 4 ya fue cubierto.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 5**

El procesamiento de la información se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “5” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 6 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_28_27:: 30 --> 29 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_27_28:: 29 --> 30 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_30_29:: 32 --> 31 =	0
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_31_30:: 33 --> 32 =	0
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_30_31:: 32 --> 33 =	1
x_8_7:: 0 --> 9 =	0	x_32_31:: 34 --> 33 =	0
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_31_32:: 33 --> 34 =	1



x_9_8:: 11 --> 0 =	0	x_33_32:: 35 --> 34 =	0
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_35_34:: 37 --> 36 =	0
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_38_37:: 40 --> 39 =	0
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_37_38:: 39 --> 40 =	1
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_40_39:: 42 --> 41 =	0
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_39_40:: 41 --> 42 =	1
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_41_40:: 43 --> 42 =	0
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_40_41:: 42 --> 43 =	1
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_42_41:: 44 --> 43 =	0
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_41_42:: 43 --> 44 =	1
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_43_42:: 45 --> 44 =	0
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_42_43:: 44 --> 45 =	0
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_44_43:: 46 --> 45 =	0
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_43_44:: 45 --> 46 =	0
x_21_20:: 23 --> 22 =	0	x_45_44:: 47 --> 46 =	0
x_20_21:: 22 --> 23 =	1	x_44_45:: 46 --> 47 =	0
x_22_21:: 24 --> 23 =	0	x_46_45:: 48 --> 47 =	0
x_21_22:: 23 --> 24 =	1	x_45_46:: 47 --> 48 =	0
x_23_22:: 25 --> 24 =	0	x_43_47:: 45 --> 49 =	0
x_22_23:: 24 --> 25 =	1	x_47_43:: 49 --> 45 =	0
x_24_23:: 26 --> 25 =	0	x_30_33:: 32 --> 35 =	0
x_23_24:: 25 --> 26 =	1	x_46_47:: 48 --> 49 =	0

Tabla 35. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 5.

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187875	8500807	0.900
2 al 3	San Martín	187778	8500788	0.433
3 al 4	Pumacancha	187523	8500878	0.074
4 al 5	Ramón Castilla	187484	8500819	0.187
5 al 6	Llocllapata	187318	8500866	0.136
6 al 7	Llocllapata	187171	8500623	0.138
7 al 8	Av. de la Cultura	186901	8500685	0.280



8 al 9	Av. de la Cultura	186715	8500736	0.190
9 al 10	Av. de la Cultura	186575	8500800	0.150
10 al 11	Av. de la Cultura	186528	8500825	0.062
11 al 12	Av. de la Cultura	186428	8500893	0.130
12 al 13	Av. de la Cultura	186159	8501090	0.350
13 al 14	Av. de la Cultura	185984	8501220	0.220
14 al 15	Av. de la Cultura	185768	8501369	0.270
15 al 16	Av. de la Cultura	185688	8501429	0.110
16 al 17	Av. de la Cultura	185566	8501509	0.150
17 al 18	Av. de la Cultura	185416	8501615	0.180
18 al 19	Av. 1	185458	8501744	0.150
19 al 20	Av. 1	185526	8501908	0.100
20 al 21	Circunvalación Norte	186072	8501661	0.125
21 al 22	Circunvalación Norte	186118	8501623	0.139
22 al 23	Av. 5	186140	8501674	0.180
23 al 24	Av. 5	186143	8501599	0.180
24 al 25	Av. 5	186213	8501555	0.260
25 al 26	Av. 8 (San Agustín)	186273	8501710	0.150
26 al 27	Av. 7 (Los Kantus)	185830	8501796	0.162
27 al 28	Av. 12	185913	8502009	0.260
28 al 29	Calle Orquídeas	186186	8502475	0.150
29 al 30	Av. Pícol	186148	8502568	0.162
30 al 31	Calle s/n	186209	8502542	0.105
31 al 32	Calle s/n	186321	8502504	0.120
32 al 33	Calle 6	186631	8502638	0.220
33 al 34	Calle 6	186622	8502724	0.140
34 al 35	Calle 6	186662	8502809	0.099
35 al 36	Calle s/n	186614	8502841	0.063
36 al 37	Calle 2	186564	8502755	0.110
37 al 38	Calle 2	186502	8502632	0.140
38 al 39	Calle 2	186419	8502603	0.088
39 al 40	Calle 2	186463	8502705	0.140
40 al 41	Av. Pícol	186500	8502778	0.082
41 al 42	Los Girasoles	186545	8502869	0.100
42 al 43	Los Portales	186489	8502903	0.100
43 al 44	Los Portales	186450	8502816	0.092
44 al 45	Ruta al botadero	822946	8500103	21.13
45 al 46	Retorno a Maestranza	188336	8500360	20.80

**Total= 50.007**

Lo primero que resalta de la Tabla 35 en comparación con la Tabla 20 es que hay 20 nodos menos y el total de recorridos parciales se ha reducido en 21 porque la sinuosidad de la ruta sobre la zona de Larapa se ve simplificada luego de que el software aplique su metodología de



programación lineal. Por consiguiente, dicha simplificación constituye una muestra certera del que los objetivos de la tesis se están alcanzando.

La distancia del viaje a Jaquira no sufre modificaciones (21.130 km desde el último punto de recolección) porque el punto final propuesto y el actual están muy cercanos, y el retorno al punto de partida, en Maestranza, se mantiene también sin alteración (21.300 km), lo que es una constante porque el recorrido de retorno es único.

La propuesta plantea recorrer una distancia total acumulada para la ruta n.º 5 de 50.007 km lineales por viaje.

Comparando la propuesta con las condiciones actuales de operación de la ruta n.º 5, se observa una reducción en la longitud total de la trayectoria de **2.858 km**.

#### **4.5.6. Propuesta de mejora para la ruta n.º 6**

En el caso de la ruta n.º 6, los tesisistas notaron que es posible simplificar el recorrido evitando volver a la Av. de la Cultura tras atender al penal de Qenqoro. La ruta es poco intrincada, por lo cual el programa propuso una mejora sencilla de la trayectoria.

Esta es una ruta muy importante porque presta servicio al mercado de Vinocanchón y al centro penitenciario.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 39. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 6.



La ruta n.º 6 propuesta en la Figura 39 describe una trayectoria más simplificada respecto a lo que se puede ver en el recorrido actual de la Figura 24. La diferencia está en que se han eliminado repasos innecesarios en la parte norte del sector cubierto por esta ruta; los puntos inicial y final se mantienen sin alteraciones significativas en la propuesta.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 6**

El procesamiento y cálculos de la información suministrada al programa se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “6” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 1 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_20_21:: 14 --> 15 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_22_21:: 16 --> 15 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_21_22:: 15 --> 16 =	1
x_10_1:: 6 --> 3 =	0	x_23_22:: 17 --> 16 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_22_23:: 16 --> 17 =	1
x_3_2:: 5 --> 4 =	1	x_24_23:: 18 --> 17 =	0
x_4_2:: 37 --> 4 =	0	x_23_24:: 17 --> 18 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_25_24:: 27 --> 18 =	0
x_2_4:: 4 --> 37 =	0	x_24_25:: 18 --> 27 =	1
x_5_4:: 39 --> 37 =	0	x_26_25:: 19 --> 27 =	0
x_9_4:: 38 --> 37 =	0	x_25_26:: 27 --> 19 =	1
x_41_4:: 36 --> 37 =	1	x_27_26:: 20 --> 19 =	0
x_4_5:: 37 --> 39 =	0	x_16_27:: 21 --> 20 =	0
x_6_5:: 40 --> 39 =	0	x_19_27:: 13 --> 20 =	0
x_5_6:: 39 --> 40 =	1	x_26_27:: 19 --> 20 =	1
x_7_6:: 41 --> 40 =	0	x_16_28:: 21 --> 22 =	1
x_6_7:: 40 --> 41 =	1	x_29_28:: 23 --> 22 =	0
x_8_7:: 42 --> 41 =	0	x_28_29:: 22 --> 23 =	1





x_7_8:: 41 --> 42 =	1	x_30_29:: 24 --> 23 =	1
x_9_8:: 38 --> 42 =	0	x_31_29:: 25 --> 23 =	0
x_42_8:: 43 --> 42 =	0	x_29_30:: 23 --> 24 =	1
x_4_9:: 37 --> 38 =	0	x_29_31:: 23 --> 25 =	1
x_8_9:: 42 --> 38 =	0	x_32_31:: 26 --> 25 =	0
x_1_10:: 3 --> 6 =	1	x_13_32:: 27 --> 26 =	0
x_11_10:: 7 --> 6 =	0	x_31_32:: 25 --> 26 =	1
x_10_11:: 6 --> 7 =	1	x_11_33:: 7 --> 28 =	0
x_12_11:: 8 --> 7 =	0	x_13_33:: 27 --> 28 =	1
x_33_11:: 28 --> 7 =	0	x_34_33:: 29 --> 28 =	0
x_11_12:: 7 --> 8 =	1	x_40_33:: 35 --> 28 =	0
x_13_12:: 27 --> 8 =	0	x_33_34:: 28 --> 29 =	1
x_14_12:: 9 --> 8 =	0	x_35_34:: 30 --> 29 =	0
x_12_13:: 8 --> 27 =	0	x_34_35:: 29 --> 30 =	1
x_32_13:: 26 --> 27 =	0	x_36_35:: 31 --> 30 =	1
x_33_13:: 28 --> 27 =	0	x_38_35:: 33 --> 30 =	0
x_36_13:: 31 --> 27 =	0	x_13_36:: 27 --> 31 =	0
x_12_14:: 8 --> 9 =	1	x_35_36:: 30 --> 31 =	1
x_15_14:: 10 --> 9 =	0	x_37_36:: 32 --> 31 =	1
x_14_15:: 9 --> 10 =	1	x_36_37:: 31 --> 32 =	1
x_17_15:: 11 --> 10 =	0	x_35_38:: 30 --> 33 =	1
x_17_16:: 11 --> 21 =	0	x_39_38:: 34 --> 33 =	0
x_27_16:: 20 --> 21 =	0	x_42_38:: 43 --> 33 =	0
x_28_16:: 22 --> 21 =	0	x_38_39:: 33 --> 34 =	1
x_15_17:: 10 --> 11 =	1	x_40_39:: 35 --> 34 =	0
x_16_17:: 21 --> 11 =	0	x_33_40:: 28 --> 35 =	0
x_18_17:: 12 --> 11 =	0	x_39_40:: 34 --> 35 =	1
x_17_18:: 11 --> 12 =	1	x_41_40:: 36 --> 35 =	0
x_19_18:: 13 --> 12 =	0	x_4_41:: 37 --> 36 =	0
x_18_19:: 12 --> 13 =	1	x_40_41:: 35 --> 36 =	1
x_20_19:: 14 --> 13 =	0	x_8_42:: 42 --> 43 =	1
x_27_19:: 20 --> 13 =	0	x_38_42:: 33 --> 43 =	0
x_19_20:: 13 --> 14 =	1	x_10_40:: 6 --> 35 =	0
x_21_20:: 15 --> 14 =	0	x_40_10:: 35 --> 6 =	0

Tabla 36. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 6.

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	185690	8501490	2.470
2 al 3	Av. 5	185745	8501626	0.150
3 al 4	Av. 2	185704	8501725	0.150
4 al 5	Pasaje Las Flores	185673	8501658	0.074
5 al 6	Av. 5	185818	8501777	0.374



6 al 7	Av. 5	185849	8501847	0.084
7 al 8	Av. 5	185869	8501912	0.109
8 al 9	Av. 5	185908	8501995	0.082
9 al 10	Av. 5	185783	8502052	0.085
10 al 11	Av. 5	185934	8502069	0.083
11 al 12	Av. 8 (San Agustín)	185960	8502122	0.090
12 al 13	Av. 7 (Los Kantus)	185981	8502181	0.115
13 al 14	Av. 7 (Los Kantus)	186015	8502263	0.121
14 al 15	Av. 12	186128	8502323	0.105
15 al 16	Av. 12	186191	8502443	0.097
16 al 17	Av. 12	186176	8502465	0.100
17 al 18	Av. 1	186108	8502491	0.140
18 al 19	Av. 10	186022	8502527	0.070
19 al 20	Av. 10	185888	8502578	0.100
20 al 21	Calle s/n	185797	8502465	0.119
21 al 22	Av. 8	185891	8502458	0.100
22 al 23	Av. 8	185946	8502428	0.075
23 al 24	Av. 8	185960	8502122	0.170
24 al 25	Av. 3	185981	8502181	0.088
25 al 26	Av. 3	186015	8502263	0.278
26 al 27	Av. 3	186128	8502323	0.081
27 al 28	Av. 3	186191	8502443	0.109
28 al 29	Los Capulíes	186197	8502565	0.070
29 al 30	Los Capulíes	186108	8502491	0.066
30 al 31	Av. 1 (Los Sauces)	186022	8502527	0.114
31 al 32	Av. 1 (Los Sauces)	185888	8502578	0.110
32 al 33	Av. 1 (Los Sauces)	185797	8502465	0.324
33 al 34	Circunvalación Norte	185891	8502458	0.180
34 al 35	Av. 1 (Los Sauces)	185946	8502428	0.067
35 al 36	Av. 3	186026	8502398	0.083
36 al 37	Av. 3	185959	8502297	0.079
37 al 38	Av. 2	185805	8502360	0.081
38 al 39	Francisco 1	185869	8502340	0.221
39 al 40	Las Gardenias	185842	8502247	0.090
40 al 41	Las Gardenias	185647	8501802	0.054
41 al 42	Av. 1	185622	8501740	0.130
42 al 43	Av. 1	185520	8501720	0.093
43 al 44	Ruta al botadero	822946	8500103	18.600
44 al 45	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 47.281**

En la Tabla 36 se detalla el recorrido que deberían seguir los camiones recolectores de residuos sólidos sobre una ruta n.º 6 mejorada, donde la principal diferencia con lo mostrado en la Tabla



21 es que la trayectoria se simplificaría porque ya no se tendría que pasar por la Av. 3 y, lo que es más importante, el recorrido ya no tomaría la Av. 4, con lo cual el flujo se hace más ligero y se ahorran repasos innecesarios. La simplificación de la ruta confirma la efectividad de la aplicación de la programación lineal para mejorar las trayectorias de recolección de desechos vigente.

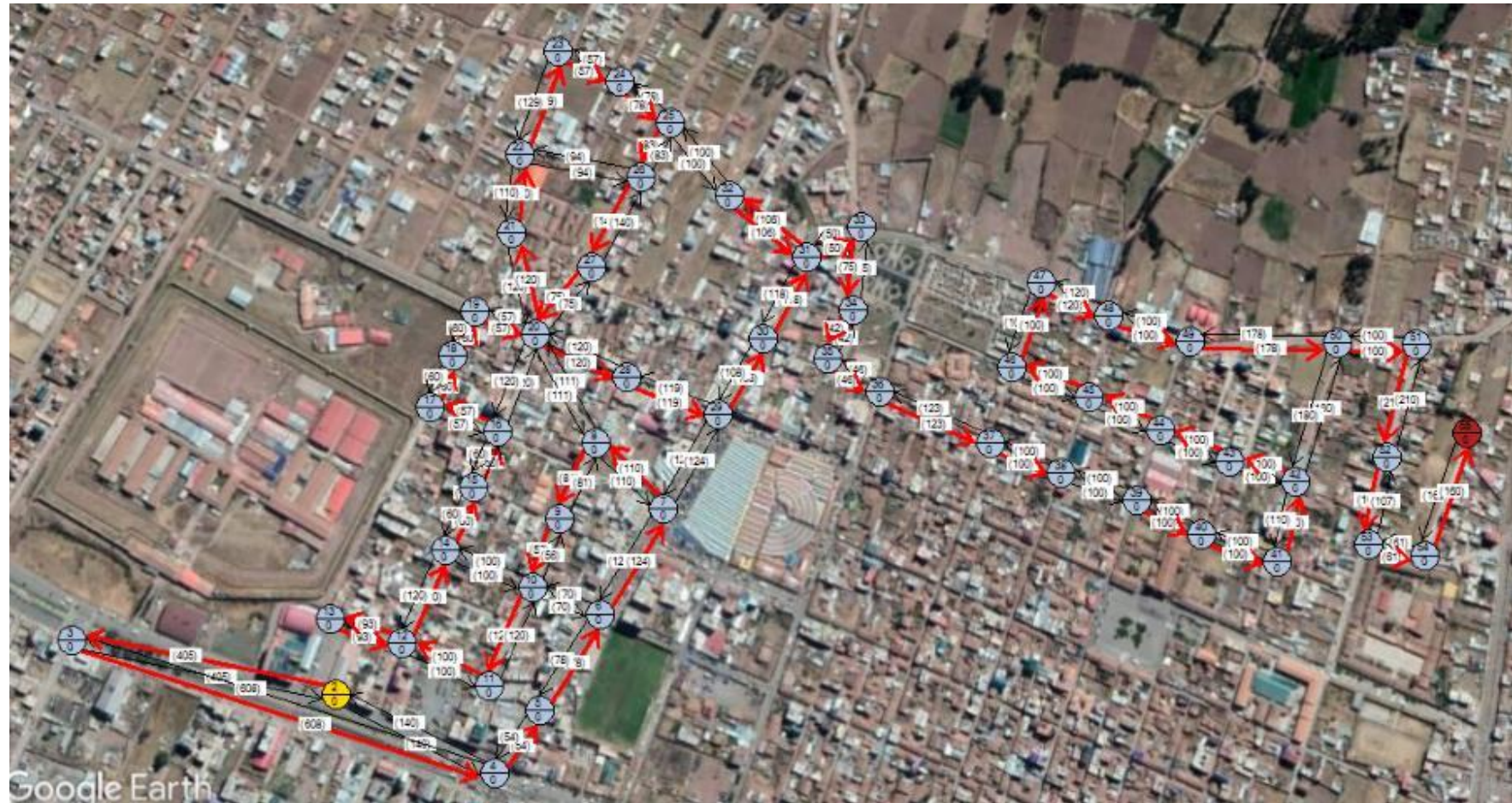
El viaje al relleno sanitario se reduce 200 metros en la propuesta (18.600 km desde el último punto de recolección), y el retorno al punto de partida, en Maestranza, se mantiene sin alteración (21.300 km).

En la propuesta de mejora se plantea cubrir una distancia total acumulada para la ruta n.º 6 de 47.281 km lineales por viaje.

Si se coteja la propuesta con las condiciones actuales de operación, se tiene una reducción en la longitud total de la trayectoria de la ruta de **1.667 km**.

#### **4.5.7. Propuesta de mejora para la ruta n.º 7**

La ruta n.º 7 es muy importante porque atiende al mercado de Vinocanchón y al penal de Qenqoro; no obstante es susceptible de una mejora en su recorrido de acuerdo a las observaciones hechas por los investigadores durante su recorrido de campo acompañando al camión recolector y al personal de limpieza pública.



Fuente: Google Maps, 2018.

**Figura 40. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 7.**



El recorrido actual mostrado en la Figura 25 tiene repastos en algunas calles. Sin embargo, luego de las observaciones de campo, de la recolección de datos y de un análisis minuciosos, los tesisistas proponen la mejorada ruta n.º 7 que se aprecia en la Figura 40. La idea es agilizar el flujo de la ruta de manera que las distancias a recorrer se vean reducidas Una de las diferencias es la supresión de tránsito por algunas calles y la habilitación de otras.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 7**

El modelamiento hecho en base a la programación lineal se ve a continuación.

**Modelo (Ruta “7” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 8 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_28_27:: 30 --> 29 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_29_27:: 31 --> 29 =	0
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_27_28:: 29 --> 30 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_27_29:: 29 --> 31 =	0
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_30_4:: 33 --> 6 =	0	x_4_30:: 6 --> 33 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_31_30:: 34 --> 33 =	0
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_30_31:: 33 --> 34 =	1
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_32_31:: 35 --> 34 =	0
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_31_32:: 34 --> 35 =	1
x_25_6:: 27 --> 8 =	0	x_33_32:: 36 --> 35 =	0
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_32_33:: 35 --> 36 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_34_33:: 37 --> 36 =	0
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_33_34:: 36 --> 37 =	1
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_35_34:: 38 --> 37 =	0
x_13_8:: 15 --> 10 =	0	x_34_35:: 37 --> 38 =	1
x_16_8:: 18 --> 10 =	0	x_36_35:: 39 --> 38 =	0



x_24_8:: 26 --> 10 =	0	x_35_36:: 38 --> 39 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_37_36:: 40 --> 39 =	0
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_36_37:: 39 --> 40 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_38_37:: 41 --> 40 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	1	x_37_38:: 40 --> 41 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_39_38:: 42 --> 41 =	0
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_38_39:: 41 --> 42 =	1
x_11_12:: 13 --> 14 =	0	x_40_39:: 43 --> 42 =	0
x_8_13:: 12 --> 14 =	1	x_39_40:: 42 --> 43 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_41_40:: 44 --> 43 =	0
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_43_40:: 46 --> 43 =	0
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_40_41:: 43 --> 44 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_42_41:: 45 --> 44 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_41_42:: 44 --> 45 =	1
x_8_16:: 10 --> 18 =	0	x_40_43:: 43 --> 46 =	0
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_44_43:: 47 --> 46 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_43_44:: 46 --> 47 =	1
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_45_44:: 48 --> 47 =	0
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_54_44:: 57 --> 47 =	0
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_44_45:: 47 --> 48 =	1
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_46_45:: 49 --> 48 =	0
x_22_18:: 24 --> 20 =	0	x_53_45:: 56 --> 48 =	0
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_45_46:: 48 --> 49 =	1
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_47_46:: 50 --> 49 =	0
x_21_19:: 22 --> 23 =	1	x_46_47:: 49 --> 50 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	0	x_48_47:: 51 --> 50 =	0
x_19_21:: 21 --> 23 =	0	x_47_48:: 50 --> 51 =	1
x_22_21:: 23 --> 24 =	1	x_49_48:: 52 --> 51 =	0
x_18_22:: 20 --> 24 =	0	x_48_49:: 51 --> 52 =	1
x_21_22:: 23 --> 24 =	0	x_50_49:: 53 --> 52 =	0
x_23_22:: 25 --> 24 =	0	x_49_50:: 52 --> 53 =	1
x_25_22:: 27 --> 24 =	0	x_51_50:: 54 --> 53 =	0
x_22_23:: 24 --> 25 =	1	x_50_51:: 53 --> 54 =	1
x_24_23:: 26 --> 25 =	0	x_52_51:: 55 --> 54 =	0
x_8_24:: 10 --> 26 =	0	x_51_52:: 54 --> 55 =	1
x_23_24:: 25 --> 26 =	1	x_53_52:: 56 --> 55 =	0
x_6_25:: 8 --> 27 =	0	x_45_53:: 48 --> 56 =	0
x_22_25:: 26 --> 27 =	1	x_52_53:: 55 --> 56 =	1
x_26_25:: 28 --> 27 =	0	x_44_54:: 47 --> 57 =	0

Tabla 37. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 7.

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	186986	8500680	0.822
2 al 3	Av. de la Cultura	187209	8500673	0.405
3 al 4	Av. de la Cultura	187175	8500625	0.608



4 al 5	Llocllapata	187202	8500671	0.054
5 al 6	Llocllapata	187237	8501376	0.078
6 al 7	Llocllapata	187289	8501327	0.124
7 al 8	Calle s/n	187323	8501412	0.120
8 al 9	Calle Abancay	187235	8500960	0.082
9 al 10	Calle Abancay	187213	8500883	0.056
10 al 11	Calle Abancay	187196	8500829	0.120
11 al 12	Calle Arequipa	187156	8500713	0.100
12 al 13	Calle Arequipa	187089	8500720	0.093
13 al 14	Andrés Avelino Cáceres	187001	8500752	0.213
14 al 15	Andrés Avelino Cáceres	187079	8500799	0.060
15 al 16	Andrés Avelino Cáceres	187089	8500847	0.060
16 al 17	José Gálvez	187113	8500902	0.057
17 al 18	Los Triunfadores	187128	8500956	0.060
18 al 19	Los Triunfadores	187059	8500999	0.060
19 al 20	Calle Lima	187117	8501091	0.057
20 al 21	Allpa Orcona	187154	8501106	0.120
21 al 22	Calle s/n	187109	8501198	0.110
22 al 23	Calle s/n	187125	8501279	0.129
23 al 24	1.1 Prolongación	187237	8501376	0.057
24 al 25	1.1 Prolongación	187289	8501327	0.078
25 al 26	Prollma	187109	8501198	0.083
26 al 27	Prollma	187125	8501279	0.140
27 al 28	Calle Lima	187259	8501258	0.295
28 al 29	Calle Lima	187187	8501106	0.119
29 al 30	Llocllapata	187217	8501051	0.108
30 al 31	Llocllapata	187255	8501039	0.118
31 al 32	1.1 Prolongación	187411	8501075	0.106
32 al 33	1.1 Prolongación	187464	8501203	0.156
33 al 34	Calle Líderes	187519	8501217	0.075
34 al 35	Calle Líderes	187501	8501070	0.042
35 al 36	24 de Junio	187548	8501041	0.046
36 al 37	24 de Junio	187657	8501004	0.123
37 al 38	24 de Junio	187731	8500984	0.100
38 al 39	24 de Junio	187821	8500943	0.100
39 al 40	24 de Junio	187900	8500918	0.100
40 al 41	24 de Junio	187974	8500893	0.100
41 al 42	Calle Soroma	188003	8500973	0.110
42 al 43	Calle Hospital	187833	8501031	0.100
43 al 44	Calle Hospital	187780	8501046	0.100
44 al 45	Calle Hospital	187702	8501073	0.100
45 al 46	Calle Hospital	187714	8501166	0.100
46 al 47	Calle Hospital	187792	8501144	0.100
47 al 48	Almudena	188335	8501118	0.120
48 al 49	Almudena	187933	8501456	0.100



49 al 50	Almudena	187812	8501192	0.178
50 al 51	Almudena	188051	8501123	0.100
51 al 52	Túpac Amaru	188112	8501041	0.210
52 al 53	Túpac Amaru	188137	8500905	0.107
53 al 54	El Bosquecito	188195	8501035	0.061
54 al 55	El Bosquecito	188092	8500936	0.160
55 al 56	Ruta al botadero	822946	8500103	20.530
56 al 57	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>49.010</b>

La trayectoria detallada en la Tabla 37 es una propuesta que pretende la mejora de la ruta n.º 7 que propone el traslado del nodo 42, al final de 24 de Junio, visto en la Tabla 22, y el cambio de circulación por la calle Sorama, donde los camiones ya no circularían por la parte superior sino por la parte inferior de dicha arteria, con lo cual se eliminarían los repastos innecesarios que hacen complicado el paso por ese sector. Otra modificación importante es el traslado del punto inicial de la zona de Prolongación a la Av. de la Cultura, frente al centro penitenciario, lo que haría el flujo más simple y la trayectoria se desarrollaría con mayores facilidades.

El viaje a relleno sanitario de Jaquira se reduciría en 1.270 km en la propuesta (20.530 km desde el último punto de recolección), y el retorno al punto de partida se mantiene sin alteración (21.300 km).

De esa forma se propone una distancia total acumulada necesaria para cubrir por completo la ruta n.º 7 de 49.010 km lineales por viaje.

Una comparación entre la ruta actual y la propuesta permite determinar que la reducción en la longitud total de la trayectoria de **2.820 km**.

#### 4.5.8. Propuesta de mejora para la ruta n.º 8

La ruta n.º 5 es una de las más importantes porque contempla la recolección de los residuos sólidos generados en el mercado de Vinocanchón y en el penal de Qenqoro.

De manera similar a las rutas anteriores, las observaciones hechas en campo y el procesamiento de datos permitieron plantear la posibilidad de una mejora en la ruta n.º 4, a través de alguna modificaciones en el recorrido sin reducir la calidad del servicio que actualmente se presta a la población atendida por dicha ruta.





Fuente: Google Maps, 2018.

**Figura 41. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 8.**



Tras realizar una serie de observaciones en campo, se propone modificar la ruta n.º 8 sin alterar su recorrido actual. En ese entender, al observar la propuesta de la Figura 41 lo primero que se percibe es la inversión del sentido de flujo de la trayectoria actual de la Figura 26; con ello se aligera el trabajo de los camiones recolectores y del personal de limpieza pública del distrito, sin reducir la calidad del servicio.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 8**

Los cálculos y el procesamiento realizado por el software para la mejora de la ruta n.º 8 se muestra en las líneas siguientes.

**Modelo (Ruta “8” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 3 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 34 --> 38 =	0	x_0_27:: 38 --> 37 =	0
x_10_0:: 39 --> 38 =	0	x_28_27:: 36 --> 37 =	1
x_27_0:: 37 --> 38 =	1	x_27_28:: 37 --> 36 =	0
x_0_1:: 38 --> 34 =	0	x_29_28:: 35 --> 36 =	1
x_2_1:: 33 --> 34 =	1	x_1_29:: 34 --> 35 =	1
x_29_1:: 35 --> 34 =	0	x_26_29:: 28 --> 35 =	0
x_1_2:: 34 --> 33 =	0	x_28_29:: 36 --> 35 =	0
x_3_2:: 32 --> 33 =	1	x_26_30:: 28 --> 27 =	0
x_2_3:: 33 --> 32 =	0	x_31_30:: 26 --> 27 =	1
x_24_3:: 30 --> 32 =	0	x_30_31:: 27 --> 26 =	0
x_5_4:: 44 --> 57 =	0	x_32_31:: 25 --> 26 =	1
x_22_4:: 56 --> 57 =	0	x_31_32:: 26 --> 25 =	0
x_4_5:: 57 --> 44 =	0	x_33_32:: 24 --> 25 =	1
x_6_5:: 43 --> 44 =	1	x_32_33:: 25 --> 24 =	0
x_11_5:: 45 --> 44 =	0	x_34_33:: 23 --> 24 =	1
x_5_6:: 44 --> 43 =	0	x_33_34:: 24 --> 23 =	0



x_7_6:: 42 --> 43 =	1	x_35_34:: 22 --> 23 =	1
x_6_7:: 43 --> 42 =	0	x_34_35:: 23 --> 22 =	0
x_8_7:: 41 --> 42 =	1	x_36_35:: 21 --> 22 =	1
x_7_8:: 42 --> 41 =	0	x_35_36:: 22 --> 21 =	0
x_9_8:: 40 --> 41 =	1	x_37_36:: 19 --> 21 =	1
x_8_9:: 41 --> 40 =	0	x_36_37:: 21 --> 19 =	0
x_10_9:: 39 --> 40 =	1	x_38_37:: 20 --> 19 =	1
x_0_10:: 38 --> 39 =	1	x_39_37:: 18 --> 19 =	0
x_9_10:: 40 --> 39 =	0	x_37_38:: 19 --> 20 =	1
x_5_11:: 44 --> 45 =	1	x_37_39:: 19 --> 18 =	0
x_12_11:: 46 --> 45 =	0	x_40_39:: 17 --> 18 =	1
x_11_12:: 45 --> 46 =	1	x_39_40:: 18 --> 17 =	0
x_13_12:: 47 --> 46 =	0	x_41_40:: 16 --> 17 =	1
x_12_13:: 46 --> 47 =	1	x_40_41:: 17 --> 16 =	0
x_14_13:: 48 --> 47 =	0	x_42_41:: 15 --> 16 =	1
x_13_14:: 47 --> 48 =	1	x_41_42:: 16 --> 15 =	0
x_15_14:: 49 --> 48 =	0	x_43_42:: 12 --> 15 =	1
x_14_15:: 48 --> 49 =	1	x_42_43:: 15 --> 12 =	0
x_16_15:: 50 --> 49 =	0	x_44_43:: 13 --> 12 =	1
x_15_16:: 49 --> 50 =	1	x_46_43:: 11 --> 12 =	1
x_17_16:: 51 --> 50 =	0	x_43_44:: 12 --> 13 =	1
x_16_17:: 50 --> 51 =	1	x_45_44:: 14 --> 13 =	1
x_18_17:: 52 --> 51 =	0	x_44_45:: 13 --> 14 =	1
x_17_18:: 51 --> 52 =	1	x_43_46:: 12 --> 11 =	0
x_19_18:: 53 --> 52 =	0	x_47_46:: 10 --> 11 =	1
x_18_19:: 52 --> 53 =	1	x_46_47:: 11 --> 10 =	0
x_20_19:: 54 --> 53 =	0	x_48_47:: 9 --> 10 =	1
x_19_20:: 53 --> 54 =	1	x_47_48:: 10 --> 9 =	0
x_21_20:: 55 --> 54 =	0	x_55_48:: 8 --> 9 =	1
x_20_21:: 54 --> 55 =	1	x_50_49:: 4 --> 3 =	0
x_22_21:: 56 --> 55 =	0	x_54_49:: 2 --> 3 =	1
x_4_22:: 57 --> 56 =	0	x_49_50:: 3 --> 4 =	1
x_21_22:: 55 --> 56 =	1	x_51_50:: 5 --> 4 =	0
x_24_23:: 30 --> 31 =	1	x_50_51:: 4 --> 5 =	1
x_3_24:: 32 --> 30 =	0	x_52_51:: 6 --> 5 =	0
x_23_24:: 31 --> 30 =	1	x_51_52:: 5 --> 6 =	1
x_25_24:: 29 --> 30 =	1	x_53_52:: 7 --> 6 =	1
x_24_25:: 30 --> 29 =	0	x_52_53:: 6 --> 7 =	1
x_26_25:: 28 --> 29 =	1	x_49_54:: 3 --> 2 =	0
x_25_26:: 29 --> 28 =	0	x_48_55:: 9 --> 8 =	0
x_29_26:: 35 --> 28 =	0	x_55_52:: 8 --> 6 =	0
x_30_26:: 27 --> 28 =	0	x_52_55:: 6 --> 8 =	1

**Tabla 38. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 8.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	186407	8500205	0.745
2 al 3	Av. Evitamiento	186341	8500152	0.122
3 al 4	Av. Evitamiento	186271	8500130	0.098
4 al 5	Av. Evitamiento	186342	8500290	0.083
5 al 6	Av. Evitamiento	186370	8500264	0.085
6 al 7	Term. Petro Perú	186234	8500211	0.072
7 al 8	Calle s/n	186353	8500445	0.231
8 al 9	Nuevo Horizonte	186321	8500486	0.103
9 al 10	Nuevo Horizonte	186378	8500595	0.076
10 al 11	Nuevo Horizonte	186421	8500104	0.105
11 al 12	Nuevo Horizonte	186213	8500558	0.090
12 al 13	Pasaje Matamoros	186261	8500508	0.083
13 al 14	Pasaje Matamoros	186326	8500617	0.067
14 al 15	Pasaje Matamoros	186237	8500600	0.253
15 al 16	Tablón	186276	8500653	0.135
16 al 17	Tablón	186219	8500689	0.132
17 al 18	Av. Fernando	186150	8500588	0.084
18 al 19	Picol Orcompugio II	186106	8500622	0.132
19 al 20	Picol Orcompugio II	186142	8500682	0.100
20 al 21	Picol Orcompugio II	186164	8500722	0.165
21 al 22	Picol Orcompugio II	186111	8500749	0.132
22 al 23	Av. Fernando	186049	8500652	0.710
23 al 24	Picol Orcompugio II	185954	8500576	0.132
24 al 25	Picol Orcompugio II	185875	8500548	0.075
25 al 26	Picol Orcompugio II	186042	8500620	0.132
26 al 27	Av. Fernando	186131	8500595	0.067
27 al 28	Picol Orcompugio II	185966	8500505	0.132
28 al 29	Pasaje Rinconada	185726	8500481	0.160
29 al 30	Pasaje Rinconada	185655	8500445	0.168
30 al 31	Pasaje Rinconada	185563	8500419	0.084
31 al 32	Pasaje Rinconada	185517	8500343	0.179
32 al 33	Pasaje Rinconada	185487	8500262	0.132
33 al 34	Pasaje Rinconada	185432	8500161	0.135
34 al 35	Pasaje Rinconada	186045	8500339	0.074
35 al 36	Picol Orcompugio II	185822	8500444	0.132
36 al 37	Av. Fernando	187668	8500491	0.066
37 al 38	Picol Orcompugio II	187752	8500438	0.132
38 al 39	Picol Orcompugio II	185781	8500590	0.090
39 al 40	A.P.V. Los Pinos	185778	8500453	0.130
40 al 41	A.P.V. Los Pinos	185781	8500590	0.126
41 al 42	A.P.V. Los Pinos	185711	8500556	0.152



42 al 43	A.P.V. Los Pinos	185523	8500445	0.100
43 al 44	A.P.V. Los Pinos	185475	8500402	0.101
44 al 45	A.P.V. Los Pinos	185390	8500323	0.087
45 al 46	A.P.V. Los Pinos	185296	8500196	0.119
46 al 47	A.P.V. Los Pinos	185314	8500101	0.120
47 al 48	Calle s/n	185240	8499882	0.112
48 al 49	Calle s/n	185313	8499969	0.110
49 al 50	Calle s/n	185348	8500016	0.120
50 al 51	Vallecito	185386	8500080	0.075
51 al 52	Vallecito	185432	8500161	0.092
52 al 53	Vallecito	185487	8500262	0.100
53 al 54	Vallecito	185517	8500343	0.099
54 al 55	Vallecito	185563	8500419	0.090
55 al 56	Vallecito	185655	8500445	0.096
56 al 57	Vallecito	186049	8500740	0.095
57 al 58	Ruta al botadero	822946	8500103	18.110
58 al 59	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>47.027</b>

El análisis parte de lo siguiente: en la Tabla 38 se propone que el punto de inicio se ubique en el punto final de la ruta actual que se detalla en Tabla 23; el punto final se ubicaría en la zona de Vallecito y no en la Av. Evitamiento, como es en la actualidad. Las modificaciones descritas hacen que el recorrido invierta su sentido respecto a la situación vigente.

Otra modificación en la supresión del paso por el sector de Los Trigales, con lo que el flujo se hace más ágil.

La programación lineal empleada como herramienta en el análisis propone que la ruta tenga dos nodos y dos lazos menos que en la situación actual.

Con la propuesta, la distancia al relleno sanitario es 18.110 km y hay una reducción de 390 metros respecto a lo que se viene realizando. La distancia de retorno permanece inalterada (21.300 km).

Del razonamiento anterior se deduce que con la propuesta hay una reducción en la distancia total acumulada de la ruta n. 8 de **2.486 km** sobre la situación actual.



#### **4.5.9. Propuesta de mejora para la ruta n.º 9**

La ruta n.º 9 implica un recorrido largo sobre la troncal de la Av. de la Cultura. Los tesistas observaron repasos innecesarios durante la visita a campo realizada, por lo cual se propone la simplificación de la ruta en función de algunos cambios funcionales en el desarrollo de la trayectoria.

Es también destacable el hecho de que esta ruta atiende nuevamente al mercado de Vinocanchón ya la parte noreste de la periferia del distrito. La propuesta se realiza sin reducir la calidad del servicio.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 42. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 9.



La propuesta para la ruta n.º 9 mostrada en la Figura 42 contempla realizar el mismo recorrido que el vigente visto en la Figura 27, sin embargo se propone realizar una simplificación de la ruta en cuestión a partir de la eliminación de la mayor cantidad de repasos innecesarios. También se contempló la reubicación del punto final de la trayectoria para facilitar el flujo, esto sobre todo en la parte noreste del inferior y medio del recorrido.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 9**

El procesamiento y cálculos realizado por el software se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “9” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 2 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_23_24:: 49 --> 50 =	1
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_20_25:: 46 --> 44 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_26_25:: 43 --> 44 =	1
x_7_1:: 9 --> 3 =	0	x_25_26:: 44 --> 43 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_27_26:: 40 --> 43 =	0
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_26_27:: 43 --> 40 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_28_27:: 41 --> 40 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_30_27:: 39 --> 40 =	1
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_27_28:: 40 --> 41 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_29_28:: 42 --> 41 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_28_29:: 41 --> 42 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_27_30:: 40 --> 39 =	0
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_31_30:: 38 --> 39 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_30_31:: 39 --> 38 =	0
x_1_7:: 3 --> 9 =	0	x_32_31:: 37 --> 38 =	1
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_31_32:: 38 --> 37 =	0
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_33_32:: 35 --> 37 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_32_33:: 37 --> 35 =	0
x_9_8:: 11 --> 10 =	0		





x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_34_33:: 36 --> 35 =	1
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_35_33:: 34 --> 35 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_33_35:: 35 --> 34 =	0
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_36_35:: 33 --> 34 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_35_36:: 34 --> 33 =	0
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_37_36:: 32 --> 33 =	1
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_36_37:: 33 --> 32 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_38_37:: 23 --> 32 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_37_38:: 32 --> 23 =	0
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_39_38:: 24 --> 23 =	1
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_47_38:: 22 --> 23 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_38_39:: 23 --> 24 =	1
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_40_39:: 25 --> 24 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_41_39:: 26 --> 24 =	1
x_18_17:: 21 --> 20 =	0	x_39_40:: 24 --> 25 =	1
x_48_17:: 19 --> 20 =	1	x_39_41:: 24 --> 26 =	1
x_17_18:: 20 --> 21 =	1	x_42_41:: 27 --> 26 =	1
x_19_18:: 45 --> 21 =	0	x_44_41:: 29 --> 26 =	1
x_47_18:: 22 --> 21 =	0	x_41_42:: 26 --> 27 =	1
x_18_19:: 21 --> 45 =	0	x_43_42:: 28 --> 27 =	1
x_20_19:: 46 --> 45 =	1	x_42_43:: 27 --> 28 =	1
x_19_20:: 45 --> 46 =	1	x_41_44:: 26 --> 29 =	1
x_21_20:: 47 --> 46 =	0	x_45_44:: 30 --> 29 =	1
x_25_20:: 44 --> 46 =	0	x_44_45:: 29 --> 30 =	1
x_20_21:: 46 --> 47 =	1	x_46_45:: 31 --> 30 =	1
x_22_21:: 48 --> 47 =	0	x_45_46:: 30 --> 31 =	1
x_21_22:: 47 --> 48 =	1	x_18_47:: 21 --> 22 =	1
x_23_22:: 49 --> 48 =	0	x_38_47:: 23 --> 22 =	0
x_22_23:: 48 --> 49 =	1	x_17_48:: 20 --> 19 =	0
x_24_23:: 50 --> 49 =	0	x_16_48:: 18 --> 19 =	1
		x_48_16:: 19 --> 18 =	0

Tabla 39. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 9.

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187396	8500850	1.400
2 al 3	Clorinda Matto	187437	8500726	0.190
3 al 4	Calle Perú	187350	8500754	0.100
4 al 5	Llocllapata	187312	8500854	0.084
5 al 6	Llocllapata	187442	8500993	0.152
6 al 7	Calle Lima	187551	8501038	0.147
7 al 8	Pumacahua	189289	8500019	0.152
8 al 9	Pumacahua	189324	8500048	0.084



9 al 10	Pumacahua	189357	8500142	0.163
10 al 11	Av. de la Cultura	189370	8500190	0.171
11 al 12	Av. de la Cultura	189695	8500819	0.169
12 al 13	Av. de la Cultura	189614	8500820	0.146
13 al 14	Av. de la Cultura	189509	8500826	0.172
14 al 15	Av. de la Cultura	189483	8500688	0.150
15 al 16	Av. de la Cultura	189472	8500520	0.170
16 al 17	Av. de la Cultura	189415	8500336	0.210
17 al 18	Av. de la Cultura	189521	8500332	0.192
18 al 19	Av. de la Cultura	189688	8500337	0.083
19 al 20	Av. de la Cultura	189678	8500404	0.141
20 al 21	Av. de la Cultura	189160	8500080	0.136
21 al 22	Av. de la Cultura	190264	8500021	0.189
22 al 23	Av. de la Cultura	190193	8500011	0.184
23 al 24	Av. de la Cultura	190211	8500008	0.200
24 al 25	Universidad Andina del Cusco	190084	8499943	0.210
25 al 26	Av. de la Cultura	189959	8499901	0.404
26 al 27	Wiracocha	189905	8499907	0.148
27 al 28	Wiracocha	189825	8499924	0.150
28 al 29	Wiracocha	189771	8499935	0.534
29 al 30	Pasaje Tambillo	189573	8499984	0.056
30 al 31	Pasaje Tambillo	189430	8500017	0.200
31 al 32	CC. Ccollana	190317	8500025	0.993
32 al 33	CC. Ccollana	190013	8499885	0.140
33 al 34	Prolongación Perú	189899	8500166	0.147
34 al 35	Prolongación Perú	189681	8499972	0.148
35 al 36	Prolongación Perú	189681	8500079	0.350
36 al 37	Fundo Acoyoc	189692	8500151	0.460
37 al 38	Fundo Acoyoc	189693	8500225	0.110
38 al 39	Chahuanccosco	189953	8500181	0.083
39 al 40	Chahuanccosco	189892	8500228	0.187
40 al 41	CC. Ccollana	189770	8500249	0.097
41 al 42	CC. Ccollana	190194	8500143	0.067
42 al 43	CC. Ccollana	189982	8500374	0.294
43 al 44	Patrón San Jerónimo	190268	8499794	0.152
44 al 45	Calle Los Jardines	190172	8499832	0.249
45 al 46	Calle Los Jardines	190082	8499749	0.100
46 al 47	Calle Los Jardines	189699	8500543	0.189
47 al 48	Calle Los Jardines	189607	8500550	0.143
48 al 49	Calle Los Jardines	189860	8500402	0.227
49 al 50	Andén-Andén	189926	8500390	0.239
50 al 51	Ruta al botadero	822946	8500103	22.150
51 al 52	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 54.312**



En la Tabla 39 se propone mejorar la ruta n.º 9 en función a la supresión de repasos básicamente sobre la Av. de la Cultura, entre la entrada a la Granja K'ayra y Ccollana (Véase la Tabla 24), y también en la calle Los Jardines, que en la ruta actual está en el último tramo.

Otra modificación importante es el traslado del punto final de la trayectoria de la altura de la entrada a la Granja K'ayra a la zona alta de Ccollana, al sector conocido como Andén, al final de la calle Los Jardines, ello posibilitará eliminar los repasos comentados antes.

En cuanto a la parte inicial de la ruta, no se hicieron mayores modificaciones.

Según la propuesta la distancia al relleno sanitario ubicado en Jaquira es 22.150 km desde el último punto de recolección, y el retorno al punto de partida se mantiene sin alteración (21.300 km).

Así, con la mejora se propone una recorrer una distancia total acumulada para servir por completo a la ruta n.º 9 de 54.312 km lineales por viaje.

Si se comparan la propuesta con la situación actual, se puede calcular que la reducción en la longitud total de la trayectoria de 0.839 km.

#### **4.5.10. Propuesta de mejora para la ruta n.º 10**

En el caso de la ruta n.º 10 se vio por conveniente eliminar repasos innecesarios con la finalidad de reducir la distancia que los camiones recolectores y el personal de limpieza tienen que recorrer. La observación de campo permitió ver que esta ruta tiene un eje troncal sobre la Av. de la Cultura por la margen izquierda del río Huatanay, y otro eje principal en el sector de Pillao Matao por la margen derecha. Visto el recorrido actual, se procedió a la elaboración de una ruta alterna que simplifique la trayectoria.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 43. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 10.



Si se compara la propuesta que se muestra en la Figura 43 con la situación actual vista en la Figura 28, la principal diferencia es que el cruce a la margen derecha ya no se hace a la altura de Túpac Amaru sino que tras un retorno hasta la altura del centro penitenciario se cruza a la margen derecha, de esa manera se simplifica el recorrido actual. Asimismo, esta es una de las rutas más complejas dado que cubre zonas plenamente urbanizadas, pero también se atiende sectores de la periferia del distrito en contacto con zonas agrícolas por el sur.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 10**

Los cálculos y el procesamiento de la información se muestran a continuación.

**Modelo (Ruta “10” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 8 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_22_21:: 38 --> 37 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_21_22:: 37 --> 38 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_23_22:: 39 --> 38 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_22_23:: 38 --> 39 =	1
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_24_23:: 40 --> 39 =	0
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_23_24:: 39 --> 40 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_25_24:: 41 --> 40 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_24_25:: 40 --> 41 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_26_25:: 42 --> 41 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_25_26:: 41 --> 42 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_18_27:: 34 --> 33 =	0
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_28_27:: 32 --> 33 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_27_28:: 33 --> 32 =	0
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_29_28:: 31 --> 32 =	1
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_28_29:: 32 --> 31 =	0
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_30_29:: 30 --> 31 =	1



x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_29_30:: 31 --> 30 =	0
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_31_30:: 23 --> 30 =	1
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_30_31:: 30 --> 23 =	0
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_32_31:: 24 --> 23 =	1
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_38_31:: 22 --> 23 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_31_32:: 23 --> 24 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_33_32:: 25 --> 24 =	1
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_32_33:: 24 --> 25 =	1
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_34_33:: 26 --> 25 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_35_33:: 29 --> 25 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_33_34:: 25 --> 26 =	1
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_36_34:: 27 --> 26 =	0
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_33_35:: 25 --> 29 =	0
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_36_35:: 27 --> 29 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_34_36:: 26 --> 27 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_35_36:: 29 --> 27 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_37_36:: 28 --> 27 =	1
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_36_37:: 27 --> 28 =	1
x_19_18:: 35 --> 34 =	0	x_31_38:: 23 --> 22 =	0
x_27_18:: 33 --> 34 =	1	x_39_38:: 21 --> 22 =	1
x_18_19:: 34 --> 35 =	1	x_38_39:: 22 --> 21 =	0
x_20_19:: 36 --> 35 =	0	x_40_39:: 20 --> 21 =	1
x_19_20:: 35 --> 36 =	1	x_39_40:: 21 --> 20 =	0
x_21_20:: 37 --> 36 =	0	x_10_40:: 12 --> 20 =	1
x_20_21:: 36 --> 37 =	1	x_40_10:: 20 --> 12 =	0

**Tabla 40. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 10.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187875	8500807	0.900
2 al 3	Plaza de San Jerónimo	187778	8500788	0.140
3 al 4	San Martín	187523	8500878	0.280
4 al 5	Pumacahua	187484	8500819	0.091
5 al 6	Ramón Castilla	187318	8500866	0.190
6 al 7	Llocllapata	187171	8500623	0.300
7 al 8	Llocllapata	186901	8500685	0.280
8 al 9	Av. de la Cultura	186715	8500736	0.190
9 al 10	Av. de la Cultura	186575	8500800	0.150
10 al 11	Av. de la Cultura	186528	8500825	0.062
11 al 12	Av. de la Cultura	186428	8500893	0.130
12 al 13	Av. de la Cultura	186159	8501090	0.350
13 al 14	Av. de la Cultura	185984	8501220	0.220
14 al 15	Av. de la Cultura	185768	8501369	0.270



15 al 16	Av. de la Cultura	185688	8501429	0.110
16 al 17	Av. de la Cultura	185566	8501509	0.150
17 al 18	Av. de la Cultura	185416	8501615	0.180
18 al 19	Av. de la Cultura	185122	8500420	0.250
19 al 20	Av. de la Cultura	185085	8499952	1.801
20 al 21	Picol Orcompugio II	186619	8500353	0.110
21 al 22	Trigales	186587	8500270	0.120
22 al 23	Trigales	186557	8500199	0.112
23 al 24	Tejas y Ladrillos	186436	8499819	0.137
24 al 25	Tejas y Ladrillos	186544	8499846	0.100
25 al 26	Tejas y Ladrillos	186565	8499774	0.080
26 al 27	Tejas y Ladrillos	186586	8499683	0.049
27 al 28	Tejas y Ladrillos	186602	8499647	0.094
28 al 29	Tejas y Ladrillos	186620	8499601	0.187
29 al 30	Tejas y Ladrillos	186535	8499889	0.407
30 al 31	Tablón	186450	8499880	0.066
31 al 32	Vallecito	186435	8499931	0.398
32 al 33	Juscapampa	186461	8500035	0.540
33 al 34	Juscapampa	186488	8500090	0.636
34 al 35	Calle s/n	186605	8500125	0.322
35 al 36	Pillao Matao	185085	8499952	0.211
36 al 37	Pillao Matao	185123	8499995	0.243
37 al 38	Pillao Matao	185168	8500049	0.240
38 al 39	Pillao Matao	185224	8500125	0.210
39 al 40	Pillao Matao	185258	8500162	0.360
40 al 41	Pillao Matao	185283	8500184	0.360
41 al 42	Pillao Matao	186344	8500289	0.120
42 al 43	Ruta al botadero	822946	8500103	20.250
43 al 44	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>52.696</b>

Lo más resaltante del recorrido propuesto en la Tabla 40 es que se elimina el paso de los vehículos recolectores por la zona de Túpac Amaru y aledaños, a diferencia de lo que está vigente (véase la Tabla 25); con ello el flujo de la trayectoria se simplifica. También es preciso destacar el cambio de punto final de la ruta n.º 10: en la mejora se propone que el servicio acabe al fondo de Pillao Matao, a diferencia de lo que sucede actualmente donde el viaje acaba en el sector de Pícol Orcompugio II.

Debido a las modificaciones introducidas en la propuesta, el número de nodos y el número de lazos se ven reducidos en 10 respecto a la situación actual.



La distancia del viaje a Jaquira experimenta una ligera variación en la propuesta (20.250 km de distancia desde el último punto de recolección) porque el punto final propuesto y el actual están muy cercanos, y el retorno al punto de partida, en Maestranza, también se mantiene sin alteración (21.300 km).

La propuesta plantea recorrer una longitud total acumulada para la ruta n.º 10 de 50.007 km lineales por viaje.

De esa forma, comparando la propuesta con la situación actual de la ruta n.º 10 se tiene una reducción en la longitud total de la trayectoria de **4.201 km**.

#### **4.5.11. Propuesta de mejora para la ruta n.º 11**

La ruta n.º 11 desarrolla su recorrido en torno a la Av. de la Cultura. Los tesisistas acompañaron a las unidades vehiculares en su recorrido de recolección de residuos sólidos y observaron repasos innecesarios que hacen la trayectoria más complicada y desordenada. La importancia de la ruta radica en el hecho de que incide directamente en la conservación del humedal que se encuentra junto al local de la Policía Forestal, lo cual es importante para la salud del distrito y de toda la provincia.





Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 44. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 11.



El recorrido propuesto para la ruta n.º 11 mostrado en la Figura 44 presenta menos repeticiones de pases por algunas calles que las condiciones actuales de operación de dicha ruta vista en la Figura 28. Luego del análisis de datos recogidos en la visita a campo, se ve por conveniente realizar algunas modificaciones sobre el recorrido sin reducir la calidad del servicio que vienen recibiendo los vecinos usuarios y sin alterar el equilibrio ecológico de la zona de los humedales.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 11**

El modelamiento realizado por el software en base a la programación lineal se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “11” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 3 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 13 --> 14 =	1	x_28_21:: 21 --> 25 =	1
x_13_0:: 33 --> 14 =	1	x_0_22:: 14 --> 15 =	1
x_22_0:: 15 --> 14 =	0	x_23_22:: 16 --> 15 =	0
x_0_1:: 14 --> 13 =	0	x_22_23:: 15 --> 16 =	1
x_2_1:: 12 --> 13 =	1	x_24_23:: 17 --> 16 =	0
x_1_2:: 13 --> 12 =	0	x_31_23:: 34 --> 16 =	0
x_3_2:: 11 --> 12 =	1	x_23_24:: 16 --> 17 =	1
x_2_3:: 12 --> 11 =	0	x_25_24:: 18 --> 17 =	0
x_4_3:: 10 --> 11 =	1	x_24_25:: 17 --> 18 =	1
x_3_4:: 11 --> 10 =	0	x_26_25:: 19 --> 18 =	0
x_5_4:: 9 --> 10 =	1	x_25_26:: 18 --> 19 =	1
x_4_5:: 10 --> 9 =	0	x_27_26:: 20 --> 19 =	0
x_6_5:: 8 --> 9 =	1	x_26_27:: 19 --> 20 =	1
x_5_6:: 9 --> 8 =	0	x_28_27:: 21 --> 20 =	0
x_7_6:: 7 --> 8 =	1	x_21_28:: 25 --> 21 =	0
x_6_7:: 8 --> 7 =	0	x_27_28:: 20 --> 21 =	1
x_8_7:: 6 --> 7 =	1	x_29_28:: 22 --> 21 =	0
x_7_8:: 7 --> 6 =	0	x_40_28:: 24 --> 21 =	1



x_9_8:: 5 --> 6 =	1	x_28_29:: 21 --> 22 =	1
x_8_9:: 6 --> 5 =	0	x_30_29:: 23 --> 22 =	0
x_10_9:: 4 --> 5 =	1	x_29_30:: 22 --> 23 =	1
x_9_10:: 5 --> 4 =	0	x_39_30:: 42 --> 23 =	0
x_11_10:: 3 --> 4 =	1	x_23_31:: 16 --> 34 =	1
x_10_11:: 4 --> 3 =	0	x_32_31:: 35 --> 34 =	1
x_12_11:: 2 --> 3 =	1	x_34_31:: 37 --> 34 =	0
x_11_12:: 3 --> 2 =	0	x_31_32:: 34 --> 35 =	1
x_0_13:: 14 --> 33 =	0	x_33_32:: 36 --> 35 =	1
x_14_13:: 32 --> 33 =	1	x_32_33:: 35 --> 36 =	1
x_13_14:: 33 --> 32 =	0	x_34_33:: 37 --> 36 =	0
x_15_14:: 31 --> 32 =	1	x_31_34:: 34 --> 37 =	1
x_14_15:: 32 --> 31 =	0	x_33_34:: 36 --> 37 =	0
x_16_15:: 30 --> 31 =	1	x_35_34:: 38 --> 37 =	0
x_15_16:: 31 --> 30 =	0	x_34_35:: 37 --> 38 =	1
x_17_16:: 29 --> 30 =	1	x_36_35:: 39 --> 38 =	0
x_16_17:: 30 --> 29 =	0	x_35_36:: 38 --> 39 =	1
x_18_17:: 28 --> 29 =	1	x_37_36:: 40 --> 39 =	0
x_17_18:: 29 --> 28 =	0	x_36_37:: 39 --> 40 =	0
x_19_18:: 27 --> 28 =	1	x_38_37:: 41 --> 40 =	0
x_18_19:: 28 --> 27 =	0	x_37_38:: 40 --> 41 =	1
x_20_19:: 26 --> 27 =	1	x_39_38:: 42 --> 41 =	0
x_19_20:: 27 --> 26 =	0	x_30_39:: 23 --> 42 =	0
x_21_20:: 25 --> 26 =	1	x_38_39:: 41 --> 42 =	1
x_20_21:: 26 --> 25 =	0	x_28_40:: 21 --> 24 =	1

Tabla 41. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 11.

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	188044	8500378	0.838
2 al 3	Av. de la Cultura	187912	8500415	0.123
3 al 4	Av. de la Cultura	187849	8500434	0.128
4 al 5	Av. de la Cultura	187824	8500445	0.152
5 al 6	Av. de la Cultura	187761	8500458	0.110
6 al 7	Av. de la Cultura	187713	8500470	0.100
7 al 8	Av. de la Cultura	187662	8500479	0.098
8 al 9	Av. de la Cultura	187587	8500498	0.100
9 al 10	Av. de la Cultura	187527	8500516	0.125
10 al 11	Av. de la Cultura	187506	8500529	0.155
11 al 12	Av. de la Cultura	187449	8500538	0.230
12 al 13	Av. de la Cultura	187230	8500586	0.070
13 al 14	Av. de la Cultura	187174	8500613	0.062
14 al 15	Av. de la Cultura	187232	8500600	0.148
15 al 16	Av. de la Cultura	188554	8500134	0.150
16 al 17	Av. de la Cultura	188696	8500086	0.075



17 al 18	Av. de la Cultura	188232	8500331	0.049
18 al 19	Av. de la Cultura	188277	8500313	0.130
19 al 20	Av. de la Cultura	188394	8500285	0.110
20 al 21	Av. de la Cultura	188495	8500256	0.095
21 al 22	Av. de la Cultura	188585	8500227	0.120
22 al 23	Av. de la Cultura	188651	8500210	0.118
23 al 24	Comisaría Forestal	188776	8500285	0.373
24 al 25	Pasaje Forestal	188509	8500150	0.289
25 al 26	Pampachacra	188445	8500171	0.067
26 al 27	Pampachacra	188379	8500195	0.068
27 al 28	Pampachacra	188289	8500220	0.094
28 al 29	Pampachacra	188211	8500239	0.079
29 al 30	Pampachacra	188160	8500251	0.053
30 al 31	Pampachacra	188161	8500351	0.110
31 al 32	Pampachacra	188093	8500369	0.070
32 al 33	Calle Romerito	188044	8500378	0.050
33 al 34	Pasaje Posta	188770	8500173	0.056
34 al 35	Calle Perú	188849	8500143	0.140
35 al 36	Calle Perú	188589	8500238	0.140
36 al 37	Calle Perú	188185	8500489	0.411
37 al 38	Calle Perú	188269	8500470	0.150
38 al 39	Calle Perú	188378	8500452	0.110
39 al 40	Calle Perú	188567	8500428	0.190
40 al 41	Calle Perú	188722	8500403	0.160
41 al 42	Calle Perú	188891	8500382	0.170
43 al 44	Ruta al botadero	822946	8500103	21.930
44 al 45	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 49.296**

Lo mostrado en la Tabla 41 es el resultado de la mejora que se propone para la ruta n.º 11. A diferencia de lo que se vio en la Tabla 26, que describe algunas repeticiones que hacen el flujo más dificultoso. Lo más resaltante es la eliminación de repasos por la calle Pampachacra y por la calle Perú. Otro detalle importante es que el final de la ruta se ha trasladado de detrás del local de la Policía Forestal al final de la calle Perú; con ello el flujo se hace más ligero y simple.

La distancia al relleno sanitario podría considerarse inalterada en la propuesta (21.930 km desde el último punto de recolección), y el retorno al punto de partida, en Maestranza, se mantiene igual (21.300 km).

En la propuesta se plantea cubrir una longitud total acumulada para la ruta n.º 11 de 49.296 km lineales por recorrido.



Cotejando la propuesta con las condiciones actuales de operación, hay una reducción en la distancia total de la trayectoria de la ruta de **0.932 km**.

#### **4.5.12. Propuesta de mejora para la ruta n.º 12**

La importancia de la ruta n.º 12 radica en que atiende al mercado de Vinocanchón y al penal de Qenqoro.

Las observaciones hechas en campo derivaron en la idea de mejorar el recorrido que sirve a la parte central e histórica del distrito, y que en su tramo final fluye por la Av. de la Cultura..



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 45. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 12.



Lo que se ve en la Figura 45 es una propuesta que tiene la finalidad de mejorar el tránsito de los camiones recolectores de residuos sólidos por el centro histórico del distrito, a diferencia de lo que se muestra en la Figura 30, donde actualmente el paso de los vehículos de limpieza se ve afectado con frecuencia por imprevistos que hacen pesada la circulación por esa zona.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 12**

El software realizó el procesamiento y cálculos para mejorar la secuencia, lo cual se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “12” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 1 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 17 --> 16 =	0	x_23_22:: 23 --> 24 =	1
x_13_0:: 15 --> 16 =	1	x_22_23:: 24 --> 23 =	1
x_0_1:: 16 --> 17 =	1	x_24_23:: 26 --> 23 =	0
x_2_1:: 18 --> 17 =	0	x_23_24:: 23 --> 26 =	1
x_1_2:: 17 --> 18 =	1	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_3_2:: 19 --> 18 =	0	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_2_3:: 18 --> 19 =	1	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_4_3:: 20 --> 19 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	1
x_3_4:: 19 --> 20 =	1	x_27_26:: 29 --> 28 =	0
x_5_4:: 21 --> 20 =	0	x_26_27:: 28 --> 29 =	1
x_4_5:: 20 --> 21 =	1	x_28_27:: 30 --> 29 =	0
x_6_5:: 22 --> 21 =	0	x_27_28:: 29 --> 30 =	1
x_5_6:: 21 --> 22 =	1	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_7_6:: 9 --> 22 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_6_7:: 22 --> 9 =	0	x_30_29:: 32 --> 31 =	0
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_31_30:: 33 --> 32 =	0
x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_30_31:: 32 --> 33 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_32_31:: 34 --> 33 =	0

x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_33_32:: 35 --> 34 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_35_34:: 37 --> 36 =	0
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_0_13:: 16 --> 15 =	0	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_14_13:: 2 --> 15 =	0	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_13_14:: 15 --> 2 =	0	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_15_14:: 3 --> 2 =	0	x_38_37:: 40 --> 39 =	0
x_14_15:: 2 --> 3 =	1	x_37_38:: 39 --> 40 =	1
x_16_15:: 4 --> 3 =	0	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_15_16:: 3 --> 4 =	1	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_17_16:: 5 --> 4 =	0	x_40_39:: 42 --> 41 =	0
x_16_17:: 4 --> 5 =	1	x_39_40:: 41 --> 42 =	1
x_18_17:: 6 --> 5 =	0	x_41_40:: 43 --> 42 =	0
x_17_18:: 5 --> 6 =	1	x_40_41:: 42 --> 43 =	1
x_19_18:: 7 --> 6 =	0	x_42_41:: 44 --> 43 =	0
x_18_19:: 6 --> 7 =	1	x_41_42:: 43 --> 44 =	1
x_20_19:: 8 --> 7 =	0	x_20_7:: 8 --> 9 =	1
x_19_20:: 7 --> 8 =	1	x_7_20:: 9 --> 8 =	0
x_22_21:: 24 --> 25 =	1	x_6_23:: 22 --> 23 =	1
x_21_22:: 25 --> 24 =	1	x_23_6:: 23 --> 22 =	0

**Tabla 42. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 12.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187904	8500737	1.420
2 al 3	Calle Lima	187869	8500752	0.130
3 al 4	Calle Lima	187789	8500813	0.074
4 al 5	Calle Lima	187741	8500799	0.024
5 al 6	Calle Lima	187713	8500797	0.040
6 al 7	Calle Lima	187677	8500816	0.046
7 al 8	Calle Lima	187633	8500832	0.088
8 al 9	Suárez	187713	8500724	0.096
9 al 10	San Martín	187746	8500712	0.038
10 al 11	San Martín	187779	8500698	0.050
11 al 12	San Martín	187826	8500682	0.056
12 al 13	San Martín	187862	8500671	0.041
13 al 14	San Martín	187900	8500656	0.060
14 al 15	San Martín	187949	8500641	0.048
15 al 16	Pumacahua	188409	8500368	0.072





16 al 17	Ramón Castilla	187449	8500723	0.100
17 al 18	Ramón Castilla	187496	8500794	0.022
18 al 19	Ramón Castilla	187519	8500786	0.079
19 al 20	Ramón Castilla	187592	8500759	0.059
20 al 21	Ramón Castilla	187645	8500747	0.030
21 al 22	Ramón Castilla	187670	8500732	0.059
22 al 23	Suárez	187529	8500965	0.067
23 al 24	Calle Perú	187589	8500933	0.084
24 al 25	Calle Perú	187529	8500965	0.050
25 al 26	Calle Perú	187717	8500895	0.133
26 al 27	Calle Perú	187748	8500879	0.062
27 al 28	Calle Perú	187805	8500861	0.063
28 al 29	Calle Perú	187973	8500800	0.068
29 al 30	Calle Perú	188039	8500776	0.063
30 al 31	Calle Perú	188100	8500765	0.073
31 al 32	Calle Perú	188131	8500520	0.221
32 al 33	Llocllapata	188063	8500535	0.200
33 al 34	Av. de la Cultura	188022	8500535	0.168
34 al 35	Av. de la Cultura	187979	8500537	0.159
35 al 36	Av. de la Cultura	187936	8500553	0.172
36 al 37	Av. de la Cultura	187897	8500568	0.184
37 al 38	Av. de la Cultura	187861	8500577	0.180
38 al 39	Av. de la Cultura	187818	8500592	0.179
39 al 40	Av. de la Cultura	187781	8500607	0.157
40 al 41	Av. de la Cultura	187743	8500628	0.132
41 al 42	Av. de la Cultura	187700	8500632	0.144
42 al 43	Av. de la Cultura	187664	8500650	0.151
43 al 44	Av. 5 (U. Andina)	187578	8500683	0.092
44 al 45	Ruta al botadero	822946	8500103	20.450
45 al 46	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 47.184**

La Tabla 42 tiene 06 nodos y lazos menos que lo que se puede ver en la Tabla 27, debido principalmente a que la propuesta contempla eliminar el paso de los camiones recolectores por Llocllapata y por Almudena. También se propone iniciar el recorrido de la ruta n.º 12 en la esquina noreste del mercado Vinocanchón, en lugar de en la esquina sureste; de esa manera se elimina el bucle que hace densa la circulación actual por el centro del distrito, y se pasa a recorrer dicha zona en zigzag, para luego abordar la Av. de la Cultura hasta el final de la ruta.

La propuesta establece una distancia al relleno sanitario de Jaquira 20.450 km desde el último punto de recolección, y un retorno al punto de partida que se mantiene sin alteración (21.300 km).



Con la mejora se propone una recorrer una distancia total acumulada para cubrir completamente la ruta n.º 12 de 47.184 km lineales por viaje.

La comparación de la propuesta con la situación actual permite apreciar que se logra una reducción de la ruta de **0.983 km**.

#### **4.5.13. Propuesta de mejora para la ruta n.º 13**

La ruta n.º 13 es la franja urbana situada junto a la margen izquierda del río Huatanay; la zona cubierta es muy importante porque, como ya se mencionó antes, representa uno de los sectores más activos en cuanto a movimiento económico se refiere.

En el recorrido de campo se vio por conveniente realizar una mejora en dicha ruta mediante la supresión de las repeticiones de paso por algunas calles con la finalidad de reducir la distancia que los camiones recolectores y el personal de limpieza pública tienen que recorrer.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 46. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 13.



La Figura 46 es propone eliminar las repeticiones de paso para agilizar el trabajo de recolección de residuos sólidos, a diferencia de lo que se ve en la Figura 31. El sector cubierto por la ruta n.º 13 tiene un esquema urbano bien definido, con calles de doble carril, y su ordenamiento no presenta desorden, por lo cual el flujo puede ser más ligero si se hacen algunas modificaciones sobre la situación vigente.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 13**

El modelamiento realizado se describe a continuación.

**Modelo (Ruta “13” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 4 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_22_21:: 24 --> 23 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_21_22:: 23 --> 24 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_20_23:: 22 --> 25 =	0
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_24_23:: 26 --> 25 =	1
x_3_2:: 5 --> 4 =	0	x_23_24:: 25 --> 26 =	1
x_6_2:: 8 --> 4 =	0	x_25_24:: 27 --> 26 =	1
x_2_3:: 4 --> 5 =	1	x_27_24:: 29 --> 26 =	0
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_24_25:: 26 --> 27 =	1
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_26_25:: 28 --> 27 =	0
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_25_26:: 27 --> 28 =	0
x_9_4:: 11 --> 6 =	0	x_28_26:: 25 --> 28 =	1
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_24_27:: 26 --> 29 =	0
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_29_27:: 28 --> 29 =	1
x_2_6:: 4 --> 8 =	0	x_26_28:: 28 --> 30 =	0
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_27_29:: 29 --> 30 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_30_29:: 32 --> 31 =	0
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_32_29:: 34 --> 31 =	0
x_8_7:: 10 --> 9 =	0	x_29_30:: 30 --> 31 =	1
x_7_8:: 9 --> 10 =	1	x_31_30:: 33 --> 32 =	0



x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_30_31:: 32 --> 33 =	0
x_4_9:: 6 --> 11 =	0	x_29_32:: 31 --> 32 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_33_32:: 35 --> 34 =	0
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_17_10:: 19 --> 12 =	0	x_35_34:: 37 --> 36 =	0
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_34_35:: 36 --> 37 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	1	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_35_36:: 37 --> 38 =	1
x_13_12:: 15 --> 14 =	0	x_37_36:: 39 --> 38 =	0
x_12_13:: 14 --> 15 =	0	x_36_37:: 38 --> 39 =	1
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_38_37:: 40 --> 39 =	0
x_13_14:: 15 --> 16 =	1	x_37_38:: 39 --> 40 =	1
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_39_38:: 41 --> 40 =	0
x_18_14:: 20 --> 16 =	0	x_38_39:: 40 --> 41 =	1
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_40_39:: 42 --> 41 =	0
x_16_15:: 18 --> 17 =	1	x_39_40:: 41 --> 42 =	1
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_41_40:: 43 --> 42 =	0
x_10_17:: 12 --> 19 =	0	x_40_41:: 42 --> 43 =	1
x_14_18:: 19 --> 20 =	1	x_42_41:: 44 --> 43 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	0	x_41_42:: 43 --> 44 =	1
x_18_19:: 20 --> 21 =	1	x_43_42:: 45 --> 44 =	0
x_20_19:: 22 --> 21 =	0	x_42_43:: 44 --> 45 =	1
x_19_20:: 21 --> 22 =	1	x_44_43:: 46 --> 45 =	0
x_21_20:: 23 --> 22 =	0	x_43_44:: 45 --> 46 =	0
x_23_20:: 25 --> 22 =	0	x_45_44:: 47 --> 46 =	0
x_20_21:: 22 --> 23 =	1	x_44_45:: 46 --> 47 =	0

Tabla 43. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 13.

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	186893	8500456	0.920
2 al 3	Parustaca	187105	8500406	0.107
3 al 4	Parustaca	187153	8500568	0.114
4 al 5	Av. de la Cultura	186784	8500688	0.180
5 al 6	Av. de la Cultura	186848	8500671	0.350
6 al 7	Av. de la Cultura	186960	8500645	0.142
7 al 8	Av. de la Cultura	187036	8500612	0.181
8 al 9	Perolpugio	187014	8500543	0.100
9 al 10	Perolpugio	186987	8500458	0.100
10 al 11	Vía Expresa	186736	8500501	0.175
11 al 12	Vía Expresa	186683	8500660	0.170
12 al 13	Vía Expresa	186608	8500693	0.173
13 al 14	Vía Expresa	186641	8500518	0.085
14 al 15	Petro Perú	186559	8500769	0.240



15 al 16	Los Claveles	186591	8500564	0.067
16 al 17	Vía Expresa	186450	8500654	0.071
17 al 18	Ciro Alegría	186392	8500889	0.062
18 al 19	Ciro Alegría	186538	8500580	0.172
19 al 20	Vía Expresa	186469	8500834	0.088
20 al 21	Vía Expresa	186344	8500921	0.108
21 al 22	Condominio Magisterial	186303	8500951	0.052
22 al 23	Condominio Magisterial	186172	8500854	0.210
23 al 24	Av. de la Cultura	186261	8500968	0.160
24 al 25	Av. de la Cultura	185854	8501028	0.198
25 al 26	A.P.V. Versalles	185905	8501005	0.095
26 al 27	A.P.V. Versalles	186145	8501070	0.083
27 al 28	Av. de la Cultura	185909	8501087	0.358
28 al 29	Av. de la Cultura	185939	8501139	0.190
29 al 30	Av. de la Cultura	185713	8501227	0.170
30 al 31	Díaz Quintanilla	185742	8501275	0.096
31 al 32	Díaz Quintanilla	185776	8501324	0.091
32 al 33	Vía Expresa	185965	8501202	0.160
33 al 34	Vía Expresa	185599	8501197	0.157
34 al 35	Juan Pablo II	185649	8501178	0.088
35 al 36	Juan Pablo II	185790	8501072	0.091
36 al 37	Av. de la Cultura	185635	8501341	0.146
37 al 38	A.P.V. Los Pinos	185620	8501312	0.116
38 al 39	A.P.V. Los Pinos	185568	8501228	0.121
39 al 40	Calle s/n	185608	8501433	0.104
40 al 41	Calle s/n	185543	8501358	0.070
41 al 42	Calle s/n	185392	8501602	0.128
42 al 43	Av. de la Cultura	185534	8501500	0.100
43 al 44	Av. de la Cultura	185549	8501448	0.075
44 al 45	Calle s/n	185543	8501358	0.076
45 al 46	Ruta al botadero	822946	8500103	17.740
46 al 47	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 45.780**

La trayectoria propuesta para la ruta n.º 13 mostrada en la Tabla 43 contempla una inversión total del sentido actual descrito en la Tabla 28. Es decir, el punto inicial en la propuesta está en el sector de Parustaca y el punto final en una calle a la altura del local principal de la Universidad Andina del Cusco. Asimismo, se han eliminado las repeticiones suprimiendo el tránsito por la Av. de la Cultura a la altura de Tingo, y eliminando la circulación por el lado de la Vía Expresa una cuadra más arriba.



Otra modificación que es necesario resaltar es que en la propuesta la cantidad de nodos y lazos se redujeron en 03 respecto a la situación actual de la ruta.

La distancia al relleno sanitario es 17.740 km y hay una reducción importante de 1.890 km respecto al recorrido vigente. La distancia de retorno permanece inalterada (21.300 km).

La mejora de ruta supone recorrer una distancia total acumulada de 45.780 km lineales.

Del razonamiento anterior se deduce que con la propuesta hay una reducción en la distancia total acumulada de la ruta n. 13 de **3.962 km** sobre la situación actual.

#### **4.5.14. Propuesta de mejora para la ruta n.º 14**

La ruta n.º 14 tiene como objetivo principal la atención al mercado de Vinocanchón, que genera gran cantidad de residuos sólidos, sobre todo orgánicos, cada día; y también procura prestar el servicio de recolección de desechos en el sector periférico al este del centro del distrito.

La visita a campo que realizaron los tesisistas permitió detectar lugares de paso que podrían ser modificados sin alterar los objetivos fundamentales de la ruta.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 47. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 14.





En el caso de la ruta n.º 14 se propone reubicar el punto final del recorrido con la finalidad de simplificar la trayectoria. La Figura 47 muestra un recorrido más ligero que el que se aprecia en la Figura 32 donde la situación actual cubre una zona periférica que genera menos residuos (norte del centro del distrito) que el sector adyacente a la Av. de la Cultura (sur del centro del distrito) que tiene un agitado movimiento comercial y por consiguiente mayor producción de desechos.

**Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 14**

Los cálculos y el procesamiento de datos realizado por el software se muestra a continuación.

**Modelo (Ruta “14” Propuesta)**

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo i y el nodo j.

**Solución óptima encontrada**

Tiempo de modelado = 0 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

x_1_0:: 3 --> 2 =	0	x_13_12:: 15 --> 14 =	0
x_0_1:: 2 --> 3 =	1	x_12_13:: 14 --> 15 =	1
x_2_1:: 4 --> 3 =	0	x_14_13:: 16 --> 15 =	0
x_3_1:: 5 --> 3 =	0	x_13_14:: 15 --> 16 =	1
x_1_2:: 3 --> 4 =	1	x_15_14:: 17 --> 16 =	0
x_7_2:: 9 --> 4 =	1	x_14_15:: 16 --> 17 =	1
x_8_2:: 10 --> 4 =	0	x_16_15:: 18 --> 17 =	0
x_1_3:: 3 --> 5 =	1	x_15_16:: 17 --> 18 =	1
x_4_3:: 6 --> 5 =	0	x_17_16:: 19 --> 18 =	0
x_3_4:: 5 --> 6 =	1	x_16_17:: 18 --> 19 =	1
x_5_4:: 7 --> 6 =	0	x_18_17:: 20 --> 19 =	0
x_4_5:: 6 --> 7 =	1	x_17_18:: 19 --> 20 =	1
x_6_5:: 8 --> 7 =	0	x_19_18:: 21 --> 20 =	0
x_5_6:: 7 --> 8 =	1	x_18_19:: 20 --> 21 =	1
x_7_6:: 9 --> 8 =	0	x_20_19:: 22 --> 21 =	0
x_2_7:: 4 --> 9 =	0	x_19_20:: 21 --> 22 =	1
x_6_7:: 8 --> 9 =	1	x_21_20:: 23 --> 22 =	0
x_2_8:: 4 --> 10 =	1	x_23_20:: 25 --> 22 =	Q

x_9_8:: 11 --> 10 =	0	x_20_21:: 22 --> 23 =	1
x_8_9:: 10 --> 11 =	1	x_22_21:: 24 --> 23 =	0
x_10_9:: 12 --> 11 =	0	x_21_22:: 23 --> 24 =	1
x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_24_22:: 26 --> 24 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_20_23:: 22 --> 25 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_22_24:: 24 --> 26 =	1
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_25_24:: 27 --> 26 =	0
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_24_25:: 26 --> 27 =	1

**Tabla 44. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 14.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187396	8500850	1.400
2 al 3	Clorinda Matto	187437	8500726	0.190
3 al 4	Calle Perú	187312	8500854	0.110
4 al 5	Calle Perú	187442	8500993	0.230
5 al 6	Llocllapata	187551	8501038	0.180
6 al 7	Llocllapata	188294	8501369	0.180
7 al 8	Calle Lima	188409	8500368	0.120
8 al 9	Pumacahua	188100	8500765	0.190
9 al 10	Pumacahua	188039	8500776	0.145
10 al 11	Calle Perú	187973	8500800	0.130
11 al 12	Calle Perú	187805	8500861	0.130
12 al 13	Calle Perú	187748	8500879	0.170
13 al 14	Calle Perú	187717	8500895	0.140
14 al 15	Calle Perú	187636	8500913	0.163
15 al 16	Calle Perú	187589	8500933	0.110
16 al 17	Calle Perú	187529	8500965	0.120
17 al 18	Calle Perú	187511	8500879	0.140
18 al 19	Calle Romeritos	188225	8500809	0.130
19 al 20	Calle Romeritos	188202	8500717	0.268
21 al 22	Calle Romeritos	188189	8500560	0.238
22 al 23	Sector Tancarpatá	188182	8500488	0.248
23 al 24	Sector Tancarpatá	188203	8500642	0.468
24 al 25	Derrama Magisterial	188218	8500750	0.232
25 al 26	Derrama Magisterial	188229	8500828	0.243
26 al 27	Derrama Magisterial	188234	8501471	0.251
27 al 28	Ruta al botadero	822946	8500103	20.935
28 al 29	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300

**Total= 48.161**

Lo más destacable de lo propuesto en la Tabla 44 es la traslación del flujo que va en sentido oeste-este, es decir, suprimir el paso por Almudena descrito en la Tabla 29 y habilitar del tránsito por la calle Perú. Asimismo, se propone trasladar el punto final de la ruta n.º 14 de la



zona baja de la calle Perú a la zona alta del barrio Derrama Magisterial, con lo que se garantiza una trayectoria más libre y más productiva en términos atención a la población.

En cuanto a los habitantes que dejan de ser atendidos en Almudena, la ruta n.º 7 puede cubrir la demanda (véase la Figura 40) dado que las características de sus residuos no implican mayores problemas para las autoridades que prestan el servicio de limpieza pública.

Con la propuesta el número de nodos y de lazos se incrementa en 02, pero ello no significa que el recorrido se complica.

La distancia del viaje al relleno sanitario experimenta un ligero incremento de 235 metros por la traslación del punto final del recorrido (20.935 km de distancia desde el último punto de recolección), y el retorno al punto de partida, en Maestranza, se mantiene sin alteración (21.300 km).

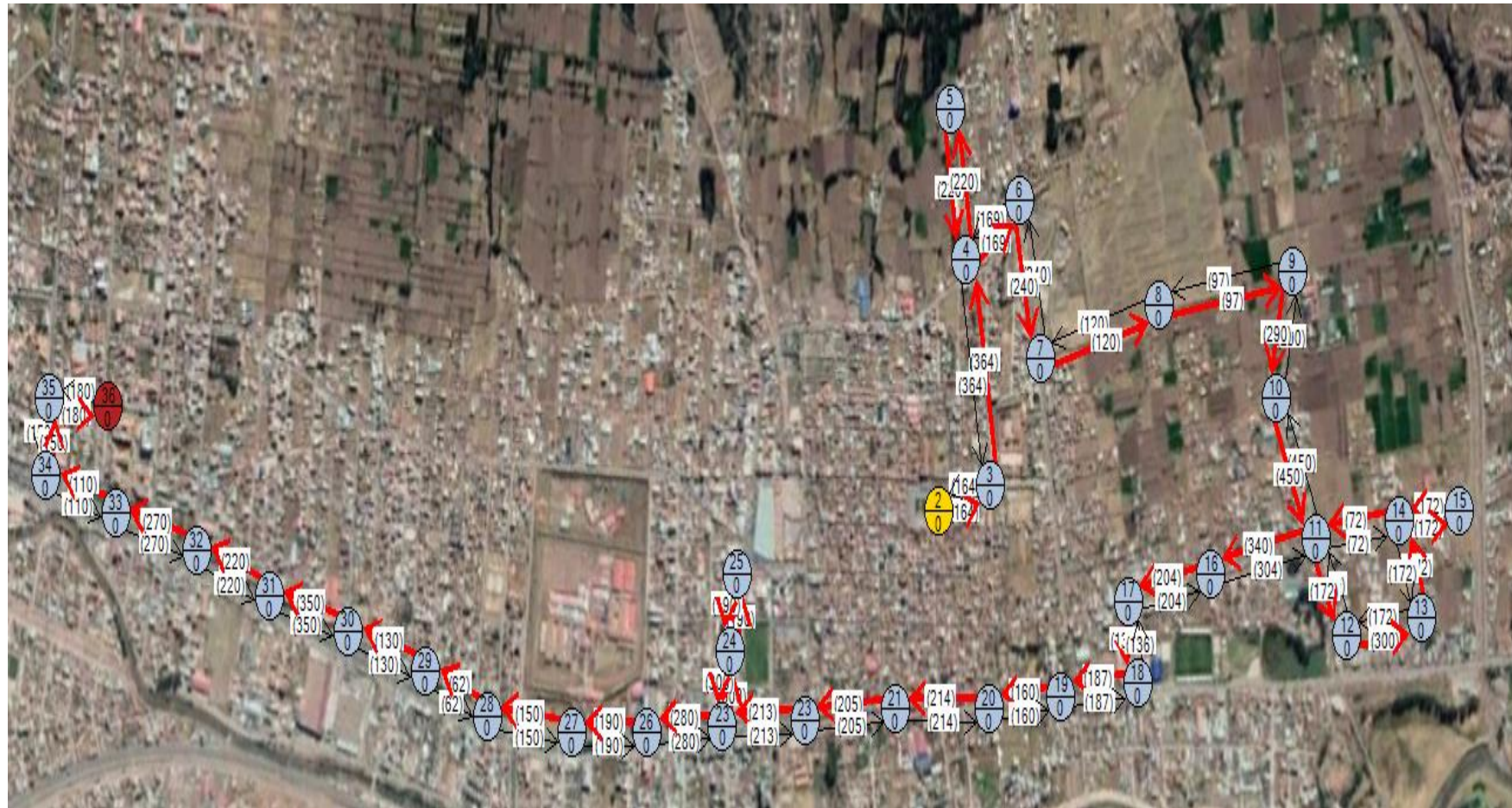
Se propone recorrer una longitud total acumulada para la ruta n.º 14 de 48.161 km lineales por viaje.

Por consiguiente, comparando la propuesta con la situación actual de la ruta n.º 14 se tiene una reducción en la distancia total de la trayectoria de **1.076 km**.

#### **4.5.15. Propuesta de mejora para la ruta n.º 15**

La ruta n.º 15 es importante porque contempla la recolección de los residuos sólidos generados en el mercado de Vinocanchón y en el penal de Qenqoro. También tiene un elevado valor ecológico porque atiende al sector adyacente a los humedales y pequeñas zonas boscosas.

Igual que en el estudio de las rutas anteriores, las observaciones hechas en campo y el procesamiento de los datos recolectados permitieron plantear la posibilidad de una mejora en dicha ruta, a través modificaciones en el recorrido sin reducir la calidad del servicio que actualmente se presta a la población.



Fuente: Google Maps, 2018.

Figura 48. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 15.

Lo que se aprecia en la Figura 48 es un recorrido que propone eliminar el bucle en la parte oeste de la ruta n.º 15 mostrado en la Figura 33. No obstante las modificaciones introducidas por la propuesta, el servicio de recolección de residuos sólidos prestado al mercado y al penal no se ve afectado, y de esa forma se puede mejorar el tránsito de los camiones recolectores.

### Modelamiento de la propuesta para la ruta n.º 15

El software realizó el procesamiento y cálculos para mejorar la secuencia, lo cual se muestra a continuación.

### Modelo (Ruta “15” Propuesta)

Variables de decisión:  $X_{i,j}$  = Distancia entre el nodo  $i$  y el nodo  $j$ .

### Solución óptima encontrada

Tiempo de modelado = 10 segundos

Tiempo de proceso = 0 segundos

lp\_solve -> 0

Valor de la función objetivo

Valor actual de las variables

$x_{1_0}:: 3 \rightarrow 2 =$	0	$x_{18_19}:: 20 \rightarrow 21 =$	1
$x_{0_1}:: 2 \rightarrow 3 =$	1	$x_{20_19}:: 22 \rightarrow 21 =$	0
$x_{2_1}:: 4 \rightarrow 3 =$	0	$x_{19_20}:: 21 \rightarrow 22 =$	1
$x_{1_2}:: 3 \rightarrow 4 =$	1	$x_{21_20}:: 23 \rightarrow 22 =$	0
$x_{3_2}:: 5 \rightarrow 4 =$	0	$x_{20_21}:: 22 \rightarrow 23 =$	1
$x_{2_3}:: 4 \rightarrow 5 =$	1	$x_{22_21}:: 24 \rightarrow 23 =$	1
$x_{4_3}:: 6 \rightarrow 5 =$	0	$x_{21_22}:: 23 \rightarrow 24 =$	1
$x_{3_4}:: 5 \rightarrow 6 =$	1	$x_{23_22}:: 25 \rightarrow 24 =$	1
$x_{5_4}:: 7 \rightarrow 6 =$	0	$x_{22_23}:: 24 \rightarrow 25 =$	1
$x_{4_5}:: 6 \rightarrow 7 =$	1	$x_{24_23}:: 26 \rightarrow 25 =$	0
$x_{6_5}:: 8 \rightarrow 7 =$	0	$x_{23_24}:: 25 \rightarrow 26 =$	1
$x_{5_6}:: 7 \rightarrow 8 =$	1	$x_{25_24}:: 27 \rightarrow 26 =$	0
$x_{7_6}:: 9 \rightarrow 8 =$	0	$x_{24_25}:: 26 \rightarrow 27 =$	1
$x_{6_7}:: 8 \rightarrow 9 =$	1	$x_{26_25}:: 28 \rightarrow 27 =$	0
$x_{8_7}:: 10 \rightarrow 9 =$	0	$x_{27_25}:: 29 \rightarrow 27 =$	0
$x_{7_8}:: 9 \rightarrow 10 =$	1	$x_{25_26}:: 27 \rightarrow 28 =$	1
$x_{9_8}:: 11 \rightarrow 10 =$	0	$x_{25_27}:: 27 \rightarrow 29 =$	0
$x_{8_9}:: 10 \rightarrow 11 =$	1	$x_{28_27}:: 30 \rightarrow 29 =$	0
$x_{10_9}:: 12 \rightarrow 11 =$	0	$x_{27_28}:: 29 \rightarrow 30 =$	1

x_9_10:: 11 --> 12 =	1	x_29_28:: 31 --> 30 =	0
x_11_10:: 13 --> 12 =	0	x_28_29:: 30 --> 31 =	1
x_10_11:: 12 --> 13 =	1	x_30_29:: 32 --> 31 =	0
x_12_11:: 14 --> 13 =	0	x_29_30:: 31 --> 32 =	1
x_11_12:: 13 --> 14 =	1	x_31_30:: 33 --> 32 =	0
x_13_12:: 15 --> 14 =	1	x_30_31:: 32 --> 33 =	1
x_12_13:: 14 --> 15 =	1	x_32_31:: 34 --> 33 =	0
x_14_13:: 16 --> 15 =	0	x_31_32:: 33 --> 34 =	1
x_13_14:: 15 --> 16 =	0	x_33_32:: 35 --> 34 =	0
x_15_14:: 17 --> 16 =	0	x_35_32:: 37 --> 34 =	0
x_14_15:: 16 --> 17 =	1	x_32_33:: 34 --> 35 =	1
x_16_15:: 18 --> 17 =	0	x_34_33:: 36 --> 35 =	0
x_15_16:: 17 --> 18 =	1	x_36_33:: 38 --> 35 =	0
x_17_16:: 19 --> 18 =	0	x_33_34:: 35 --> 36 =	1
x_16_17:: 18 --> 19 =	1	x_32_35:: 34 --> 37 =	0
x_18_17:: 20 --> 19 =	0	x_36_35:: 38 --> 37 =	0
x_17_18:: 19 --> 20 =	1	x_33_36:: 35 --> 38 =	0
x_19_18:: 21 --> 20 =	1	x_35_36:: 37 --> 38 =	0

**Tabla 45. Propuesta de recorrido para la ruta n.º 15.**

Nodos del...	Nombre de la calle	Coordenadas UTM		Distancia recorrida (km)
		Este	Norte	
1 al 2	Ruta de inicio	187875	8500807	0.900
2 al 3	Plaza de Armas	187549	8500858	0.164
3 al 4	Calle Túpac Amaru	188885	8500606	0.364
4 al 5	Rutitabla	188881	8500540	0.210
5 al 6	Almudena	188901	8500440	0.389
6 al 7	Derrama Magisterial	189073	8500350	0.240
7 al 8	Sector Tancarpata	189173	8500335	0.120
8 al 9	Sector Tancarpata	188934	8500207	0.197
9 al 10	Isaiah Bowman	189053	8500177	0.290
10 al 11	Buena Vista	189144	8500141	0.450
11 al 12	K'ayra	189363	8500314	0.172
12 al 13	Calle s/n	188916	8500095	0.172
13 al 14	Calle s/n	188936	8500266	0.172
14 al 15	Uvima X	189269	8500322	0.172
15 al 16	Calle Perú	188269	8500470	0.472
16 al 17	Calle Perú	188770	8500173	0.204
17 al 18	Pasaje Posta	188554	8500134	0.136
18 al 19	Av. de la Cultura	188554	8500134	0.187
19 al 20	Av. de la Cultura	187174	8500613	0.160
20 al 21	Av. de la Cultura	187506	8500529	0.214
21 al 22	Av. de la Cultura	187849	8500434	0.205
22 al 23	Av. de la Cultura	188044	8500378	0.213

23 al 24	Llocllapata	187318	8500866	0.068
24 al 25	Llocllapata	187171	8500623	0.210
25 al 26	Av. de la Cultura	186901	8500685	0.462
26 al 27	Av. de la Cultura	186715	8500736	0.190
27 al 28	Av. de la Cultura	186575	8500800	0.150
28 al 29	Av. de la Cultura	186528	8500825	0.062
29 al 30	Av. de la Cultura	186428	8500893	0.130
30 al 31	Av. de la Cultura	186159	8501090	0.350
31 al 32	Av. de la Cultura	185984	8501220	0.220
32 al 33	Av. de la Cultura	185768	8501369	0.270
33 al 34	Av. de la Cultura	185688	8501429	0.110
34 al 35	Av. 1	185566	8501509	0.150
35 al 36	Av. 2	185416	8501615	0.150
36 al 37	Ruta al botadero	882946	8500103	19.250
37 al 38	Retorno a Maestranza	188336	8500360	21.300
<b>Total=</b>				<b>48.875</b>

La descripción mostrada en la Tabla 45 plantea la traslación del punto final del recorrido del sector de Uvima X, cercano a los humedales, detallado en la Tabla 30, a la zona de Larapa adyacente a la Av. de la Cultura.

Otra modificación importante que se debe explicar es la supresión del paso por la calle Lima, cuyo servicio es asimilado por la propuesta de ruta n.º 4; también se ha eliminado el paso por Almudena, donde el servicio es cubierto por la propuesta de ruta n.º 7. Lo anterior se sustenta en las características de los residuos sólidos que se producen en esas zonas que no suponen mayores complicaciones para el personal de limpieza pública.

Tras emplear la programación lineal como herramienta en el análisis, se propone que la ruta tenga dos nodos y dos lazos menos que en la situación actual.

En la propuesta, la distancia al relleno sanitario es 19.250 km y hay una reducción considerable de 2.350 km con respecto a lo que se viene realizando. La distancia de retorno, tanto en las condiciones actuales como en la propuesta, permanece inalterada (21.300 km, véase la Figura 49).

Finalmente, se deduce que con la propuesta hay una reducción en la longitud total acumulada recorrida de la ruta n. 15 de **4.566 km** sobre la situación actual.

#### 4.6. Traslado de los residuos sólidos al relleno sanitario de Jaquira

En todas las rutas de recolección de residuos sólidos sometidas a estudio, se ha presentado de manera recurrente que las distancias más largas que los camiones deben recorrer son el transporte de los desechos acumulados hacia el relleno sanitario de Jaquira (ver Figura 49) y el respectivo retorno a base o central de operaciones de limpieza pública en el sector de Maestranza. Como se aprecia en la ruta trazada sobre la vista aérea, los vehículos cargados toman salida por la Av. de la Cultura, entran por la Vía Expresa y toman la Av. 28 de Julio, luego salen de la ciudad por la Av. del Ejército con dirección suroeste. Cabe indicar que todas las unidades vehiculares recolectoras de residuos sólidos de los diferente municipios que componen la provincia del Cusco acuden a Jaquira para dejar todo lo recolectado en sus respectiva jurisdicciones.

Cuando los camiones compactadores han descargado, proceden de inmediato a retornar a su respectiva central. Para ello vuelven al distrito de San Jerónimo por la misma ruta por donde salieron de la ciudad.

Los tesistas han estimado la distancia media que deben recorrer los camiones recolectores de residuos sólidos en 20.6 km, desde el centro del distrito hasta el relleno sanitario de Jaquira.



Fuente: Google Maps, 2018.

**Figura 49. Ruta convencional hacia el relleno sanitario de Jaquira.**





En términos generales, los investigadores notaron que en muchos sectores de las 15 diferentes rutas establecidas por la autoridad municipal podría efectuarse una mejora en el recorrido, con la finalidad de ahorrar recursos y tiempo. Para lograr dicha mejora, se estudió cuidadosamente cada una de las rutas, observando las características físicas de cada calle o avenida por donde los camiones tienen que circular; con esa información se empleó el software GRAFOS con la finalidad de estimar los flujos más óptimos y con las distancias más cortas, sin tener que sacrificar la calidad del servicio de limpieza pública que actualmente el municipio distrital brinda a los pobladores del distrito.

El análisis y las propuestas de mejora para todas las rutas existentes se puede ver en el apartado 4.5.

Asimismo, el proceso analítico contemplado hasta aquí ha permitido estimar los impactos que la modificación de las trayectorias actuales de las 15 rutas de recolección, bajo el esquema de las propuestas de mejora, tendría sobre las distancias recorridas y sobre los costos de operación estimados en función del presupuesto nominal asignado a cada camión recolector.

Los resultados se muestran de manera ordenada y en función a las secuencias de análisis realizadas en cada uno de los apartados anteriores.

#### 4.7. Distancia recorrida por los camiones recolectores de residuos sólidos urbanos

##### 4.7.1. Situación con las rutas vigentes

El análisis realizado en el ítem 4.4. permitió estimar las distancias efectivas de cada una de las 15 rutas de recolección de residuos sólidos urbanos vigentes en el distrito de San Jerónimo; con ello se pudo estimar el recorrido que cada camión recolector debe realizar por mes y la distancia total que acumulan todas las unidades vehiculares por mes.

**Tabla 46. Distancias recorridas por los camiones recolectores con las rutas actuales.**

Placa	Rutas asignadas	Distancia por día (km)	Salidas por mes	Distancia por mes (km)	Distancia total por camión (km)
EGB-059	1	50.598	8	404.784	1181.704
	6	48.948	8	391.584	
	12	48.167	8	385.336	
EGZ-263	2	53.463	8	427.704	1240.280
	7	51.830	8	414.640	
	13	49.742	8	397.936	
EGJ-956	3	51.285	8	410.280	1208.208
	8	49.513	8	396.104	
	11	50.228	8	401.824	
EGM-031	4	48.737	8	389.896	1225.000
	9	55.151	8	441.208	
	14	49.237	8	393.896	
EGM-630	5	52.865	8	422.920	1305.624
	10	56.897	8	455.176	
	15	53.441	8	427.528	

**Total acumulado= 6160.816**

#### 4.7.2. Situación con las rutas propuestas

Tras los resultados obtenidos en el apartado 4.5. sobre las propuestas de mejora para cada una de las 15 rutas, se pudo determinar las distancias efectivas que recorre cada camión en un mes bajo el nuevo esquema de flujo, así como la distancia total por mes bajo las trayectorias propuestas en el nuevo esquema.

**Tabla 47. Distancias recorridas por los camiones recolectores con las rutas propuestas.**

Placa	Rutas asignadas	Distancia por día (km)	Salidas por mes	Distancia por mes (km)	Distancia total por camión (km)
EGB-059	1	49.651	8	397.208	1152.928
	6	47.281	8	378.248	
	12	47.184	8	377.472	
EGZ-263	2	51.420	8	411.360	1169.680
	7	49.010	8	392.080	
	13	45.780	8	366.240	
EGJ-956	3	48.124	8	384.992	1155.576
	8	47.027	8	376.216	
	11	49.296	8	394.368	
EGM-031	4	47.742	8	381.936	1201.720
	9	54.312	8	434.496	
	14	48.161	8	385.288	
EGM-630	5	50.007	8	400.056	1212.624
	10	52.696	8	421.568	
	15	48.875	8	391.000	

**Total acumulado= 5892.528**

#### 4.7.3. Comparación de resultados

Si se compara la situación actual descrita en la Tabla 46 con la propuesta de mejora de la Tabla 47, se podrá apreciar de mejor manera el impacto que tendrá la modificación de las rutas que propone esta tesis. Para tal propósito se cuenta con los resultados de las distancias acumuladas totales mensuales por ruta de recolección de residuos sólidos, expresados en km lineales; y los resultados acumulados de las rutas propuestas tras el proceso de modelamiento efectuado por el software de programación lineal, expresados también en km lineales.

**Tabla 48. Comparación de resultados de distancia recorrida con la situación vigente y con la propuesta de mejora de rutas.**

Placa	Distancia actual por mes (km)	Distancia propuesta por mes (km)	Actual – mejora (km)
EGB-059	1181.704	1152.928	28.776
EGZ-263	1240.280	1169.680	70.600
EGJ-956	1208.208	1155.576	52.632
EGM-031	1225.000	1201.720	23.280
EGM-630	1305.624	1212.624	93.000
<b>Total=</b>	<b>6160.816</b>	<b>5892.528</b>	<b>268.288</b>

Como se puede ver, la Tabla 48 muestra las diferencias que existen en cuanto a longitud recorrida por cada camión en un mes. Es destacable resaltar que al realizar la diferencia entre el acumulado mensual de la situación actual y el acumulado mensual obtenido de la propuesta, el resultado es **268.288 km**; es decir, si se aplicara la mejora propuesta los camiones ahorrarían un total de 268.288 km acumulados por mes, lo cual incidiría de manera directa en los costos de operaciones y gastos varios.

#### 4.7.4. Diferencia porcentual total entre el escenario actual y la propuesta

Si se toman los resultados de las longitudes actuales de las rutas vigentes hallados a través del método del agente viajero, y se halla su diferencia con los resultados acumulados mensuales obtenidos por ruta de recolección mediante la programación lineal, se puede estimar el promedio de la diferencia total entre las rutas actuales y las trayectorias mejoradas que se proponen.

Sin embargo, cabe precisar que realizar un promedio de las diferencias de las 15 rutas de manera numérica conduciría a un error ya que debido a su trayectoria, dispuesta por las autoridades, cada ruta tiene una longitud completamente diferente a las demás. No obstante, si dichas diferencias se expresan en términos porcentuales sí es posible determinar un promedio que permite observar la reducción del recorrido total que suman las 15 rutas propuestas respecto a las trayectorias actuales.

Adicionalmente, es posible analizar la diferencia que hay entre las longitudes actuales de las rutas de recolección de residuos sólidos y las rutas propuestas tras el modelamiento realizado por medio de la programación lineal.

**Tabla 49. Cálculo de la diferencia promedio de las distancias acumuladas mensuales por ruta de recolección de residuos sólidos.**

Ruta n.º	Longitud actual (km)	Longitud propuesta (km)	Diferencia (km)	Diferencia porcentual
1	50,598	49,651	0,947	1,87%
2	53,463	51,420	2,043	3,82%
3	51,285	48,124	3,161	6,16%
4	48,737	47,742	0,995	2,04%
5	52,865	50,007	2,858	5,41%
6	48,948	47,281	1,667	3,41%
7	51,830	49,010	2,820	5,44%
8	49,513	47,027	2,486	5,02%
9	55,151	54,312	0,839	1,52%
10	56,897	52,696	4,201	7,38%
11	50,228	49,296	0,932	1,86%
12	48,167	47,184	0,983	2,04%
13	49,742	45,780	3,962	7,97%
14	49,237	48,161	1,076	2,19%
15	53,441	48,875	4,566	8,54%

**Promedio= 4,31%**

Como se dijo antes, en la Tabla 49 se aprecian las diferencias porcentuales que representan en porcentaje la reducción de longitud, asumiendo las distancias totales actuales como el 100% y las distancias propuestas como una fracción del total vigente.

Asimismo, se puede ver que hay rutas que experimentan reducciones considerables así como otras donde la diferencia no es tan apreciable, pero que influyen determinantemente sobre el resultado final.

El promedio de reducción de las distancias que aportan las rutas mejoradas es **4.31%** sobre las distancias que actualmente estás en funcionamiento.

#### **4.8. Combustible utilizado por los camiones recolectores de residuos sólidos urbanos**

##### **4.8.1. Consumo con las rutas vigentes**

Bajo el esquema actual de recolección de residuos sólidos, la municipalidad otorga a cada unidad vehicular una cantidad nominal de combustible (diésel) de acuerdo a las rutas asignadas a dicho vehículo.

**Tabla 50. Consumo de combustible por mes bajo la situación vigente.**

Placa	Consumo por semana (gal)	Recargas por mes	Consumo por mes (gal)	Precio por galón* (S/)	Total por mes (S/)
EGB-059	90	4	360	12.59	4532.40
EGZ-263	105	4	420		5287.80
EGJ-956	80	4	320		4028.80
EGM-031	80	4	320		4028.80
EGM-630	70	4	280		3525.20
<b>Total=</b>			<b>1700</b>	<b>Total=</b>	<b>21403.00</b>

\* Precio de un galón de diésel al mes de diciembre de 2018.

En la Tabla 50, el consumo por semana en galones de diésel es una cantidad nominal asignada a cada camión recolector de residuos sólidos necesaria para cubrir completamente cada una de las rutas que le corresponde.

Entonces, en la situación actual de recolección de desechos se consumen 1700 galones de diésel mensualmente, lo que al precio indicado corresponde a un total de S/ 21403.00.

#### 4.8.2. Consumo con las propuestas de rutas

Vistos los resultados de la Tabla 47, la reducción de distancias implica que también hay menor consumo de combustible, lo cual se muestra a continuación.

**Tabla 51. Consumo de combustible por mes bajo la propuesta.**

Placa	Consumo por semana (gal)	Recargas por mes	Consumo por mes (gal)	Precio por galón (S/)	Total por mes (S/)
EGB-059	88	4	351	12.59	4422.03
EGZ-263	99	4	396		4986.80
EGJ-956	77	4	306		3853.30
EGM-031	78	4	314		3952.24
EGM-630	65	4	260		3274.10
<b>Total=</b>			<b>1627</b>	<b>Total=</b>	<b>20488.47</b>

El consumo de combustible por semana mostrado en la Tabla 51 corresponde a una estimación en función de los resultados hallados en la Tabla 46 y en la Tabla 47. Para efectos de cálculo se

ha supuesto el peor escenario posible: que el combustible se agota completamente al finalizar cada jornada de trabajo.

La propuesta de mejora desarrollada en esta investigación ha encontrado que se necesitarían 1627 galones de petróleo diésel por mes para que las cinco (05) unidades puedan cubrir todas las rutas; ello implicaría un costo mensual de S/ 20488.47.

#### 4.8.3. Comparación de resultados

Al comparar la Tabla 50 con la Tabla 51 se puede ver el impacto económico que significa la implementación de la propuesta de mejora —si es que se aplica—.

**Tabla 52. Diferencia del consumo de combustible entre la situación vigente y la propuesta.**

Placa	Consumo actual por mes (gal)	Consumo propuesta por mes (gal)	Actual – propuesta (gal)	Precio por galón (S/)	Total por mes (S/)
EGB-059	360	351	9	12.59	110.37
EGZ-263	420	396	24		301.00
EGJ-956	320	306	14		175.50
EGM-031	320	314	6		76.56
EGM-630	280	260	20		251.10
<b>Total=</b>			<b>73</b>		<b>914.53</b>

La cantidad total de galones de diésel y su costo respectivo que se muestra en la Tabla 52 representa un ajuste sobre las cantidades de combustible otorgadas actualmente a cada camión recolector para cubrir las rutas asignadas a dicha unidad motorizada. Bajo esa premisa y de acuerdo a las distancias recorridas presentadas en la Tabla 48, se tiene que habría una reducción de 73 galones de petróleo diésel, que representa un costo total de S/ 914.53. Estos valores equivalen, analíticamente, a la situación más desventajosa sobre la que se sustentan los resultados de este estudio, ya que se ha supuesto que los camiones consumen completamente su combustible al finalizar cada jornada de recolección de residuos sólidos.

Sin embargo, hay otra manera de ver el ahorro de combustible. De acuerdo a la misma Tabla 48 se sabe que en la propuesta hay una reducción en la distancia total acumulada mensual de 268.288 km respecto a la situación que se viene aplicando. Esa distancia, al precio del combustible al momento del desarrollo de esta tesis, equivale a un monto de S/ 3377.74, lo que representa el mejor escenario en cuanto a optimización de costos se refiere.

#### 4.9. Rendimiento

El rendimiento es la relación que existe entre la distancia que un vehículo motorizado puede recorrer y la cantidad de combustible que consume para recorrer esa distancia. Usualmente se expresa en kilómetros recorridos por cada litro de combustible (km/l). En un sentido más sencillo, un vehículo necesitará un litro de combustible para recorrer una distancia específica.

El rendimiento puede variar debido al peso, tamaño y estado del vehículo, tamaño del motor, condiciones topográficas y climáticas en las que se conduce, hábitos de manejo y otros.

Aunque hay muchos factores que no son susceptibles de control, hay algunos que sí se pueden regular; el primero de ellos es elegir un vehículo eficiente.

De esa forma, cuanto mayor sea el rendimiento, menor será el consumo de combustible y mayor será el ahorro de dinero.

##### 4.9.1. Rendimiento en función al consumo de combustible

Una vez calculados los resultados referentes a distancias recorridas (véase la Tabla 49) y consumo de combustible (véase la Tabla 52), es posible determinar de forma porcentual —ya se explicó por qué analizar los resultados en términos porcentuales en el ítem 4.7.4.— cuál es el incremento del rendimiento en función de las distancias actuales que definen a cada una de las 15 rutas de recolección de residuos sólidos establecidas por la municipalidad.

**Tabla 53. Incremento del rendimiento respecto a las distancias actuales por camión recolector de residuos sólidos.**

Placa	Distancia recorrida por mes (km)		Consumo nominal (gal)		Rendimiento último nominal (km/gal)		RSU nominal (tn/mes)	Incremento del rendimiento
	Actual	Propuesta	Actual	Propuesta	Actual	Propuesta		
EGB-059	1181,704	1152,928	360	351	3,283	3,364	192	2,50%
EGZ-263	1240,280	1169,680	420	396	2,953	3,131	264	6,04%
EGJ-956	1208,208	1155,576	320	306	3,776	3,948	192	4,55%
EGM-031	1225,000	1201,720	320	314	3,828	3,902	216	1,94%
EGM-630	1305,624	1212,624	280	260	4,663	5,021	144	7,67%
<b>Promedio=</b>							<b>144</b>	<b>4,54%</b>

En la Tabla 53 se puede apreciar el incremento del rendimiento de los camiones con respecto a la distancia acumulada total que recorren por mes y el consumo de combustible aplicando el mejoramiento de las rutas.





Se requiere aclarar que el consumo nominal de combustible de acuerdo a la propuesta ha sido estimado en función del recorrido vigente de las rutas y del recorrido propuesto, relacionado con el consumo nominal inicial establecido por las autoridades.

Otro detalle que debe explicarse es que el rendimiento nominal de los camiones aparenta ser demasiado bajo, ya que en condiciones convencionales un camión puede recorrer aproximadamente entre 10 a 15 km con un galón de diésel. Sin embargo, el caso de los camiones compactadores recolectores de residuos sólidos es diferente ya que ellos deben detenerse muchas veces en su trayectoria para acopiar los desechos y no se apaga el motor de los vehículos; debido a las detenciones y arranques se consume mucho más combustible y por ello el rendimiento nominal mostrado en la Tabla 53 es relativamente bajo, oscilando entre los 3 y 5 kilómetros por galón de combustible. Asimismo, cabe mencionar que el mecanismo compactador de los camiones genera un consumo adicional de combustible durante su operación.

También se puede ver que el camión EGM-630 experimentaría el mayor incremento en su rendimiento con las propuestas para las rutas que cubre (7.67%); el camión EGZ-263 también incrementa notablemente su rendimiento (6.04%). El vehículo recolector EGM-031 es el que menor incremento de rendimiento muestra con el mejoramiento de ruta respecto a la situación actual (1.94%), lo cual depende en gran medida de las características de las rutas asignadas a dicha unidad motorizada y de las características mecánicas de cada vehículo —el consumo nominal se define en función de la estructura del motor de cada camión—.

Finalmente, el promedio de incremento de rendimiento de todos los camiones recolectores de residuos sólidos recorriendo todas sus rutas, en términos porcentuales, es 4.54% sobre las condiciones de operación vigentes, lo que es lógico y concuerda con el 4.31% hallado para la reducción de longitudes recorridas con el modelo respecto a las rutas actuales (véase la Tabla 49) dado que la distancia recorrida está en proporción directa con el consumo de combustible.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### **¿Se logró alcanzar el objetivo general propuesto al inicio del trabajo de investigación?**

El objetivo general de esta tesis es desarrollar una propuesta para mejorar el servicio de recolección de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo, provincia de Cusco, en el año 2018, mediante la aplicación de la herramienta de programación lineal. De esa forma se desarrolló una metodología que permite optimizar o mejorar los flujos o recorridos de una determinada ruta o trayectoria. Los resultados mostrados en la Tabla 48 demuestran que con la propuesta de mejora de rutas de recolección de residuos sólidos hay una reducción en la distancia acumulada mensual total de 268.288 km respecto a la situación que actualmente se viene desarrollando. Asimismo, como la distancia es directamente proporcional al consumo de combustible, se puede ver que, de acuerdo a lo descrito en la Tabla 52, en el peor de los escenarios se produce un ahorro de 73 galones de combustible, lo cual equivale una reducción de S/ 914.53 respecto al presupuesto actual.

Así, también queda verificada la hipótesis general planteada al inicio del trabajo de investigación, la cual proponía que el sistema de recolección de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo podría mejorar a través de la aplicación de la herramienta de programación lineal.

#### **¿Los resultados del estudio se encuentran respaldados por los resultados de los trabajos de investigación citados como antecedentes?**

Tras arribar a los resultados finales, se comprobó que se obtuvieron resultados similares a los obtenidos por Pastas Lucero, Estefanía Jenny (2016) con el tema: *Diseño de un sistema de recolección de residuos sólidos en el Cantón Cayambe*, de la Universidad Central del Ecuador, el cual determinó que con las rutas de recolección eficientes se obtiene un 25% y 23% de disminución en la distancia total recorrida en los trabajos de recolección de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, respectivamente. En cuanto a la distancia total recorrida para coleccionar los residuos orgánicos e inorgánicos, el tiempo de recolección disminuyó en 6% y 15%, y el consumo de combustible en un 25% y 23% diariamente, respectivamente. Estos resultados se asemejan a los obtenidos en el trabajo de investigación desarrollado por los tesisistas.

**¿La diferencia de distancias totales entre la situación vigente y la propuesta es considerable? ¿Influirá en el presupuesto del área del servicio de limpieza pública que brinda la municipalidad?**

Si se observa la situación actual en la Tabla 46 y se compara con la propuesta de la Tabla 47 se puede ver que, en efecto, con la mejora hay reducciones de longitudes recorridas por cada camión recolector. Si se aprecia cada reducción de manera disgregada y aislada para cada unidad vehicular, y más aun viendo los resultados ruta por ruta, la disminución podría no ser considerable. Pero si se comparan los resultados totales y acumulados de cada situación, la actual y la propuesta, se puede ver que hay una reducción considerable sobre la distancia que actual mente se viene recorriendo para cubrir cada una de las rutas establecidas para la recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de San Jerónimo.

Lógicamente, la disminución de la distancia recorrida incidirá de manera directa en el presupuesto del área encargada de la recolección de los desechos del distrito ya que se necesitará menos combustible para recorrer una menor distancia. El dinero ahorrado podría destinarse a otras actividades que beneficien a la población.

**¿Los resultados encontrados representan una medida exacta de la situación real que se presenta cuando los camiones recolectores y el personal de limpieza pública cubren cada una de las rutas? ¿La propuesta de mejora será susceptible de imprevistos en la ruta?**

Los resultados encontrados no representan una medida exacta de la situación real actual del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de San Jerónimo.

Como ya se comentó antes, el recorrido usualmente se ve alterado en su recorrido y en su tiempo de ejecución por obstrucciones eventuales de vía, como material de construcción dispuesto en las aceras, vehículos estacionados o averiados en calles estrechas.

La propuesta de mejora también se vería alterada por dichos imprevistos, porque están fuera del control del encargado de prestar el servicio.

**¿Existe concordancia entre la disminución de longitudes recorridas y la disminución de consumo de combustible?**

Tras analizar los resultados obtenidos del modelamiento de rutas, sí existe concordancia entre la disminución de la distancia recorrida de acuerdo a la propuesta con respecto a la situación



actual (4.31%) y los valores del rendimiento en el consumo de combustible respecto a las longitudes acumuladas totales por mes vigentes (4.54%), expresados en términos porcentuales (véase la Tabla 48 y la Tabla 53). Esto se explica en la proporcionalidad directa que existe entre la distancia que recorre un vehículo automotor y su consumo de combustible.

### **¿Cuál es el principal aporte científico de esta investigación?**

Indiscutiblemente, el desarrollo de una metodología secuencial y ordenada en base a la herramienta de programación lineal para el modelamiento y mejoramiento del recorrido de las rutas de recolección de residuos sólidos es el principal y más importante aporte de carácter científico de este trabajo de investigación. Tras el análisis realizado durante la etapa de modelamiento se puede estudiar y analizar las distancias recorridas y el consumo de combustible de los camiones recolectores de desechos, es decir, el rendimiento de las unidades motorizadas.

## CONCLUSIONES

### Conclusión n.º 1

Con la propuesta de mejoramiento de rutas diseñado con la herramienta de programación lineal se logró mejorar el sistema de recolección de residuos sólidos en el distrito de San Jerónimo, - Cusco, 2018. Así, la Tabla 48 demuestra que con la propuesta se logró reducir en 268.288 km el recorrido total acumulado mensual de todas las rutas establecidas vigentes. Asimismo, la Tabla 52 demuestra que se logra un ahorro de 73 galones de combustible, lo cual supone un mínimo de S/ 914.53, que nominalmente podría llegar hasta S/ 3377.74 en condiciones totalmente favorables. Así se verifica la hipótesis general de la investigación que dice: «El sistema de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018, mejorará con la aplicación de la herramienta de programación lineal».

### Conclusión n.º 2

La situación actual del servicio de recolección de residuos sólidos que brinda la Municipalidad Distrital de San Jerónimo es inadecuada y desventajosa, ya que en la actualidad, para atender a las 15 diferentes rutas establecidas, se consumen 1700 galones de petróleo diésel por mes para recorrer una distancia acumulada total de 6160.816 km (véase la Tabla 48), a un costo total de S/ 21403.00 (véase la Tabla 52), lo cual puede ser mejorado con la propuesta.

### Conclusión n.º 3

Se ha estructurado una metodología de diseño con la herramienta de programación lineal, descrita en el ítem 4.5. que permite mejorar el sistema de recolección de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018, vigente ya que las labores de acopio de desechos urbanos podrían desarrollarse de una forma más metódica y organizada.

### Conclusión n.º 4

La metodología propuesta en el apartado 4.5. propone mejorar el rendimiento del servicio de recolección de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018, porque de acuerdo a la Tabla 48 la distancia acumulada total mensual disminuye a 5892.528 km, lo cual reduce el consumo de combustible a 1627 galones, a un costo de S/ 20488.47, como se describe en la Tabla 52.



Asimismo, de acuerdo a la Tabla 53 se tiene un incremento en el rendimiento, con las propuestas de mejoramiento de rutas, de 4.54% respecto a las condiciones de operación vigentes, lo cual concuerda con el 4.31% de la Tabla 49 referente a la disminución de distancias recorridas en la propuesta respecto a la situación actual de las rutas.

**RECOMENDACIONES****Recomendación n.º 1**

Se recomienda que se aplique la metodología desarrollada en este trabajo de investigación en futuros estudios y analizar las características y naturaleza de los residuos sólidos urbanos de acuerdo a su ubicación geográfica dentro de una jurisdicción.

**Recomendación n.º 2**

Es recomendable aplicar la metodología descrita en esta tesis en otras municipalidades, gobiernos locales e instituciones públicas y privadas cuyas competencias estén vinculadas a la recolección y disposición final de los residuos sólidos.

**Recomendación n.º 3**

Se recomienda estudiar el efecto de la cantidad de residuos sólidos que los camiones compactadores pueden acumular sobre el desarrollo de su recorrido sobre una ruta de recolección.

**Recomendación n.º 4**

Sería recomendable que se estudie el rendimiento efectivo de cada unidad vehicular recolectora de residuos sólidos en función de sus características mecánicas y de las condiciones de desarrollo de su recorrido por una o más rutas asignadas.

**Recomendación n.º 5**

Queda como recomendación relacionar las costumbres de la población sobre sus desechos con la productividad de los camiones compactadores y de qué manera influyen sobre el desarrollo de sus actividades de recolección de residuos sólidos.

**Recomendación n.º 6**

En cuanto a la situación actual de recolección de residuos sólidos, se recomienda a los responsables que procuren realizar un mantenimiento preventivo y no correctivo. En el caso de los municipios el encargado es el área de mantenimiento.



## BIBLIOGRAFÍA

- Dolly Tejada, B. (20007). *Administracion de servicios de alimentacion calidad, nutricion, productividad y beneficios*. Colombia: Univercidad de Antioquia.
- Fullana , P., & Puig, R. (1997). *Análisis del Ciclo de Vida*. Barcelona : Ed.Rubes .
- Hamdy , A. T. (2012). *Investigación de Operaciones*. Mexico: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Hamdy, A. T. (2012). *Investigación de Operaciones*. Mexico: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodologia de la Investigacion*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Lieberman, F. S. (2010). *Introducción a la investigación de Operaciones*. México: Mc GrawHill Educacion.
- Linares, P., Barquin, J., Ferrer, J., Sánchez, P., & Ramos, A. (2010). *Modelos Matemáticos de Optimización*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas, Madrid.
- Lopez Herrera, J. (2013). *+ productividad*. Estados Unidos.
- López Sánchez, A. (2015). *Teoría De Juegos Como Herramienta Para Evaluar El Impacto De Estrategias Promocionales Implementadas Por Una Empresa De Cadena De Restaurantes De Comida Rápida En La Ciudad Capital De Guatemala*. Guatemala: Universidad De San Carlos De Guatemala .
- López, A. D. (2015). *Teoría De Juegos Como Herramienta Para Evaluar El Impacto De Estrategias Promocionales Implementadas Por Una Empresa De Cadena De Restaurantes De Comida Rápida En La Ciudad Capital De Guatemala*. Guatemala: Universidad De San Carlos De Guatemala.
- Maynard, K. (2010). *Investigación de operaciones*. Lima: PUCP - Fondo Editorial .
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de Gestión Municipal Provincial*. Lima: Depósito Legal del Perú. *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*.
- Prawda, J. (2000). *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*. Ed. Limusa.
- Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J. M., Barquín, J., & Linares, P. (2010). *Modelos Matemáticos de Optimización*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas, Madrid.
- Rivera, S. (2003). *Gestión de residuos sólidos. Técnica, salud, ambiente y competencia*. Argentina: Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- SEMARNAT. (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. México: Secretaría de medio ambiente y recursos naturales.
- Taquía, J. A. (2013). *Optimización de rutas en una empresa de recojo de residuos sólidos*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.





Val , A. (2009). *La basura puede ser un tesoro*. Madrid.

Wikipedia. (20 de Diciembre de 2017). *Arco (geometría)*. Obtenido de Wikipedia.com:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Arco\\_\(geometr%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Arco_(geometr%C3%ADa))



**ANEXOS**



## A. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	DISEÑO METODOLÓGICO	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<b>Problema general</b>  ¿De qué manera puede mejorar el sistema de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018?	<b>Objetivo general</b>  Mejorar el Sistema de Recojo de Residuos Sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018 con la aplicación de la herramienta de programación lineal.	<b>Hipótesis general</b>  El Sistema de Recojo de Residuos Sólidos en el Distrito de San Jerónimo - Cusco 2018 mejorará con la aplicación de la herramienta de programación lineal.	Sistema de recojo	<b>Tipo de investigación</b> Investigación aplicada  <b>Alcance de la investigación</b> Descriptiva	<b>Población</b>  El distrito de San Jerónimo tiene un total de 9,532 familias  <b>Muestra</b>  Está constituida por 369 familias.	<b>Técnicas</b>  -Encuestas -Observaciones -Entrevistas -Revisión documental  <b>Instrumentos</b>  -Cuestionarios -Guía de entrevista -Guía documental -Ficha de recojo de datos -GPS Garmin Map 64s -Software Grafos
<b>Problemas específicos</b>  a) ¿Cuál es la situación actual del sistema de recojo de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de San Jerónimo – Cusco, 2018?  b) ¿Cómo se puede mejorar el proceso de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018?  c) ¿Cómo se puede mejorar el rendimiento del servicio de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018?	<b>Objetivos específicos</b>  a) Identificar la situación actual del sistema de recojo de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de San Jerónimo – Cusco, 2018.  b) Diseñar un sistema de recojo para mejorar el proceso de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018.  c) Diseñar un sistema de recojo para mejorar el rendimiento del servicio de recojo de residuos sólidos en el Distrito de San Jerónimo – Cusco, 2018.		- Procesos - Rendimiento	<b>Diseño de la investigación</b> No experimental  <b>Enfoque de investigación</b> Cuantitativa		

**B. Matriz del instrumento para la recolección de datos**

<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Fuente</b>	<b>Técnicas de recolección</b>	<b>Instrumentos de recolección</b>
<b>Sistema de recolección</b>	<b>Procesos</b>	- Sistema de recorrido	Primaria	Encuesta	Cuestionario
		- Número de vehículos	Primaria	Observación	Ficha de recolección de datos
		- Kilómetros de rutas	Primaria	Observación	Ficha de recolección de datos
		- Número de rutas	Primaria	Observación	Ficha de recolección de datos
	<b>Rendimiento</b>	- Uso de combustible	Segundaria	Revisión documental	Guía documental
		- Transporte	Segundaria	Revisión documental	Guía documental