Aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) para el diseño de rutas de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa, 2025.

por CHRISTOPHER JOHN GALLEGOS SANABRIA

Fecha de entrega: 16-oct-2026 11:53a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3061742861
Nombre del archivo: tesis_2024006092_20261016_114427_31b901e3-3b13-47b5-a453-efca09a01675.pdf (10.45M)
Total de palabras: 37796
Total de caracteres: 189373

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Maestría en Planificación y Gestión Ambiental

Aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) para el diseño de rutas de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa, 2025.

Tesis presentada por:

Gallegos Sanabria, Christopher John

ORCID: 0009-0009-2732-3196

Para optar el Grado Académico de Maestro en Planificación y Gestión Ambiental

Asesor:

Dr. Molina Rodríguez, Fredy Nicolás

ORCID: 0000-0002-9596-2530

Arequipa-Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESCUELA DE POSTGRADO

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 08 de Octubre del 2026

Dictamen: 018413-C-EPG-2026

Visto el borrador del expediente 018413, presentado por:

2024006092 - **GALLEGOS SANABRIA CHRISTOPHER JOHN**

Titulado:

APLICACIÓN DEL PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO (TSP) PARA EL DISEÑO DE RUTAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE, AREQUIPA, 2025.

Nuestro dictamen es:

APROBADO

29603068 - **DELGADO ALVARADO GUSTAVO ALONSO**
DICTAMINADOR

46769238 - **CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA**
DICTAMINADOR

29227646 - **BOCARDO DELGADO EDWIN FREDY**
DICTAMINADOR

Dedicatoria

Dedico esta investigación a Dios. A Él le debo la lección aprendida en aquel momento, una enseñanza que ningún éxito me habría brindado jamás, cada una de mis victorias le pertenece.

Y a mi madre, Maritza Sanabria, la persona que más ha confiado en toda mi vida y quien le da sentido a cada uno de mis esfuerzos. De ella aprendí que nada es imposible cuando existe la firme convicción de alcanzar nuestras metas, siempre manteniendo la humildad en el corazón. A ti madre, que celebras mis logros, pero también me rectificas en mis tropiezos, que me brindas tu apoyo incondicional y contagias a quienes te rodean con tu sonrisa. A veces me pregunto: ¿qué sería de mi vida sin ti? Todo se lo debo a ella. Su entrega, constancia y fe ciega en mí me impulsaron a culminar esta nueva etapa académica. Por eso, este logro es tuyo, yo solo soy el reflejo de tu esfuerzo.

Te amo mi madre querida con el alma.

Agradecimientos

A Dios, por su amor, su presencia constante y la fortaleza que me brindó para culminar este camino.

A mi madre y a mi padre, por la dicha de continuar juntos.

A mis hermanas y a mi querida Alanna tu alegría me recuerda la razón porque seguir.

Gracias a mis jurados de la maestría por sus valiosos aportes académicos y desarrollo en este proyecto.

La calma no tendría sentido si no conociéramos la tormenta, ni la libertad se valoraría plenamente sin la memoria de la cautividad. Quizá en ello radique el arte de vivir: comprender que la vida se asemeja tanto a una lucha como a una danza, en la que debemos aprender a avanzar, adaptarnos y mantenernos preparados para afrontar los acontecimientos, incluso aquellos que surgen de manera imprevista.

Resumen

La presente investigación propone un modelo de optimización de rutas basado en el Problema del Agente Viajero (TSP), mediante la formulación Miller–Tucker–Zemlin (MTZ) y programación en Python, con la finalidad de mejorar la eficiencia del sistema de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa. La investigación presenta un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y explicativo, y diseño no experimental. El diagnóstico situacional comprendió el análisis de las rutas operativas, tiempos de recorrido, distancias recorridas y recursos involucrados en la prestación del servicio. Para el desarrollo de la propuesta se realizó el macroruteo del sistema que consta de 9 rutas propuestas y posteriormente el microruteo mediante el TSP, empleando la formulación MTZ.

Los resultados proyectados muestran una reducción de la distancia recorrida semanal de 646.31 km a 523.12 km, equivalente a una disminución del 19.06 %. Asimismo, se proyecta una disminución del consumo de combustible de 5,125.22 a 4,148.36 galones anuales, y una disminución estimada de las emisiones de CO_2 de 9,973.74 kg al año, equivalente a aproximadamente 9.97 toneladas de CO_2 al año. Complementariamente, la evaluación económica, considerando un horizonte de evaluación de diez años y una Tasa Social de Descuento del 5 %, obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 106,212.57, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 5.73 % y una relación Beneficio/Costo (B/C) de 1.03, evidenciando la viabilidad económica potencial de la propuesta, es una alternativa para optimizar las rutas y mejorar la planificación de rutas del sistema de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre.

Palabras clave: Residuos sólidos, Optimización de rutas, Formulación MTZ.

Abstract

This research proposes a route optimization model based on the Traveling Salesman Problem (TSP), using the Miller–Tucker–Zemlin (MTZ) formulation, with the aim of improving the efficiency of the solid waste collection and transportation system in the district of Alto Selva Alegre, Arequipa. The study follows a quantitative approach, with descriptive and explanatory scopes and a non-experimental design. The situational diagnosis included an analysis of operational routes, travel times, distances traveled, and the resources involved in service provision. For the development of the proposal, a macro-routing process consisting of nine proposed routes was carried out, followed by micro-routing using the TSP and the MTZ formulation.

The projected results show a reduction in weekly travel distance from 646.31 km to 523.12 km, equivalent to a 19.06% decrease. Likewise, a decrease in fuel consumption from 5,125.22 to 4,148.36 gallons per year is projected, along with an estimated reduction in CO_2 emissions of 9,973.74 kg per year, equivalent to approximately 9.97 tons of CO_2 per year. Additionally, the economic evaluation, considering a ten-year evaluation horizon and a 5% Social Discount Rate, yielded a Net Present Value (NPV) of S/ 106,212.57, an Internal Rate of Return (IRR) of 5.73%, and a Benefit-Cost Ratio (B/C) of 1.03, demonstrating the potential economic viability of the proposal. Therefore, the proposed model represents an alternative for optimizing routes and improving the planning of the solid waste collection and transportation system in the district of Alto Selva Alegre.

Keywords: Solid waste, Route optimization, MTZ formulation.

Indice General

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen

Abstract

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

I. Planteamiento del Problema 2

1.1 Identificación del Problema 2

1.2 Descripción del Problema 2

1.3 Formulación del Problema 4

1.4 Objetivos de la Investigación 4

Objetivo General 4

Objetivos Específicos 4

1.5 Hipótesis 5

Hipótesis General 5

Hipótesis Específica 5

1.6 Variables 5

1.6.1 Variable Independiente 5

1.6.2 Variable Dependiente 6

1.7 Justificación de la Investigación 7
1.7.1 Justificación Social 7
1.7.2 Justificación Teórica 7
1.7.3 Justificación Económica 8
1.8 Limitaciones de la Investigación 8
CAPÍTULO II 9
II. Marco Teórico 9
2.1 Revisión de Antecedentes Investigativos 9
2.1.1 Antecedentes Internacionales 9
2.1.2 Antecedentes Nacionales 10
2.2 Estructura Teórica de la investigación 13
2.2.1 Gestión Integral de Residuos Sólidos 13
2.2.2 Sistema Municipal de Recolección y Transporte 15
2.2.3 Problema del Agente Viajero 18
2.2.4 Modelos de programación matemática en recolección de residuos sólidos .. 28
2.2.5 Herramientas de simulación en la gestión de residuos sólidos 30
2.3 Marco normativo peruano en gestión de residuos sólidos 31
CAPÍTULO III 32
III. MARCO METODOLÓGICO 32
3.1 Nivel de investigación 32

3.2 Diseño de investigación 32

3.3 Población y Muestra 32

3.3.1 Población 32

3.3.2 Muestra 33

3.4 Técnicas e Instrumentos 33

3.5 Procesamiento y análisis de datos 34

CAPÍTULO IV 36

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 36

4.1 Municipalidad Distrital Alto Selva Alegre 36

4.1.1 Descripción del distrito 36

4.1.2 Organigrama General de la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre 38

4.2 Análisis de los datos obtenidos 42

4.2.1 Población del distrito de Alto Selva Alegre 42

4.2.2 Generación de residuos (2024–2025) 46

4.2.3 Recorrido de rutas actuales 48

4.2.4 Rutas de recolección y frecuencia operativa 78

4.2.5 Personal por unidad 84

4.3 Diagnóstico del problema 85

4.4 Propuesta de mejora 86

4.4.1 Macroruteo del sistema de recolección 87

4.4.2 Microruteo mediante el Problema del Agente Viajero (TSP) 90

4.4.3 Formulación del modelo de optimización 91

4.4.4 Resultados y Escenarios de evaluación 93

4.5 Análisis costo y beneficio 108

4.5.1 Diagnóstico económico del sistema actual 108

4.5.2 Análisis técnico y económico de la propuesta 115

4.5.3 Comparativa del sistema actual y propuesto 119

4.5.4 Costos de implementación de la propuesta..... 124

4.5.5 Flujo económico del proyecto propuesto..... 128

4.5.6 Análisis de sensibilidad de la propuesta 135

4.6 Análisis del impacto ambiental estimado de la propuesta..... 138

4.6.1 Estimación de la reducción de emisiones de CO_2 139

CONCLUSIONES 141

RECOMENDACIONES 142

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 143

Índice de Tablas

Tabla 1 Operacionalización de Variables 6

Tabla 2 Instrumentalización de datos 34

Tabla 3 Recurso Humano de la SGL 40

Tabla 4 Evolución y proyección poblacional del distrito de Alto Selva Alegre 45

Tabla 5 Matriz de distancia correspondientes del sector 7 91

Tabla 6 Resultados Obtenidos 105

Tabla 7 Tabla comparativa de resultados 106

Tabla 8 Distancia Recorrida en la Distribución Actual 109

Tabla 9 Costo de Combustible Actual 110

Tabla 10 Tabla Costo de Mano de Obra Actual – Régimen 728 112

Tabla 11 Tabla Costo de Mano de Obra Actual – Régimen 276 113

Tabla 12 Costo de Mano de Obra Actual – CAS 114

Tabla 13 Costo Total de la Mano de Obra Actual Consolidado Anual 115

Tabla 14 Distancia recorrida en la Distribución Propuesta. 115

Tabla 15 Costo de Combustible Propuesta. 116

Tabla 16 Costo de mano de obra propuesto. 117

Tabla 17 Comparativa de la distancia Actual y Propuesto 119

Tabla 18 Comparación del costo de Combustible 120

Tabla 19 Comparativa de Costos de Mano de Obra 121

Tabla 20 Costo del Mantenimiento Actual 122

Tabla 21 Costo del Mantenimiento Propuesto 122

Tabla 22 Optimización Económica Anual 123

Tabla 23 Costo de la Implementación 124

Tabla 24 Costo de Prueba Piloto..... 124

Tabla 25 Costo de Reubicación de Contenedores..... 125

Tabla 26 Costos de Difusión y Capacitación 126

Tabla 27 Costo de Reposición de Maquinaria (Fase 1) 126

Tabla 28 Resumen de Inversión Total 127

Tabla 29 Flujo económico del proyecto propuesto 129

Tabla 30 Supuestos considerados para el análisis de sensibilidad 136

Tabla 31 Resultados evaluados 138

Tabla 32 Estimación de consumo de combustible y emisiones de CO2..... 139

Indice de Figuras

Figura 1 Organigrama de la municipalidad de Alto Selva Alegre 39

Figura 2 Habitantes registrados y proyección para 2033 45

Figura 3 Variación de promedios según la frecuencia de medición 46

Figura 4 Comparación de residuos sólidos entre periodos 2024 y 2025 47

Figura 5 Ruta de recolección “Rt 01 Asa” 49

Figura 6 Ruta de recolección “RT 02 Asa” 50

Figura 7 Ruta de recolección “RT 01 IND” 51

Figura 8 Ruta de recolección “RT 1.2 IND” 52

Figura 9 Ruta de recolección “RT 02 IND” 53

Figura 10 Ruta de recolección “RT 3.1 IND” 54

Figura 11 Ruta de recolección “RT 3 IND” 55

Figura 12 Ruta de recolección “RT 3 ASA PAM LUN” 56

Figura 13 Ruta de recolección “RT 3 ASA PAM LUN” 57

Figura 14 Ruta de recolección “RT 3 ASA PAM MIER” 58

Figura 15 Ruta de recolección “RT 3 ASA PAM VIE” 59

Figura 16 Ruta de recolección “RT 04 ASA” 60

Figura 17 Ruta de recolección “RT 04 – 1 ASA” 61

Figura 18 Ruta de recolección “RT 04 – 1 ASA” 62

Figura 19 Ruta de recolección “RT 06 IND ASA” 63

Figura 20 Ruta de recolección “RT 6.1 IND ASA” 64

Figura 21 Ruta de recolección “RT 6.1 IND ASA” 65

Figura 22 Ruta de recolección “RT CO L02” 66

Figura 23 Ruta de recolección “RT CO L03” 67

Figura 24 Ruta de recolección “RT CO L/M” 68

Figura 25 Ruta de recolección “RT CO MAR N1” 69

Figura 26 Ruta de recolección “RT CO MAR N2” 70

Figura 27 Ruta de recolección “RT CO Mie N1” 71

Figura 28 Ruta de recolección “RT CO Mie N3” 72

Figura 29 Ruta de recolección “RT CO Mie /Vie” 73

Figura 30 Ruta de recolección “RT CO Jue N1” 74

Figura 31 Rutas de recolección “RT CO Jue N2” 75

Figura 32 Ruta de recolección “RT CO Vie N1” 76

Figura 33 Ruta de recolección “RT CO Vie N2” 77

Figura 34 Indicadores de Ruta: Proyecciones Diaria, Trimestral y Bimestral 78

Figura 35 Distribución de la Flota de Recolección según Estado Operativo 79

Figura 36 Sectorización propuesta del sistema de recolección 89

Figura 37 Representación gráfica de la Ruta N° 1 optimizada 96

Figura 38 Representación gráfica de la Ruta N°2 optimizada 97

Figura 39 Representación gráfica de la Ruta N°3 optimizada 98

Figura 40 Representación gráfica de la Ruta N°4 optimizada 99

Figura 41 Representación gráfica de la Ruta N° 5 optimizada 100

Figura 42 Representación gráfica de la Ruta N° 6 optimizada 101

Figura 43 Representación gráfica de la Ruta N° 7 optimizada 102

Figura 44 Representación gráfica de la Ruta N° 8 optimizada 103

Figura 45 Representación gráfica de la Ruta N° 9 optimizada 104

Índice de Anexos

ANEXO 1 Ficha de Recolección Actual – MDASA 150

ANEXO 2 Ficha de Evaluación del Servicio – MDASA 151

ANEXO 3 Ficha de Regularidad de Recolección por Ruta..... 152

ANEXO 4 Matriz de programación operativa y periodicidad semanales..... 155

ANEXO 5 Matriz de distancias por sectores propuestos 157

ANEXO 6 Modelo TSP con Restricciones MTZ en Python. 169

ANEXO 7 Estructura Presupuestal de la Subgerencia encargada EP-LPRS..... 174

ANEXO 8 Plano de Trazado de Alto Selva Alegre..... 176

ANEXO 9 Tabla de relación de conductores..... 177

ANEXO 10 Tabla de Operadores de Recolección 2025..... 178

ANEXO 11 Situación Operativa de los camiones recolectores..... 179

ANEXO 12 Resolución de Gerencia de Desarrollo Urbano N.° 002-2026-GDU/MDP. 180

ANEXO 13 Subasta Pública N° 002-2020/MM de la MD de Miraflores 181

ANEXO 14 Coordenadas Geográficas de los contenedores propuestos. 182

ANEXO 15 Fotografías de la validación en campo de las rutas de recolección. 188

ANEXO 16 Fichas de Validación de los instrumentos de investigación..... 193

ANEXO 17 Censo Nacional 2017, información del distrito de Alto Selva Alegre..... 196

ANEXO 18 Censo Nacional 2025, información del distrito de Alto Selva Alegre..... 197

INTRODUCCIÓN

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2026), la región Arequipa representó aproximadamente el 5,9 % del Producto Bruto Interno (PBI) nacional en 2025. Además, su declaratoria como Patrimonio Cultural de la Humanidad ha potenciado el desarrollo de sus principales actividades económicas: agricultura, pesca, turismo, minería, manufactura e industria, pilares que la consolidan como una región estratégica para el país.

Según Futuri Moscoso y Medina Loaiza (2018), Arequipa cuenta con estribaciones de la cordillera donde se ubican las quebradas más importantes de la ciudad. Durante la temporada de lluvias, estas se activan de manera natural, generando riesgos por el mal uso del suelo, la invasión de cauces y la disposición inadecuada de residuos sólidos. Esto representa un peligro latente para la población asentada en zonas vulnerables, agravado por el crecimiento urbano acelerado. En el marco de la gestión ambiental, es inminente reconocer que constituye un desafío que en la actualidad y a futuro se agudizará como uno de los más urgentes que enfrenta la ciudad.

El distrito de Selva Alegre, ubicado en Arequipa, se caracteriza por su topografía accidentada y con pendiente, con quebradas que comparte con distritos aledaños: al oeste con Miraflores y al este con Cayma. Entre las principales quebradas destacan San Lázaro, El Pato y Huaranguero, las cuales presentan riesgos asociados a las activaciones pluviales, la invasión de cauces y la acumulación de residuos sólidos cerca de las riberas, lo que genera obstrucciones en el flujo natural del agua.

CAPÍTULO I

I. Planteamiento del Problema

1.1 Identificación del Problema

Las incidencias reportadas a la municipalidad mediante las quejas vecinales, relacionadas con la recolección y transporte de residuos sólidos, evidencian inconvenientes en la planificación del servicio, lo que genera mayores tiempos operativos, recorridos innecesarios y un uso ineficiente de los recursos. Por ello, como método de optimización de rutas, se plantea la aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) para el diseño de nuevos recorridos que permitan reducir la distancia y el tiempo de traslado de las unidades de recolección. Asimismo, a partir de los datos de distancia recorrida, se podrá estimar la posible variación en el consumo de combustible y las emisiones de CO_2.

1.2 Descripción del Problema

Mediante observación directa, se ha identificado que el sistema de recolección de residuos sólidos en el distrito de estudio enfrenta dificultades derivadas del relieve irregular y la expansión urbana. La eficiencia del servicio no es uniforme: mientras las zonas céntricas presentan una recolección más organizada, en las áreas periféricas, pueblos jóvenes y asentamientos humanos se observan retrasos y acumulación de residuos. Esta situación evidencia la necesidad de mejorar la planificación de rutas para optimizar tiempos, recursos y la calidad del servicio.

A nivel provincial, desde el año 2008, las municipalidades de Arequipa acordaron disponer los residuos sólidos en el relleno sanitario de Quebrada Honda, ubicada en el distrito de Yura. Según la Municipalidad Provincial de Arequipa (2025), esta infraestructura recibe más de 900 toneladas de residuos sólidos diaria mente, lo que evidencia la magnitud de las operaciones de transporte y disposición final de residuos en la provincia. La distancia y el alto costo del transporte

representan un gasto considerable, más aún considerando que el Perú mantiene uno de los precios de combustible más elevados de la región, ocupando el segundo puesto, solo detrás de Uruguay.

Para entender la complejidad de la gestión en el distrito, es importante considerar la magnitud de la carga. Según Cuadros Torreblanca (2023), la generación de residuos proyectada supera las 18,000 toneladas anuales. Esta cifra no es solo un dato estadístico, sino que representa la presión operativa sobre el sistema de recolección actual, el cual debe movilizar diariamente toneladas de residuos bajo una estructura de rutas que, de no estar optimizada, puede generar costos excesivos e ineficiencia logística.

La problemática también se manifiesta en la acumulación de desechos durante las celebraciones de diciembre de 2024, demostrando las dificultades en la gestión. En aquella ocasión, la ciudad de Arequipa generó aproximadamente quince toneladas de residuos sólidos solo en el centro histórico, lo que obligó a la Municipalidad Provincial a ejecutar un operativo especial de limpieza. A nivel distrital, la Municipalidad de Alto Selva Alegre intervino una vivienda ubicada en la calle Angamos, donde se acumulaba gran cantidad de basura tanto en su interior como en la vía pública, generando contaminación y presencia de roedores. Casos como estos evidencian la necesidad de fortalecer la gestión ambiental, la concientización y la mejora de los sistemas de recolección para prevenir riesgos sanitarios y mejorar el ornato urbano.

En respuesta a esta problemática, la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre ha venido implementando programas ambientales, entre ellos el “Ecotrueque Ambiental”, que consiste en el intercambio de residuos reciclables por productos ecológicos como compost, escobas o árboles frutales. Asimismo, se realizó el reemplazo de 500 contenedores de basura en todo el distrito, con el objetivo de modernizar la infraestructura de limpieza pública y fomentar la segregación en la

fuente. Estas iniciativas se encuentran en proceso de evaluación y su éxito depende directamente de la participación ciudadana.

Frente a la realidad descrita, y considerando las visitas a la municipalidad, el acompañamiento y las conversaciones con los operadores vinculados al servicio de recolección, se identifica que no existe un diseño especializado orientado a la optimización del transporte entre los puntos de recolección. Esta situación genera mayores tiempos de recorrido, incrementos en las distancias y un mayor consumo de combustible.

Por ello, surge la necesidad de aplicar el Problema del Agente Viajero (TSP) como herramienta para el diseño de rutas de recolección y transporte de residuos sólidos, buscando determinar rutas que permitan optimizar las distancias y los tiempos de recorrido.

1.3 Formulación del Problema

¿De qué manera la aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) permite diseñar rutas de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa, 2025?

1.4 Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Aplicar el Problema del Agente Viajero (TSP) para el diseño de rutas de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa, 2025.

Objetivos Específicos

OE 1: Diagnosticar la situación actual del sistema de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre.

OE 2: Diseñar rutas de recolección y transporte de residuos sólidos mediante la aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP).

OE 3: Analizar el impacto ambiental de la propuesta mediante la estimación de la reducción de emisiones y consumo de combustible.

OE 4: Evaluar económicamente el costo beneficio frente al modelo propuesto

1.5 Hipótesis

Hipótesis General

La aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) mejora la eficiencia de las rutas de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre.

Hipótesis Específica

H.E 1: El diagnóstico del sistema actual permite identificar deficiencias operativas en las rutas de recolección y transporte de residuos sólidos.

H.E 2: La aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) permite diseñar rutas optimizadas para la recolección y transporte de residuos sólidos.

H.E 3: La posible aplicación generará reducción de costos en el sistema de operaciones de recolección.

H.E 4: El modelamiento del TSP favorecerá en la gestión ambiental de las emisiones de gases contaminantes.

1.6 Variables

1.6.1 *Variable Independiente*

Aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP)

1.6.2 *Variable Dependiente*

Eficiencia en el diseño de rutas de recolección y transporte.

A continuación, en la Tabla N°1, se identifican las variables, dimensiones e indicadores que se utilizaran a lo largo del presente estudio.

Tabla 1

Operacionalización de Variables

Tipo de variable	Nombre de la variable	Dimensión	Indicadores	Escala de medición	Unidad	Instrumento / Fuente
Variable independiente	Modelamiento del Problema del Agente Viajero (TSP)	Optimización de rutas	Número de rutas optimizadas, distancia total, tiempo de recorrido, orden de recolección	Cuantitativa	Cantidad / Km / Minutos	Formulación matemática / Modelamiento TSP
Variable dependiente	Eficiencia operativa	Operativa	Tiempo de recolección, distancia recorrida, número de trabajadores y utilización de vehículos	Cuantitativa	Horas / km / cantidad	Observación directa, fichas de registro y reportes municipales
	Eficiencia económica	Económica	Costos de combustible, mano de obra, mantenimiento, VAN, TIR y relación B/C	Cuantitativa	Soles / % / índice	Reportes municipales, análisis de costos y flujo económico proyectado
	Eficiencia ambiental	Ambiental	Consumo estimado de combustible, emisiones estimadas de CO_2 y reducción de kilómetros recorridos	Cuantitativa	Galones / kg CO_2 / km	Registros de distancias, factor de consumo y cálculos matemáticos estimados

Nota: Elaboración Propia

1.7 Justificación de la Investigación

1.7.1 *Justificación Social*

La gestión adecuada de los residuos sólidos es un componente clave para mejorar la calidad de vida de los habitantes de cualquier distrito. La recolección eficiente de residuos contribuye a la salud pública y al bienestar de la población, reduciendo la exposición a enfermedades causadas por la acumulación de basura y mejorando las condiciones ambientales del área. En el caso del distrito Alto Selva Alegre, la optimización de las rutas no solo mejoraría la eficiencia del servicio, sino que también contribuiría a un entorno más limpio y saludable, beneficiando directamente a los ciudadanos. Además, la implementación de un modelo más eficiente puede aumentar la satisfacción ciudadana con los servicios públicos, al reducir la frecuencia de quejas y mejorar la puntualidad y cobertura del servicio de recolección. La justificación de aplicar el Problema del Agente Viajero (TSP) radica en la densidad de generación reportada (0.556 kg/hab/día). Un volumen de esta naturaleza requiere una precisión matemática en el diseño de microrutas para asegurar que la capacidad de las unidades de transporte sea aprovechada al máximo, evitando recorridos en vacío o saturación de los contenedores antes de completar la jornada.

1.7.2 *Justificación Teórica*

El estudio de la optimización de rutas en la recolección y transporte de residuos sólidos en contextos urbanos es un tema relevante y de actualidad en la gestión ambiental urbana. Si bien existen investigaciones previas que abordan problemas similares, muchos de estos estudios se centran en contextos diferentes al de Arequipa, especialmente en distritos con características similares al distrito de Alto Selva Alegre. Este trabajo contribuye al cuerpo académico al aplicar modelos de optimización en la gestión de residuos sólidos en un contexto específico, proporcionando datos y resultados que pueden servir como base para futuras investigaciones.

Asimismo , el uso de programación matemática y simulación de sistemas en este ámbito es relativamente nuevo, lo que representa una oportunidad para incorporar nuevas metodologías al campo de estudio.

1.7.3 *Justificación Económica*

Según la información proporcionada por la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre, se destina un presupuesto anual de S/ 3,835,054.00 para la prestación del servicio de recolección y transporte de residuos sólidos, cuyo detalle se presenta en el Anexo 7. Frente a este nivel de inversión pública, resulta indispensable implementar herramientas que permitan optimizar el uso de dichos recursos. En ese sentido, la aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) permitirá proponer rutas optimizadas que reduzcan las distancias recorridas, el consumo de combustible y los costos operativos asociados al servicio. Esta reducción proyectada de costos beneficiaría tanto a la administración municipal como a los ciudadanos, ya que podría liberar recursos para otros servicios esenciales, promoviendo una gestión más eficiente del presupuesto público.

1.8 Limitaciones de la Investigación

1. Se desarrolló sobre la base de información proporcionada por la Municipalidad, depende de la calidad de los datos, a pesar de que son actualizados.
2. El diseño de rutas se basó en la utilización de la herramienta SIG Google Maps debido a su constante actualización y a que no se disponía de dispositivos GPS. En tal sentido, esta cartografía digital proporciona la información espacial necesaria para la optimización del sistema.
3. Para el diseño de las rutas si se realizó en la presencia en zonas con pendientes resaltantes y vías sin pavimentar, pero la evaluación ambiental fue de forma matemática y no directa.

CAPÍTULO II

II. Marco Teórico

2.1 Revisión de Antecedentes Investigativos

Para realizar una adecuada fundamentación para la investigación se buscó y se tomó las siguientes referencias cuya finalidad es dar a conocer como antecedentes, extraído de tesis internacionales, nacionales, artículos científicos y entre otros.

2.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Por su parte Cusco Tenesaca y Picón Aguirre (2015) "*Optimización de rutas de recolección de desechos sólidos domiciliarios mediante uso de herramientas SIG*" desarrollaron un estudio en Cuenca, Ecuador, con el objetivo de optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos municipales mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La investigación utilizó información del parque automotor, la red vial y las condiciones operativas de la empresa municipal EMAC EP, aplicando metodologías técnicas para la generación de rutas óptimas. Los resultados demostraron que la aplicación de los SIG permitió reducir los costos operativos de recolección, mejorar la calidad del servicio a los usuarios y disminuir las emisiones contaminantes, gracias a la reducción de las distancias y tiempos de recorrido de los camiones recolectores.

En Reynosa, México se desarrolló una investigación titulada "*Aplicación automatizada para la optimización y medición del sistema integral de recolección de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Reynosa*", el autor Montalvo Hernández (2021) tuvo como propósito optimizar y medir la eficiencia del sistema integral de recolección de residuos sólidos urbanos mediante el desarrollo de una aplicación automatizada. El estudio empleó herramientas computacionales y metodologías orientadas a la ejecución ordenada y supervisada de las rutas de recolección. El

modelo propuesto permitió integrar distintos componentes del sistema como redes de comunicación, software de desarrollo, dispositivos móviles y camiones recolectores para generar información en tiempo real y evaluar la eficiencia operativa. Las pruebas realizadas en la colonia Villa Esmeralda demostraron que la aplicación permitió asignar grupos de colonias, calendarizar recorridos y visualizar rutas óptimas, mejorando el control y la supervisión de las actividades de recolección, concluye que el uso de herramientas tecnológicas y de automatización contribuye significativamente a la eficiencia operativa, la reducción de tiempos y la mejora en la planificación de rutas, fortaleciendo la gestión municipal del servicio de limpieza pública.

2.1.2 *Antecedentes Nacionales*

Para Alvarado Prado y Cabrera Tocas (2020) "*Optimización de rutas para la recolección de residuos sólidos municipales utilizando herramienta SIG en el distrito de Caleta de Carquín*" analizaron el diseño de un esquema optimizado de rutas para la recolección de residuos sólidos municipales en el distrito de Caleta de Carquín, utilizando herramientas SIG, específicamente Network Analyst de ArcGIS. La metodología utilizada es de tipo experimental y cuantitativa, basada en la recopilación y análisis de datos, con el fin de establecer las mejores rutas de recolección. Los resultados obtenidos muestran que la optimización de rutas permite reducir los costos operativos de recolección, al mismo tiempo que mejora el servicio a los usuarios al acortar los viajes de los camiones recolectores. La investigación concluye que el uso de la herramienta SIG es eficaz para diseñar rutas optimizadas, minimizando el costo de operación, la distancia recorrida y el tiempo de transporte, maximizando así los beneficios para el distrito.

La investigación propuesta por Rivera Rodríguez (2019), "*Propuesta de rutas optimizadas para el recojo de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Jauja en el año 2018*" se centra en el diseño de rutas optimizadas para la recolección de residuos sólidos domiciliarios, utilizando

el modelo matemático del Agente Viajero (TSP). A través del software Lingo, el estudio busca determinar las rutas más eficientes, con el objetivo de reducir la distancia total recorrida y el tiempo de recolección. Los resultados muestran una reducción significativa en los costos operativos, logrando un ahorro anual de S/ 32,718.13 en combustible. La investigación concluye que el uso del método del Agente Viajero es altamente efectivo para optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos, mejorando la eficiencia del sistema y reduciendo el impacto económico de la operación.

A su vez, Acosta Catacora (2020), en su investigación titulada *Propuesta de un modelo de optimización de rutas para mejorar la eficiencia de la recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Ilo*, en su investigación tiene como objetivo proponer un modelo de optimización de rutas para mejorar la eficiencia de la recolección de residuos sólidos en el distrito de Ilo, utilizando el modelo matemático del problema del agente viajero. El estudio es descriptivo y propositivo, ya que describe la situación actual del sistema de recolección y transporte de residuos sólidos y sugiere un modelo optimizado. La investigación, de diseño no experimental, utiliza datos directos de la unidad de análisis. La implementación del modelo optimizado resulta en una reducción significativa de costos, con un ahorro anual de S/491,793.47. Además, se calcula un VAN de S/1,674,373.87 en un periodo de 10 años, con una inversión inicial de S/2,042,350.00, una TIR del 25.04%, y un periodo de recuperación de 3 años, 1 mes y 28 días. Finalmente, la ratio de costo-beneficio es de 1.819.

La investigación de Murillo Quispe (2023) "*Modelo de gestión de residuos sólidos basado en programación binaria y simulación para reducir el lead time, caso: Municipalidad de José Luis Bustamante y Rivero*". El estudio aborda los problemas que enfrenta la municipalidad mencionada de Arequipa en la gestión de residuos sólidos urbanos, como las trayectorias recorridas por los

vehículos recolectores, las frecuencias de recolección inadecuadas, y la ubicación de rellenos sanitarios distantes. El objetivo del estudio es optimizar las trayectorias de los recolectores, mejorar las frecuencias de recolección e incrementar la capacidad operativa de los vehículos. Para ello, se propone un modelo de gestión basado en programación binaria y simulación, lo que permite encontrar trayectorias más eficientes y evaluar escenarios de mejora en los tiempos del sistema. Los resultados obtenidos muestran una significativa reducción del Lead Time en los procesos de gestión de residuos sólidos, aplicados a un caso real del distrito de José Luis Bustamante y Rivero, lo que demuestra la efectividad de los modelos matemáticos y la simulación en la toma de decisiones municipales.

Por su parte Marroquín Ortega (2023), en su estudio *"Propuesta de un modelo de optimización de rutas para mejorar la eficiencia del servicio de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Mariano Melgar, Arequipa"*. Propone un modelo de optimización de rutas para mejorar la eficiencia de la recolección de residuos sólidos en el distrito de Mariano Melgar, Arequipa, utilizando el modelo matemático del problema del agente viajero de recorrido abierto. El estudio es explicativo y propositivo, ya que describe la situación actual del sistema de recolección y transporte de residuos sólidos, y luego sugiere un modelo optimizado para mejorar las rutas. La investigación, de diseño no experimental, proporciona datos directos sobre la unidad de análisis. Se concluye que la implementación del modelo optimizado resulta en una reducción de costos, con un ahorro anual estimado de S/672,395.5. Además, se calcula un VAN de S/3,621,190.9 en un periodo de 10 años, con una inversión inicial de S/1,515,700.00, una TIR del 65.89%, y un periodo de recuperación de 1 año y 3 meses. Finalmente, se obtuvo una ratio costo-beneficio de 3.39.

2.2 Estructura Teórica de la investigación

Para tener una base de conceptos y fundamentos para el entendimiento adecuado y necesario a lo largo de la presente investigación, son explicadas las siguientes bases teóricas.

2.2.1 *Gestión Integral de Residuos Sólidos*

Los residuos sólidos comprenden una amplia gama de desechos generados por las actividades humanas cotidianas, incluyendo envases, restos de alimentos, papel, plásticos, entre otros. La forma en que se gestionan estos residuos tiene un impacto significativo en el medio ambiente y la salud pública. Una gestión inadecuada puede conducir a la contaminación del suelo, agua y aire, así como a la propagación de enfermedades. La gestión responsable y sostenible de los residuos sólidos implica su recolección, transporte, tratamiento y disposición final de manera que se minimicen los efectos negativos sobre el entorno. Este enfoque no solo previene la contaminación y protege los ecosistemas, sino que también contribuye al desarrollo de comunidades más saludables y sostenibles. Además, promueve la conservación de recursos naturales mediante prácticas como la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, alineándose con los principios de la economía circular. La gestión integral de residuos sólidos requiere estrategias orientadas a reducir la generación de desechos, fomentar el reciclaje y fortalecer los mecanismos de recuperación de materiales. Almansour y Akrami (2024) destacan que las iniciativas de reducción de residuos y economía circular contribuyen a disminuir la dependencia de los sistemas convencionales de disposición final, favoreciendo una gestión ambiental más sostenible.

La integración de sistemas de gestión de transporte (TMS) con tecnologías de información permite mejorar la planificación, el seguimiento y el control de las operaciones logísticas. Webtrack (2024) describe estas herramientas como mecanismos para fortalecer la visibilidad de

las operaciones y facilitar una gestión más eficiente de los recursos de transporte.

2.2.1.1 Gestión integral de residuos en las empresas: hacia la Economía Circular

TMA Tecnología Medio Ambiente (2024) señala que la gestión sostenible de residuos debe orientarse hacia los principios de la economía circular, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la transformación de los residuos en recursos aprovechables. Este enfoque permite reducir la demanda de materias primas, disminuir los impactos ambientales y favorecer el aprovechamiento de los materiales durante su ciclo de vida. Desde esta perspectiva, una adecuada gestión integral de residuos en las empresas no solo permite el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, sino que también contribuye a la mejora de la eficiencia operativa, la reducción de costos, la protección de la salud pública y la disminución de los impactos negativos sobre el medio ambiente, fortaleciendo así la sostenibilidad organizacional.

2.2.1.2 Gestión integral de residuos sólidos en el ámbito municipal

De manera similar, Acosta Catacora (2020) sostiene que la gestión integral de residuos sólidos debe abordarse desde un enfoque sistémico, en el cual la recolección y el transporte se articulen con criterios técnicos que permitan optimizar recursos humanos, materiales y financieros. En su estudio aplicado al distrito de Ilo, se evidencia que la ausencia de herramientas de planificación y análisis en el diseño de rutas limita la capacidad de los municipios para brindar un servicio eficiente y continuo, resaltando la necesidad de incorporar modelos de optimización en la gestión municipal.

2.2.2 *Sistema Municipal de Recolección y Transporte*

2.2.2.1 Frecuencia de recolección y densidad poblacional

La densidad poblacional y la frecuencia de recolección son factores determinantes en el diseño de rutas de recolección de residuos. Castro Berrios y Gonzales Pumacayo (2022) mostraron que la planificación de rutas en la localidad de Huarín mediante SIG permitió adecuar la frecuencia de recolección según la densidad de generación de residuos, logrando cobertura completa y evitando desbordes en áreas más pobladas. Una correcta evaluación de la densidad poblacional y de la frecuencia de servicio asegura la eficiencia de las rutas y la satisfacción del servicio al reducir retrasos y acumulación de residuos.

2.2.2.2 Cálculo del requerimiento de vehículos

El dimensionamiento de la flota vehicular es un componente esencial en la planificación del sistema de recolección de residuos sólidos municipales, ya que permite determinar el número mínimo de unidades necesarias para cubrir la demanda generada por la población atendida, considerando restricciones operativas y de capacidad. Este cálculo se fundamenta en la relación entre la generación per cápita de residuos, la población servida, la frecuencia de recolección y la capacidad útil de los vehículos (Calderón, 2019).

Una expresión utilizada en estudios técnicos para estimar el número de vehículos requeridos es la siguiente:

$$Nv = \frac{G \times P \times 7 \times Fr \times K}{N \times C \times Dh}$$

Nv= número de vehículos requeridos

G = generación per cápita de residuos (kg/hab/día)

P = población atendida

Fr = factor de reserva o disponibilidad mecánica

Fk = factor de cobertura del servicio

N = número de viajes por jornada

C = capacidad útil del vehículo (kg/viaje)

dh = número de días hábiles de operación

Esta formulación permite estimar el tamaño de la flota en función de la demanda semanal de residuos y la capacidad efectiva de transporte del sistema, incorporando factores de ajuste por mantenimiento y cobertura territorial (Calderón, 2019).

Desde un enfoque más avanzado, el cálculo del número de vehículos puede integrarse dentro de modelos matemáticos de optimización como el Vehicle Routing Problem (VRP), donde el tamaño de la flota puede considerarse una variable de decisión. En estos modelos, el objetivo no solo es minimizar la distancia o el tiempo total recorrido, sino también reducir el número de vehículos utilizados, sujeto a restricciones de capacidad y demanda (Toth & Vigo, 2014). Este enfoque permite mejorar la eficiencia operativa y disminuir los costos asociados al sistema de recolección.

2.2.2.3 Factor de Cobertura Fk requerimiento de vehículos

Urbay Paz (2023), en su investigación sobre la eficiencia técnica del servicio de recolección de residuos sólidos en la provincia de Lima, aborda la importancia de los recursos operativos en el desempeño del sistema de recolección. En este contexto, la disponibilidad de unidades vehiculares, su capacidad de carga, la cantidad de residuos generados y la frecuencia de recolección constituyen factores relevantes para la eficiencia del servicio. Si bien el autor no

establece un valor específico para el factor de reserva, su investigación sirve como antecedente para comprender la importancia de considerar la disponibilidad de recursos vehiculares durante la planificación operativa. En ese sentido, la incorporación de un factor de reserva constituye un criterio de dimensionamiento que permite prever posibles contingencias, como fallas mecánicas, mantenimiento e indisponibilidad temporal de las unidades, contribuyendo a la continuidad del servicio de recolección de residuos sólidos.

2.2.2.4 Factor de Reserva Fr requerimiento de vehículos

En la práctica, la recolección de residuos nunca trabaja con valores exactos, los volúmenes cambian de manera diaria, los camiones no siempre mantienen su rendimiento ideal y el tiempo en ruta dependen del tráfico, paraderos imprevistos o incluso fallas mecánicas. Por eso, en los estudios recientes de gestión de residuos se insiste en que el cálculo de la flota debe incorporar un margen adicional que permita enfrentar acontecimientos imprevistos que ocasionen fallas.

El autor Torres Gurrola (2015), en un análisis realizado en Querétaro, señala que el volumen diario puede presentar variaciones considerables, por lo que recomienda considerar reservas de entre el 30 % y el 40 % para evitar interrupciones en el servicio ante posibles imprevistos. Por su parte, Calderón Contreras (2019) sostiene que los modelos que no incorporan un factor de reserva de entre 1,07 y 1,20 pueden subestimar la cantidad de vehículos necesarios para garantizar la continuidad del servicio, especialmente cuando existen variaciones en la demanda y limitaciones operativas. Asimismo, señala que la determinación de este factor debe considerar el estado de conservación, la antigüedad promedio y las condiciones de mantenimiento de la flota vehicular.

2.2.3 *Problema del Agente Viajero*

El Problema del Agente Viajero, o *Travelling Salesman Problem* (TSP), es uno de los problemas de optimización más estudiados en el campo de la ciencia de la computación. No se tiene total claridad sobre el momento exacto en que fue formulado por primera vez; sin embargo, se reconoce que los primeros estudios formales sobre este problema datan aproximadamente de la década de 1940. El TSP busca resolver la siguiente cuestión: dada una lista de ciudades y las distancias entre cada par de ellas, determinar la ruta más corta posible que permita a un vendedor visitar cada ciudad exactamente una vez y regresar finalmente a la ciudad de origen (Giraldo Botero, 2021).

Según Gracia et al. (2015), el Problema del Agente Viajero (TSP) puede formularse matemáticamente mediante programación lineal entera, utilizando variables binarias (x_{ij}), que toman el valor de 1 cuando se selecciona el arco que conecta los nodos (i) y (j), y 0 en caso contrario. Sin embargo, a medida que aumenta el número de ciudades o nodos, también se incrementa la complejidad combinatoria del problema, lo que dificulta encontrar la solución óptima global mediante métodos exactos.

En 1960, Miller, Tucker y Zemlin propusieron una formulación en programación entera para el Problema del Agente Viajero, representando uno de los modelos más influyentes en la literatura de optimización combinatoria. Los autores demostraron que el TSP puede expresarse como un problema de programación lineal entera, donde las variables binarias indican si el vendedor viaja directamente de una ciudad i a una ciudad j.

El problema consiste en que un vendedor debe partir de una ciudad base (indexada como 0), visitar cada una de las n ciudades exactamente una vez y retornar a la ciudad de origen,

minimizando la distancia total recorrida. La formulación propuesta incorpora restricciones que garantizan:

1. Que cada ciudad sea visitada exactamente una vez.
2. Que el vendedor regrese a la ciudad base.
3. La eliminación de subtours mediante variables auxiliares u_i, las cuales actúan como potenciales de nodo y permiten imponer un orden lógico de visita.

   La función objetivo del modelo minimiza la suma de las distancias recorridas:

$$\min \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} d_{ij}\, x_{ij}$$

Sujeto a:

- Restricciones de entrada y salida única por nodo.
- Restricciones de eliminación de subtours del tipo:

$$u_i - u_j + p x_{ij} \leq p - 1$$

Estas desigualdades impiden la formación de ciclos que no incluyan la ciudad origen, asegurando que la solución represente una ruta válida.

Los autores señalaron que esta formulación es eficiente en términos de número de variables y restricciones, y constituye una representación compacta del problema en términos de programación entera. Este modelo, conocido posteriormente como formulación MTZ, se convirtió en una de las estructuras más utilizadas para resolver el TSP mediante métodos exactos.

El Problema del Agente Viajero pertenece a la clase de problemas NP-duros (NP-Hard), lo cual implica que no se conoce un algoritmo que lo resuelva en tiempo polinomial para todos los casos. El número de posibles recorridos crece factorialmente con el número de ciudades, lo que hace que el problema sea computacionalmente intratable para instancias grandes (Giraldo Botero, 2021). En términos de formulación matemática, el TSP puede modelarse como un problema de programación lineal entera en el que se definen variables binarias asociadas a los arcos de un grafo completo. La función objetivo consiste en minimizar la suma de las distancias recorridas entre ciudades, mientras que las restricciones garantizan que cada ciudad sea visitada exactamente una vez y que el recorrido forme un único ciclo cerrado.

Sin embargo, esta formulación básica presenta el inconveniente de permitir la aparición de subtours, es decir, ciclos parciales que no incluyen todas las ciudades. Por ello, es necesario incorporar restricciones adicionales que aseguren la conectividad global de la solución y la validez del itinerario completo (Giraldo Botero, 2021).

Sea $G = (V, A)$ un grafo completo donde V es el conjunto de vértices que representan las ciudades y Ael conjunto de arcos que representan los caminos entre ellas. Se define una variable binaria x_{ij} que toma el valor 1 si el agente viaja de la ciudad i a la ciudad j, y 0 en caso contrario.

El objetivo es minimizar la suma total de los costos asociados a los arcos seleccionados:

$$\min \sum_{i} \sum_{j} c_{ij}\, x_{ij}$$

2.2.3.1 Optimización de rutas

La optimización de rutas constituye un pilar estratégico en la gestión logística contemporánea, impactando directamente en la reducción de costos operativos y en el incremento de los niveles de servicio al cliente. De acuerdo con la literatura técnica sobre ruteo vehicular (VRP), la integración de tecnologías avanzadas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), algoritmos de optimización y el monitoreo telemático en tiempo real permite una planificación dinámica. Esta capacidad de respuesta es esencial para adaptar las operaciones a la variabilidad del tráfico y a las fluctuaciones de la demanda urbana, asegurando una utilización eficiente de los recursos y la puntualidad en el servicio. La optimización de rutas se ha consolidado como un componente esencial en la logística empresarial contemporánea, permitiendo la reducción de costos operativos y la mejora en la satisfacción del cliente. La incorporación de herramientas tecnológicas, como los sistemas de monitoreo en tiempo real y los algoritmos de optimización, permite mejorar la planificación y el seguimiento de las operaciones logísticas. Estas herramientas facilitan la identificación de desviaciones operativas y la adopción de decisiones orientadas a mejorar la eficiencia de los procesos.

El desarrollo de modelos mediante la programación es una herramienta poderosa que transforma la forma en que abordamos problemas complejos. La flexibilidad, eficiencia e integrabilidad que ofrece la programación permiten crear modelos precisos y adaptables a cada caso (Muñoz Garro, 2024).

2.2.3.2 Microruteo o Vehicle Routing Problem (VRP)

El enfoque moderno del Vehicle Routing Problem (VRP) en la gestión de residuos ha evolucionado hacia modelos de sostenibilidad integral, conocidos como Green-VRP. A diferencia

de los modelos clásicos, investigaciones recientes como Li et al. (2023) desarrollaron un modelo de optimización de rutas para la recolección y transporte de residuos sólidos municipales, considerando restricciones de capacidad vehicular, ventanas de tiempo y costos asociados a las emisiones de carbono. Para resolver el problema, emplearon un algoritmo mejorado de optimización por colonia de hormigas (ACO). Los resultados evidenciaron que la incorporación de criterios ambientales en la planificación del transporte permite reducir los costos operativos y las emisiones asociadas al servicio de recolección, constituyendo un antecedente relevante para el desarrollo de modelos de ruteo sostenible. Este tipo de aplicaciones permite a los municipios afrontar desafíos contemporáneos como el crecimiento acelerado de la generación de residuos urbanos, logrando sistemas de transporte que son económicamente viables y ambientalmente responsables, asegurando una cobertura total bajo condiciones de incertidumbre en el tráfico y la demanda.

Según Policroniades Chípuli et al. (2025), el problema de la recolección de residuos sólidos puede modelarse mediante variantes del VRP dependiendo de las restricciones y características de cada zona geográfica, integrando no solo la determinación de rutas sino también procesos de recogida y entrega hacia centros de reciclaje o disposición final. Este enfoque permite clasificar el problema bajo modelos como VRP con recogida y entrega (VRPPD) y otras variantes que consideran flotas heterogéneas o información geoespacial, siendo resueltas usualmente mediante heurísticas o metaheurísticas por su complejidad combinatoria.

El uso del VRP en residuos sólidos no solo mejora la eficiencia operativa de los servicios de recolección, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental mediante la reducción de emisiones y del consumo de combustible, lo cual es clave en la planificación moderna de sistemas de gestión integral de residuos.

2.2.3.3 Problema del Agente Viajero (TSP) y heurísticas de solución

El Problema del Agente Viajero (TSP) constituye el núcleo de la optimización de rutas, cuyo objetivo es hallar el recorrido de distancia mínima que visite un conjunto de nodos exactamente una vez y retorne al depósito inicial. En la gestión de residuos sólidos, este modelo enfrenta una alta complejidad debido a la densidad de puntos de parada. Toth y Vigo (2014) define el TSP como un problema de optimización combinatoria de clase NP-duro, lo que implica que el tiempo necesario para hallar una solución óptima crece exponencialmente con el número de clientes, haciendo indispensable el uso de heurísticas para obtener respuestas en tiempos operativos aceptables.

El Problema del Agente Viajero (Travelling Salesman Problem – TSP) ha sido ampliamente estudiado en la literatura de investigación de operaciones y puede representarse mediante diversas formulaciones matemáticas. Generalmente, el problema se modela como un programa de programación lineal entera con variables binarias que indican si un arco entre dos nodos forma parte de la ruta óptima. A lo largo de su desarrollo, diversos autores han propuesto diferentes formulaciones con el propósito de mejorar la eficiencia computacional del modelo y evitar la aparición de subtours. Entre las formulaciones más conocidas se encuentran la propuesta de Dantzig, Fulkerson y Johnson (DFJ) y la formulación de Miller, Tucker y Zemlin (MTZ), las cuales incorporan diferentes conjuntos de restricciones para garantizar que todos los nodos sean visitados exactamente una vez dentro de un único recorrido (Villegas et al., 2017).

2.2.3.4 Formulación Dantzig-Fulkerson-Johnson (DFJ)

"La formulación de Dantzig-Fulkerson-Johnson (DFJ) para el Problema del Agente Viajero se basa en restricciones de grado junto con restricciones de eliminación de subtours. Aunque el número de restricciones de eliminación de subtours es exponencial, la formulación puede resolverse eficientemente cuando solo se incluye un pequeño subconjunto de estas restricciones."

"Las restricciones de eliminación de subtours aseguran que ningún subconjunto propio de nodos forme un ciclo desconectado del resto del recorrido. Estas restricciones son esenciales para garantizar que la solución corresponda a un único ciclo hamiltoniano."

Matemáticamente, la formulación DFJ se expresa de la siguiente manera:

Sea $G = (V, A)$un grafo completo con:

- $V = \{1,2, \dots, n\}$
- c_{ij}= costo de viajar de i a j
- Variable binaria:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se viaja de } i \text{ a } j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Función objetivo

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij}\, x_{ij}$$

Restricciones de grado

Cada ciudad tiene exactamente una salida:

$$\sum_{j \in V, j \neq i} x_{ij} = 1 \forall i \in V$$

Cada ciudad tiene exactamente una entrada:

$$\sum_{i \in V, i \neq j} x_{ij} = 1 \forall j \in V$$

Restricciones de eliminación de subtours (clave del DFJ)

Para todo subconjunto $S \subset V$, con $2 \leq | S | \leq n - 1$:

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq | S | - 1$$

Esta formulación constituye una de las bases teóricas para el desarrollo de modelos de optimización de rutas utilizados en problemas logísticos, como la planificación del servicio de recolección de residuos sólidos. La formulación DFJ fue propuesta originalmente por Dantzig, Fulkerson y Johnson (1954). Según el autor (Giraldo Botero, 2021.). Aquí está el detalle importante:

"El número de estas restricciones es exponencial por eso DFJ es fuerte pero pesado."

2.2.3.5 Formulación Miller-Tucker-Zemlin (MTZ)

La formulación MTZ fue propuesta por Miller, Tucker y Zemlin en 1960 como una alternativa para eliminar subtours mediante variables de orden dentro del modelo. La formulación constituye una de las representaciones más utilizadas del Problema del Agente Viajero en modelos de programación lineal entera. A diferencia de otras formulaciones, este modelo introduce

variables auxiliares de orden que permiten eliminar la aparición de subtours dentro de la solución. De esta manera se garantiza que el recorrido final corresponda a un único ciclo que visite todos los nodos exactamente una vez (Miller, Tucker y Zemlin, 1960).

"Se pudo observar que el modelo MTZ es un modelo de programación lineal, su comportamiento al momento de eliminar los subtours es bastante aceptable." (Gracia et al., 2015)

Se usan las mismas variables binarias x_{ij}, pero se agregan variables auxiliares:

- u_i= variable de orden para eliminar subtours

Función objetivo

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij}\, x_{ij}$$

Restricciones de grado (iguales al DFJ)

$$\sum_{j \neq i} x_{ij} = 1 \forall i$$

$$\sum_{i \neq j} x_{ij} = 1 \forall j$$

Restricciones MTZ (eliminación de subtours)

Para $i \neq j, i, j \in \{2, \ldots, n\}$:

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1$$

Con:

$$1 \leq u_i \leq n-1$$

Sea un grafo completo $G = (V, A)$:

- $V = \{1,2,\ldots,n\}$conjunto de nodos
- c_{ij}costo de viajar del nodo $i$al nodo j

Variable binaria:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se viaja del nodo } i \text{ al nodo } j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Variables auxiliares:

$$u_i$$

Representan el orden de visita de los nodos, utilizadas para eliminar subtours.

La formulación Miller–Tucker–Zemlin (MTZ) constituye uno de los modelos clásicos de programación lineal entera utilizados para resolver el Problema del Agente Viajero. Este modelo introduce variables auxiliares $u_i$que representan el orden en que los nodos son visitados dentro del recorrido, permitiendo eliminar la aparición de subtours dentro de la solución. De esta manera, las restricciones MTZ garantizan una progresión lógica en la secuencia de visita de los nodos, evitando la formación de ciclos cerrados que no incluyan todos los nodos del sistema. Gracias a esta estructura, el modelo MTZ permite representar el problema mediante un número polinómico de restricciones, lo que facilita su implementación en modelos de optimización y aplicaciones logísticas basadas en ruteo de vehículos (Miller et al., 1960; Sherali & Driscoll, 2002).

La formulación Miller-Tucker-Zemlin (MTZ) constituye una de las representaciones compactas más utilizadas del Problema del Agente Viajero dentro de los modelos de programación lineal entera. Este modelo introduce variables auxiliares que permiten establecer un orden de visita entre los nodos y evitar la formación de subtours dentro de la solución. Debido a su estructura compacta y a su facilidad de implementación en modelos de optimización, la formulación MTZ continúa siendo ampliamente utilizada y estudiada en aplicaciones modernas de ruteo y logística (Campuzano, Obreque & Aguayo, 2020).

2.2.4 *Modelos de programación matemática en recolección de residuos sólidos*

Los modelos de programación matemática constituyen herramientas fundamentales para la formulación y resolución de problemas de optimización en sistemas logísticos. Estos modelos permiten representar de manera estructurada funciones objetivo y restricciones con el propósito de optimizar el uso de recursos como vehículos, tiempo de operación y capacidad de carga. En el contexto de la recolección de residuos sólidos, dichos modelos suelen formularse como variantes del Problema de Ruteo de Vehículos (VRP), en los cuales se busca determinar rutas óptimas para una flota de vehículos considerando restricciones operativas como capacidad, tiempos de servicio y costos de operación (Ghiani et al., 2014).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de modelos de optimización en sistemas de recolección de residuos permite mejorar significativamente la eficiencia operativa del servicio. En este sentido, la optimización de rutas contribuye a reducir la distancia recorrida por los vehículos y mejorar la planificación del transporte de residuos sólidos urbanos (Nuortio et al., 2006). Tavares et al. (2009) desarrollaron un modelo de optimización de rutas de recolección y transporte de residuos sólidos mediante sistemas de información geográfica tridimensionales (SIG 3D), incorporando las características del relieve y el consumo de combustible. Los resultados

evidenciaron que la ruta de menor distancia no necesariamente representa la alternativa de menor consumo energético, debido a la influencia de las pendientes y las condiciones del terreno. Este antecedente permite reconocer la importancia de considerar las características topográficas en la planificación de rutas de recolección.

De manera complementaria, Rivera Rodríguez (2019) desarrolló una propuesta de rutas optimizadas basada en el modelo del Problema del Agente Viajero (TSP) para la recolección de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de Jauja, formulando el problema mediante un enfoque matemático orientado a la minimización de la distancia total recorrida. El estudio demostró que la aplicación de modelos matemáticos de optimización permite reducir significativamente el consumo de combustible y el tiempo de operación, evidenciando la utilidad de la programación matemática como soporte para la toma de decisiones en la gestión municipal de residuos sólidos.

En este sentido, los modelos de programación matemática constituyen una base metodológica sólida para el desarrollo de sistemas de ruteo más eficientes en la gestión de residuos sólidos, permitiendo mejorar la planificación operativa y apoyar la toma de decisiones en la gestión municipal.

2.2.5 *Herramientas de simulación en la gestión de residuos sólidos*

La simulación aplicada a la optimización de rutas de recolección de residuos sólidos se ha convertido en un enfoque metodológico clave para analizar, evaluar y mejorar el desempeño de los sistemas de recolección sin intervenir físicamente en la operación real. A través de modelos de simulación de eventos discretos o de simulación de operaciones logísticas se integran variables operativas como distancia recorrida, número de viajes, consumo de combustible, tiempo de servicio o composición del flujo de residuos, permitiendo evaluar distintos escenarios antes de implementarlos en la práctica y medir su impacto sobre el rendimiento del sistema.

Un enfoque complementario es el uso de simulación integrada con heurísticas, conocido como simheurísticas, el cual combina algoritmos de optimización con modelos de simulación para analizar el comportamiento de soluciones bajo condiciones de incertidumbre. En el contexto de problemas de ruteo de vehículos, como el Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), este tipo de metodologías permite evaluar cómo variables como la demanda, la capacidad de los vehículos o las condiciones del tráfico pueden afectar la eficiencia de las rutas generadas, contribuyendo a la obtención de soluciones más robustas para sistemas logísticos complejos (Juan et al., 2015).

En este sentido, la simulación se convierte en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos, ya que permite analizar el comportamiento del sistema de recolección bajo distintos escenarios operativos y evaluar el impacto de posibles mejoras en la planificación de rutas, contribuyendo a la optimización del uso de recursos y a la mejora de la eficiencia del servicio.

2.3 Marco normativo peruano en gestión de residuos sólidos

El sistema de gestión de residuos sólidos en el Perú ha evolucionado hacia un modelo de economía circular y eficiencia operativa, regulado principalmente por el Decreto Legislativo N.º 1278 (2016), Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. El artículo 5 de dicha norma establece el principio de economía circular; en este sentido, la aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) para la optimización de rutas en el distrito de Alto Selva Alegre se alinea directamente con los objetivos de eficiencia en el uso de los recursos, al reducir el consumo estimado de combustible, el tiempo de operación y el impacto ambiental del servicio de limpieza pública.

Complementariamente, el Decreto Supremo N.º 014-2017-MINAM (2017), que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N.º 1278, establece en su artículo 30 criterios para el diseño de rutas de recolección y transporte de residuos sólidos. El uso de modelos matemáticos de optimización permite que el «agente viajero» (el camión compactador) visite de manera lógica y secuencial cada punto de recolección, evitando recorridos redundantes y contribuyendo a la eficiencia operativa del servicio.

Para el caso específico del distrito de Alto Selva Alegre, la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2020), mediante la Ordenanza Municipal N.º 516-MDASA, establece disposiciones relacionadas con el servicio de limpieza pública y la gestión de residuos sólidos. Un modelo de localización óptima permite que la distribución de estos contenedores no sea arbitraria, sino que minimice las distancias de caminata del ciudadano y facilite la labor de recolección, contribuyendo así a los estándares de calidad ambiental y servicio al ciudadano exigidos por el Estado peruano.

CAPÍTULO III

III. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capitulo se describirá las técnicas en concordancia de la investigación para que la toma de decisiones sea respaldada con datos verídicos.

3.1 Nivel de investigación

El estudio cuenta con el nivel de investigación con enfoque cuantitativo, teniendo dos niveles de alcance siendo los siguientes:

1. Descriptivo: Se detallará el sistema de recolección de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre, identificando y analizando las características de este.
2. Explicativo*:* La investigación busca la explicar la propuesta del modelo matemático y su relación con la mejora de la eficiencia del modelo de recolección.

3.2 Diseño de investigación

La investigación será con un diseño no experimental, no se modificará ni alterará la información obtenida, siendo los datos obtenidos del año 2025.

3.3 Población y Muestra

3.3.1 *Población*

Se trabajará con la totalidad con las 29 rutas operativas que conforman el sistema actual de servicio de recolección. Según Hernández Sampieri et al. (2014), la población comprende el conjunto de casos que presentan características previamente establecidas y que constituyen las unidades de análisis de una investigación.

3.3.2 *Muestra*

Debido a que la investigación analizará la totalidad de las 29 rutas operativas que el sistema actual de recolección y transporte de residuos sólidos, no se realizará un procedimiento de muestreo. En consecuencia, el estudio tendrá carácter censal, considerando como unidades de análisis las 29 rutas existentes.

3.4 Técnicas e Instrumentos

Para el diagnóstico del problema se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos:

- Observación Directa del sistema de recolección y transporte de recolección.
- Revisión Documental, proporcionada por la Municipalidad (informes técnicos, registros y documentación)
- Revisión Documental en fuente digital

Como instrumentos se utilizaron:

- Ficha de Registro de Recorridos detalladas en el Anexo #1.
- Ficha Desempeño del Servicio de recolección detalladas en el Anexo #2.
- Ficha de registro por Ruta detalladas en el Anexo #3.

Las fichas mencionadas corresponden a una adaptación de los instrumentos utilizados por Antonio Calixto y Cashpa Lajo (2022) en su investigación sobre la optimización de rutas de recolección de residuos sólidos en los sectores 01 y 03 del distrito de Ancón. Dichos instrumentos fueron tomados como referencia por su pertinencia para la recopilación de información relacionada con las rutas de recolección. En ese sentido, las fichas fueron adaptadas a las características del distrito de Alto Selva Alegre y sometidas a juicio de expertos para evaluar su validez. Los formatos validados se presentan en el Anexo 16.

En la siguiente Tabla 2, se detalla los instrumentos a utilizar, para decepcionar los datos obtenidos por rutas.

Tabla 2

Instrumentalización de datos

Instrumento	Objetivo / Contenido Específico
Ficha N°1 del trayecto Recorrido de Ruta Actual (Anexo #1)	Se centra en el seguimiento y mapeo de las rutas que el servicio de limpieza realiza actualmente. Se realiza para obtener la data georreferenciada (coordenadas) y se acompaña de evidencia fotográfica.
Ficha N°2 Desempeño del Servicio de Recolección (Anexo #2)	En esta ficha se centró la recopilación de aspectos evaluativos generales del desempeño, como el tiempo, la distancia y los talones operativamente recorridos por las unidades.
Ficha N°3 de Registro de datos (Anexo #3)	Documento importante diseñado para mostrar la comparación del desempeño actual versus el propuesto (optimizado) en cada ruta o tramo específico.

Nota: Elaboración propia.

3.5 Procesamiento y análisis de datos

Una vez obtenida la información, se procedió a incorporar en las tablas las distancias y los tiempos recorridos de cada ruta. Para obtener estos datos con mayor precisión se emplearon herramientas como Google Maps, utilizando sus funciones de cálculo de distancias y su representación actualizada de la red vial satelital. Esta plataforma ya ha sido utilizada en estudios similares desarrollados en otros distritos, lo que respalda su validez para este tipo de análisis. Con la información procesada, los resultados fueron posteriormente contrastados mediante la

aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP), con el fin de evaluar posibles mejoras en la eficiencia del recorrido.

La información obtenida fue validada mediante una verificación en campo de las rutas consideradas en el estudio. Durante este proceso, se prestó especial atención a la transitabilidad de las vías para los camiones recolectores, con el propósito de comprobar que las condiciones observadas en campo fueran coherentes con la información cartográfica obtenida mediante Google Maps. Esta verificación permitió confirmar la viabilidad de las rutas propuestas y considerar las condiciones reales de las vías para el diseño del recorrido. En el Anexo 15 se presentan las evidencias fotográficas correspondientes a la validación de las rutas de recolección propuestas.

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Municipalidad Distrital Alto Selva Alegre

Mediante el Decreto de Ley N°25849, se formaliza el distrito de Alto Selva Alegre el 6 de noviembre de 1992, y así participante en las elecciones de 1995, según investigación documental del distrito en la memoria Anual del año 2015 indica que el proceso de urbanización en Alto Selva Alegre comenzó alrededor del año 1940, cuando se registró el primer asentamiento en la parte baja del actual distrito. Este impulso surgió de una junta de vecinos que, en busca de un techo propio, fundaron el Pueblo Joven Alto Selva Alegre en la zona que hoy conocemos como el Parque 1 de mayo, marcando así el inicio formal de la ocupación del territorio, a su vez indica que en el año 1993 habitante la zona una cantidad de 48887, posterior el censo del INEI de 2007 indicó una población de 72,696, y el del 2017 registró 92

4.1.1 *Descripción del distrito*

El distrito de Alto Selva Alegre está ubicado en la provincia y región de Arequipa, asentado sobre la margen derecha del río Chili, a unos 2,520 m s. n. m.. Sus coordenadas 16°22'47" de latitud sur y 71°31'14" de longitud oeste lo ubican claramente dentro del eje urbano arequipeño, con Selva Alegre como núcleo central de su actividad. Tal como señala la memoria anual del distrito del 2015, se trata de un territorio amplio, con cerca de 67 km², donde conviven más de 70 asentamientos humanos entre urbanizaciones, cooperativas y pueblos jóvenes. En conjunto, conforman una zona mayoritariamente residencial, marcada por un crecimiento urbano acelerado en las últimas décadas.

Límites del distrito:

- Por el norte, limita con Cayma, a partir de la desembocadura de la quebrada Volcancillo en el río Chili.
- Por el este, el límite asciende hacia el Misti, siguiendo el trazo natural de la quebrada San Lázaro.
- Por el sureste y suroeste, colinda con Miraflores y Arequipa, siguiendo la torrentera San Lázaro hasta conectar con el canal de Miraflores y su cruce con la avenida La Chilina.
- Por el oeste y noroeste, retoma frontera con Arequipa y nuevamente con Cayma, a lo largo de la avenida La Chilina, la quebrada Huarangueros y finalmente el cauce del río Chili, cerrando el circuito en la quebrada Volcancillo.

Sectores Definidos: El distrito se compone de zonas como:

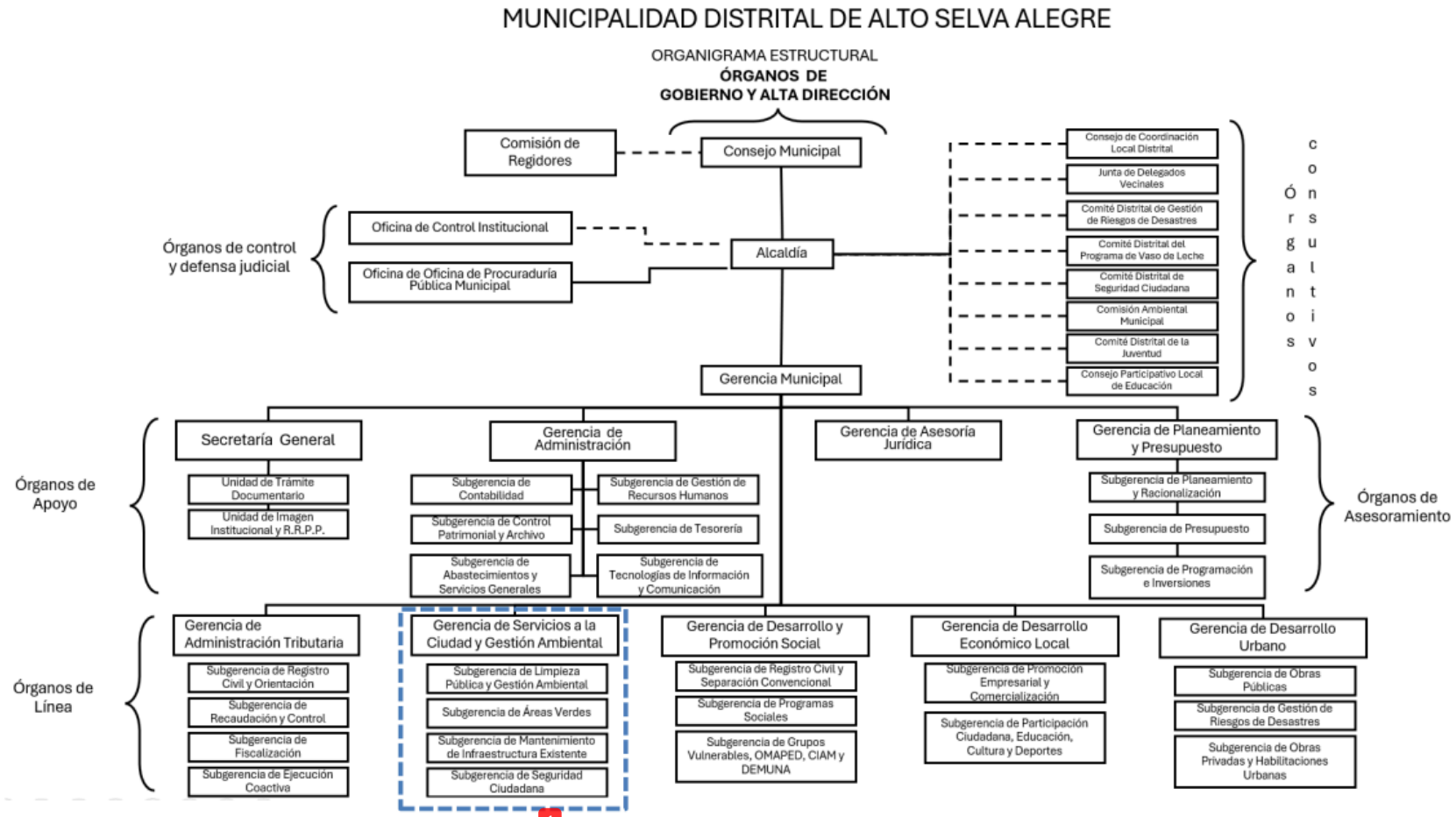
- Urb. Gráficos
- Urb. Alto Selva Alegre (Zonas "A", "B", "C")
- Parte alta de Alto Selva Alegre
- Pueblo Joven Independencia
- Pampas de Polanco

4.1.2 *Organigrama General de la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre*

En la siguiente figura, se muestra el organigrama oficial de la municipalidad según lo indica el portal de transparencia, el área encargada de la limpieza pública en todo el territorio de la Municipalidad es la Subgerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental, la cual se ubica dentro de la Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental.

Figura 1

Organigrama de la municipalidad de Alto Selva Alegre



Nota: Información extraída del portal web de la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.

4.1.2.1Recurso Humano de la Subgerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental

La Subgerencia de Limpieza Pública cuenta con un equipo encargado de las labores de recolección, transporte y barrido de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre. Está conformado por personal obrero y administrativo, cada uno con funciones definidas para asegurar el funcionamiento del servicio.

El personal operativo incluye conductores, ayudantes de recolección y personal de barrido, quienes trabajan en turnos según la programación diaria. Los conductores manejan las compactadoras y unidades asignadas, mientras que los ayudantes apoyan en el levantamiento de los residuos durante los recorridos. El personal de barrido se encarga de zonas específicas, dando prioridad a vías principales y áreas de mayor tránsito. Además, la Subgerencia cuenta con personal administrativo que da soporte en la programación de la recolección, coordinación asistencia entre otras actividades. Una adecuada organización de la fuerza laboral permite mejorar los tiempos de operación y asegurar el cumplimiento de las rutas programadas.

En la siguiente Tabla N°3, se muestra el cuadro resumen de los servidores operativos antes descritos.

Tabla 3

Recurso Humano de la SGL

CARGO	N° DE TRABAJADORES
Barredores	44
Conductores de servicio de recolección	13
Ayudantes de recolección	26

Nota: Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.

4.1.2.2Recuso Material de la Subgerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental

Barrido

El servicio de barrido de calles y espacios públicos se realiza de manera manual en el turno diurno, cubriendo 42 rutas, lo que representa aproximadamente el 50% del distrito. Para este trabajo se utilizan escobas de paja, contenedores de 120 litros con ruedas y recogedores, aunque la mayoría de estos implementos ya se encuentran en mal estado.

Almacenamiento

El distrito de Alto Selva Alegre cuenta con 645 contenedores de plástico de 1100 litros. Sin embargo, todos presentan condiciones deficientes. Por esta razón, la Municipalidad retiró alrededor del 80% de los contenedores, ya que no solo dificultaban el manipuleo del servicio, sino que además generaban focos infecciosos y representaban un riesgo para la salud y el ambiente.

Recolección

El distrito dispone de ocho (08) compactadoras para la recolección mecanizada de residuos sólidos, acompañadas de personal de apoyo. No obstante, estas unidades ya no se encuentran en buen estado, principalmente debido a los años de antigüedad y a su limitada capacidad, lo que impide cubrir adecuadamente el recojo diario en toda la jurisdicción.

Además de las compactadoras, se cuenta con dos (02) camiones de 5 toneladas que realizan la recolección manual bajo el método de campana. Al igual que las compactadoras, estos camiones también presentan limitaciones por su antigüedad y capacidad, lo que dificulta cumplir con el recojo diario en todo el distrito.

4.2 Análisis de los datos obtenidos

El objetivo es mostrar los datos operativos obtenidos de la municipalidad donde nos enfocaremos en el servicio de recolección de residuos sólidos correspondientes al año 2025, comparándolo con años anteriores, el propósito es la identificación actual, la generación de residuos sólidos y variaciones presentes.

Es importante señalar que los resultados obtenidos estarán condicionados por la calidad y precisión de los registros proporcionados por el área responsable del servicio de limpieza pública.

4.2.1 *Población del distrito de Alto Selva Alegre*

La cantidad demográfica del distrito es lo más esencial del estudio, ya que permite entender la demanda real del servicio de recolección. La generación de residuos se relaciona de manera directamente proporcional con la concentración de la población; por ello, se contrastará la cantidad de habitantes del distrito con la población provincial de Arequipa. Esto permitirá justificar y dimensionar el problema que requiere la optimización del servicio.

La población, según el Censo Nacional del INEI del año 2017 detallado en el Anexo 17, en el distrito fue de 85 870 habitantes, mientras que para el año 2025 se registró una población de 100 790 habitantes detallado en el Anexo 18. A partir de estos datos, se calculó la tasa de crecimiento anual correspondiente al periodo 2017–2025, con la finalidad de estimar la población al año 2033.

DATOS:

1. Población 2017 (INEI): 85 870 habitantes.
2. Población 2025 (INEI): 100 790 habitantes.
3. Años transcurridos: 8 (2017–2025).

Cálculo de la tasa de crecimiento poblacional

Para determinar la tasa de crecimiento anual equivalente se empleó la siguiente expresión:

$$r = \left[\left(\frac{P_f}{P_i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100$$

Donde:

- r: tasa de crecimiento poblacional anual (%).
- P_f: población del año final.
- P_i: población del año inicial.
- n: número de años transcurridos.

$$r = \left[\left(\frac{100790}{85870} \right)^{\frac{1}{8}} - 1 \right] \times 100$$

$$\boxed{r \approx 2.02\%}$$

La tasa de crecimiento anual equivalente obtenida fue de aproximadamente 2.02 %, la cual representa el incremento promedio anual compuesto de la población durante el periodo 2017–2025.

Proyección poblacional al año 2033

Para estimar la población futura se aplicó el método de crecimiento geométrico, mediante la siguiente fórmula:

$$P_n = P_0(1 + r)^n$$

Donde:

- P_n: población proyectada.
- P_0: población del año base (2025).
- r: tasa anual expresada en valor decimal.
- n: número de años de proyección.

FÓRMULA

$$P_{2033} = P_{2025} \times (1 + r)^n$$

$$P_{2033} = 100\,790 \times (1 + 0.020227)^8$$

$$P_{2033} \approx 118\,302 \quad \text{habitantes}$$

Según los resultados obtenidos, se proyecta que para el año 2033 la población alcanzará los 118 302 habitantes. Este resultado representa un incremento poblacional proyectado respecto al año 2025 y constituye una referencia para estimar la generación futura de residuos sólidos y dimensionar los recursos operativos del sistema de recolección.

A continuación, en la Tabla 4, se presenta una comparación de la población del distrito de Alto Selva Alegre respecto a la provincia de Arequipa, con la finalidad de identificar su participación poblacional dentro del ámbito provincial. Para ello, se consideran los datos poblacionales del INEI, permitiendo establecer una referencia sobre la concentración demográfica y su relación con la demanda del servicio de recolección de residuos sólidos.

Tabla 4

Evolución y proyección poblacional del distrito de Alto Selva Alegre

Año	Población (habitantes)	Condición
2017	85,870	Censada, detallada en el Anexo 17.
2025	100,790	Censada, detallada en el Anexo 18.
2033	118,302	Proyectada

Nota: Datos poblacionales de 2017 y 2025 considerados del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

Los resultados muestran un incremento poblacional durante el periodo evaluado, lo que evidencia la necesidad de considerar el crecimiento de la población en la planificación de las rutas de recolección y el dimensionamiento de la flota vehicular. A continuación, en la Figura 2 se muestra la relación de los datos del distrito de Alto Selva Alegre.

Figura 2

Habitantes registrados y proyección para 2033



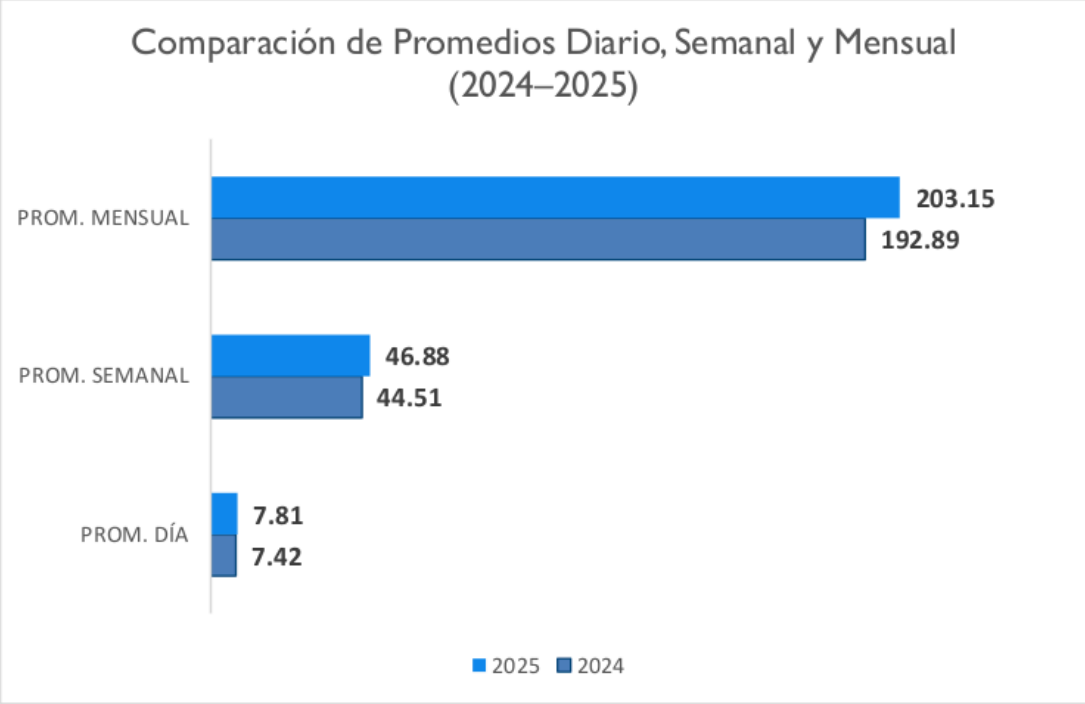
Nota: El 91% representa 1,080,635.00 y el 9% es el 103,500.00, son datos proyectos al año 2025.

4.2.2 *Generación de residuos (2024–2025)*

La producción de residuos generada por la población distrital refleja la exigencia del servicio. El análisis del promedio mensual, semanal y diario permitirá identificar tendencias y posibles meses críticos que incrementan la presión sobre la operación.

Figura 3

Variación de promedios según la frecuencia de medición



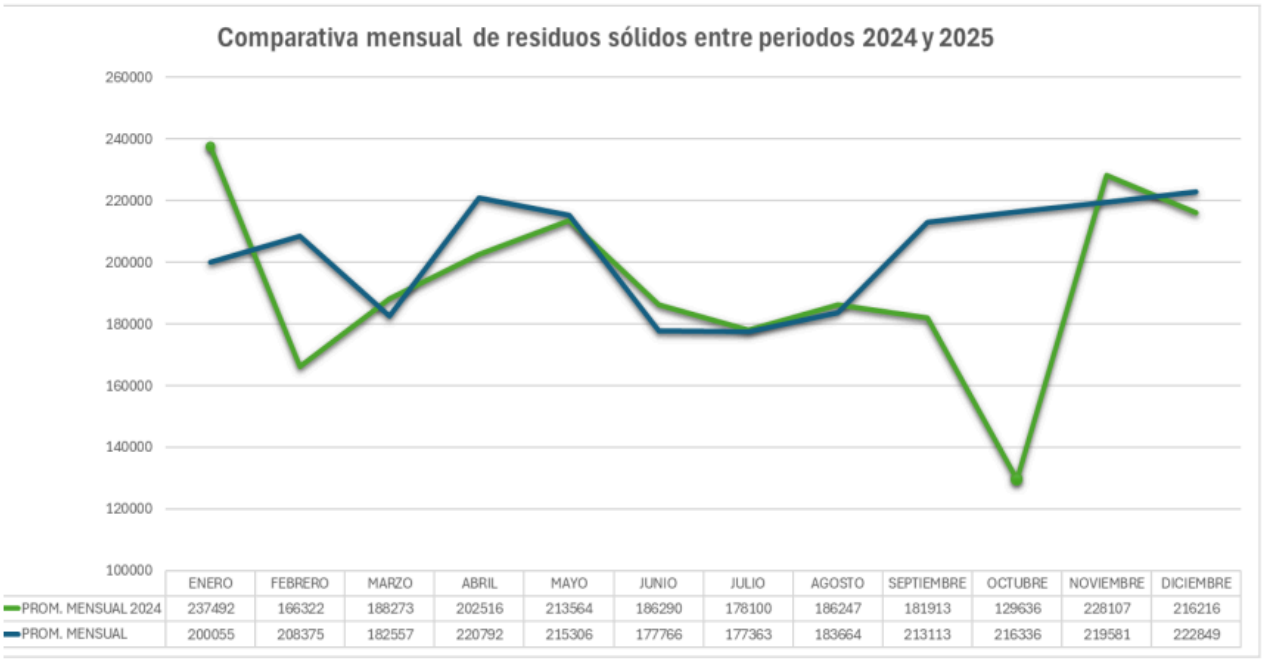
Nota: Promedio en base a Toneladas

En el gráfico mostrado, se observa una tendencia creciente en la cantidad promedio diaria de residuos sólidos recolectados, pasando de 7.42 toneladas en 2024 a 7.81 toneladas en 2025, lo que representa un incremento aproximado del 5.32 %. Asimismo, el promedio mensual aumentó de 192.89 a 203.15 toneladas. Estos resultados evidencian una variación al alza en la cantidad de residuos recolectados, comportamiento que guarda relación con el crecimiento poblacional señalado en el apartado 4.2.1, considerando que, a medida que aumenta la población, también tiende a

incrementarse la generación de residuos sólidos y, por consiguiente, la demanda del servicio de recolección. En este sentido, la tendencia observada respalda la importancia de la presente investigación y la necesidad de optimizar las rutas de recolección para mejorar la eficiencia operativa del sistema y responder a las necesidades actuales y futuras del distrito de Alto Selva Alegre.

Figura 4

Comparación de residuos sólidos entre periodos 2024 y 2025



	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
PROM. MENSUAL 2024	237492	166322	188273	202516	213564	186290	178100	186247	181913	129636	228107	216216
PROM. MENSUAL	200055	208375	182557	220792	215306	177766	177363	183664	213113	216336	219581	222849

Nota: Información extraía de la Municipalidad Distrital SGl.

En el gráfico mostrado, se observa una variación en la cantidad mensual de residuos sólidos recolectados durante los periodos 2024 y 2025 en el distrito de Alto Selva Alegre, con una tendencia general de incremento. El promedio mensual pasó de 192,889.58 kg en 2024 a 203,146.56 kg en 2025, lo que representa un aumento del 5.32 %. Asimismo, se observa que en determinados meses del año 2025 los valores superaron a los registrados en 2024, alcanzando su mayor registro en

diciembre, con 222,848.86 kg. Por otro lado, en 2024 se registró el valor máximo en enero, con 237,491.54 kg. Estas variaciones evidencian cambios en la cantidad de residuos recolectados y una mayor demanda promedio del servicio durante 2025. Sin embargo, que el sistema operativo cubra la demanda actual no significa necesariamente que haya alcanzado su nivel óptimo; por el contrario, constituye un proceso susceptible de mejora continua mediante la optimización de las rutas de recolección.

4.2.3 *Recorrido de rutas actuales*

El sistema de recolección del distrito de Alto Selva Alegre, esta conformado por una red de 29 rutas operativas, que actualmente son los responsables de la cobertura de la recolección, se recopilo la información sustraída de la Sub-Gerencia de Limpieza, siendo la complejidad operativa la densidad poblacional y siendo una característica de la variación significativa de la distancia operativa en el kilometraje, lo cual una vez más justica la necesidad de la aplicación del modelo del TSP. Como referencia técnica para el análisis de la generación de residuos sólidos municipales, se consideró la Guía para la caracterización de residuos sólidos municipales del Ministerio del Ambiente (2019), la cual proporciona orientaciones para el estudio de los residuos sólidos en el ámbito municipal.

A continuación, en las siguiente Figuras N°5 se observa a detalle las vías utilizadas, la periodicidad y código de ruta.

Figura 5

Ruta de recolección “Rt 01 Asa”



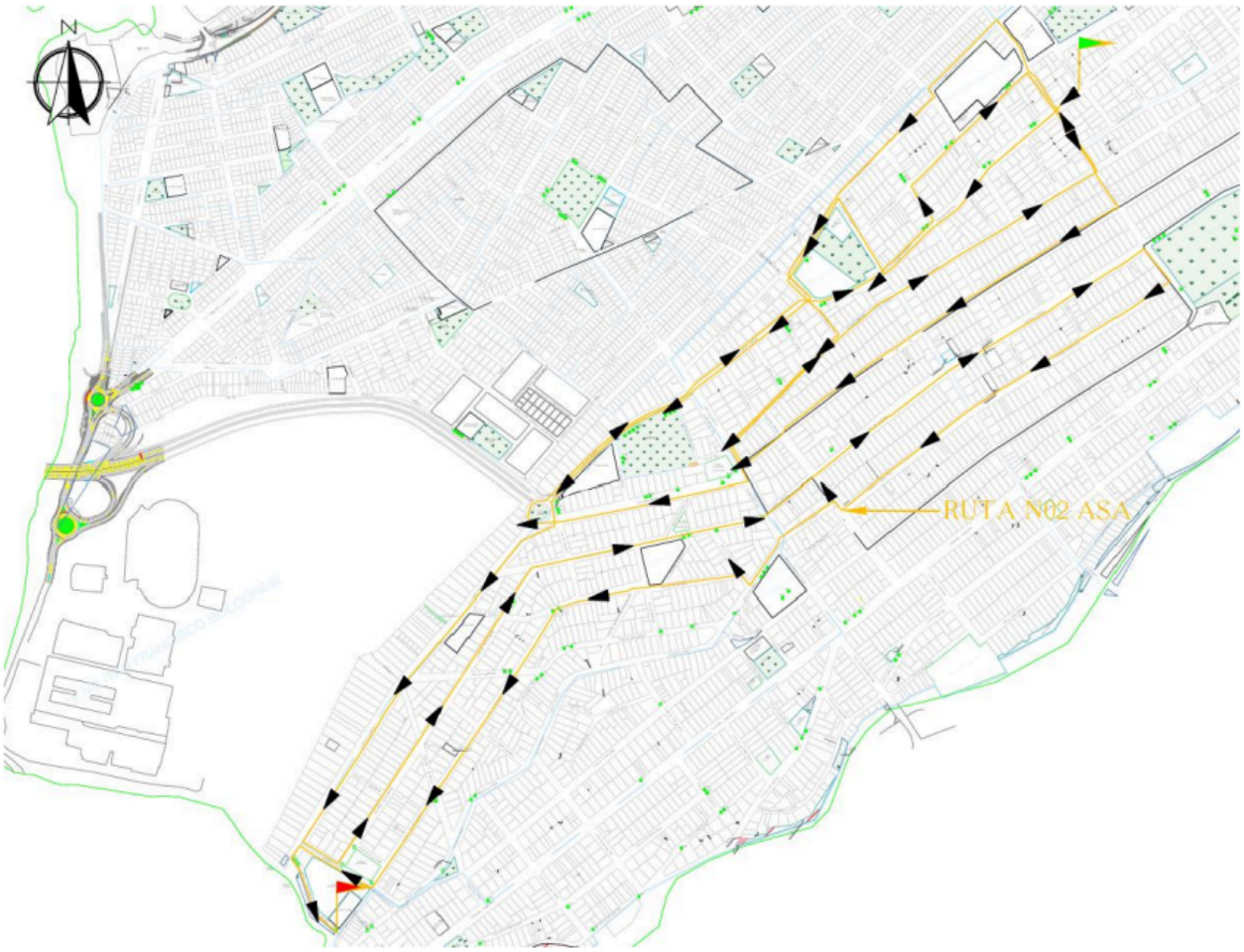
Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026). Rt 01 Asa”:

La ruta de recolección RT-01 ASA inicia su recorrido pasando por las siguientes vías: Malecón Amazonas, Amazonas, Av. Arequipa, Cahuide, Crisantemos, Las Dalias, Violetas, Claveles, Naranjos, Pacífico, Vilcanota, 13 de Abril, 1 de Mayo, Alfonso Ugarte, Av. Alianza, Atlántida, Av. Arequipa, calle Libertad, Crisantemos, Diamantes, calle España, Espíritu Santo, Gutemberg, pasaje José Santos Chocano, Independencia, José Carlos Mariátegui, calle Jacinto Ibañez, Mollendo, Orquídeas, pasaje Las Rosas, pasaje Olaya, pasaje Argentina, pasaje Primavera,

calle Florida, Jacinto Liendo, Los Claveles, Av. Brasil, Av. 13 de Abril, Av. España, Av. Pacífico y Av. Argentina.

Figura 6

Ruta de recolección “RT 02 Asa”



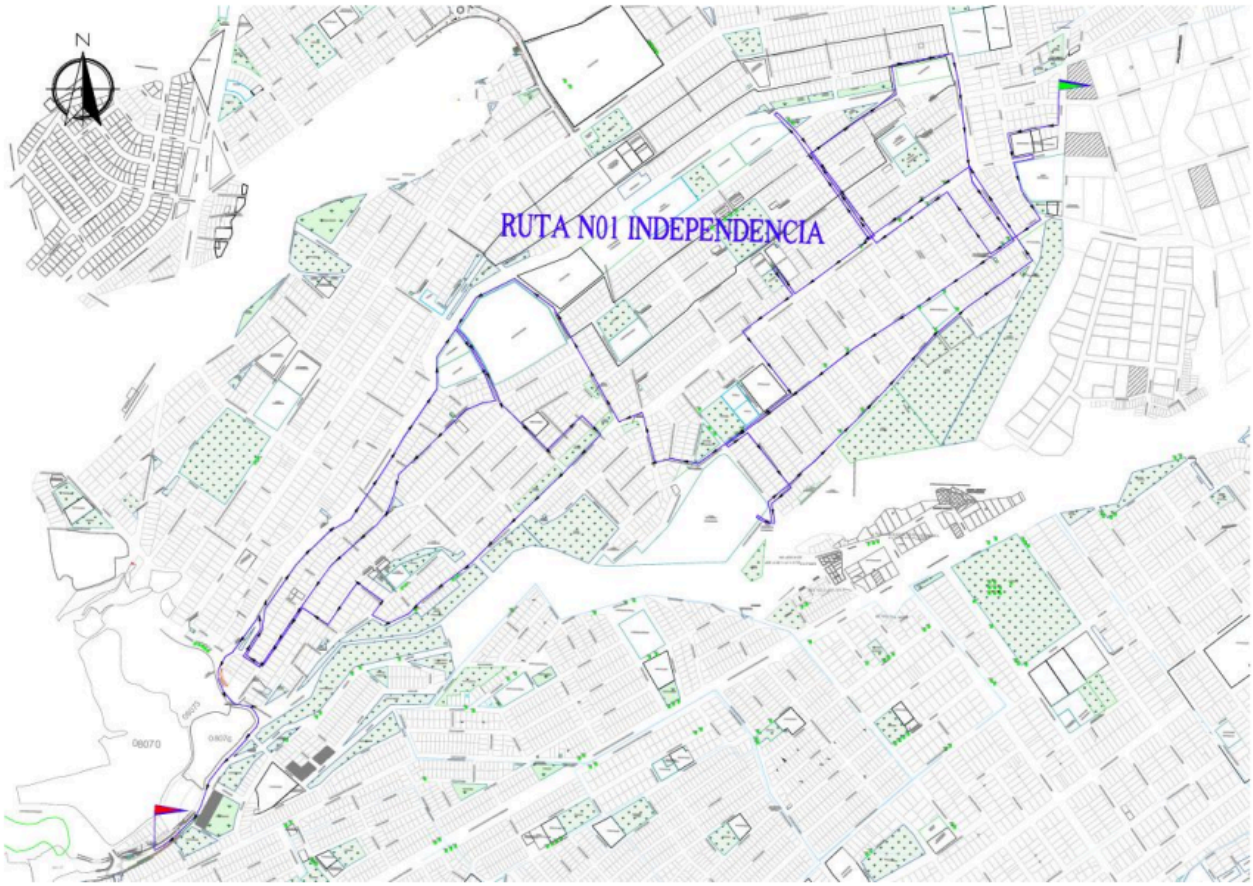
Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026). Rt 02 Asa”:

La ruta de recolección RT-02 ASA abarca las siguientes vías: Av. México con Av. Brasil, Av. España, Av. 12 de Octubre, Av. Obrera, Av. América, pasaje Olaya, Av. Argentina, Av. Gutemberg, 1.º de Mayo, Av. Roosevelt, Av. Jacinto Ibañez, calle Libertad, calle Atlántida, calle

Huayna Cápac, calle Manco Cápac, calle Daniel Alcides Carrión y calle Jacinto Ibañez.

Figura 7

Ruta de recolección “RT 01 IND”



Nlota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026). Rt 01 IND”:

El servicio de recolección correspondiente a la ruta RT-01 IND abarca las siguientes vías: Av. 15 de Agosto, calle Nodal (jirón), jirón Abrayán, Av. Juan Pablo Vizcardo y Guzmán, jirón Elías Aguirre, jirón Cereza, pasaje Fucsia, pasaje San Martín, jirón Mariano Melgar, jirón Francisco

Zela, jirón Los Rosales, pasaje Primavera, jirón Simón Bolívar, calle Bolognesi, jirón Los Guindos y Av. Independencia Americana.

Figura 8

Ruta de recolección "RT 1.2 IND"

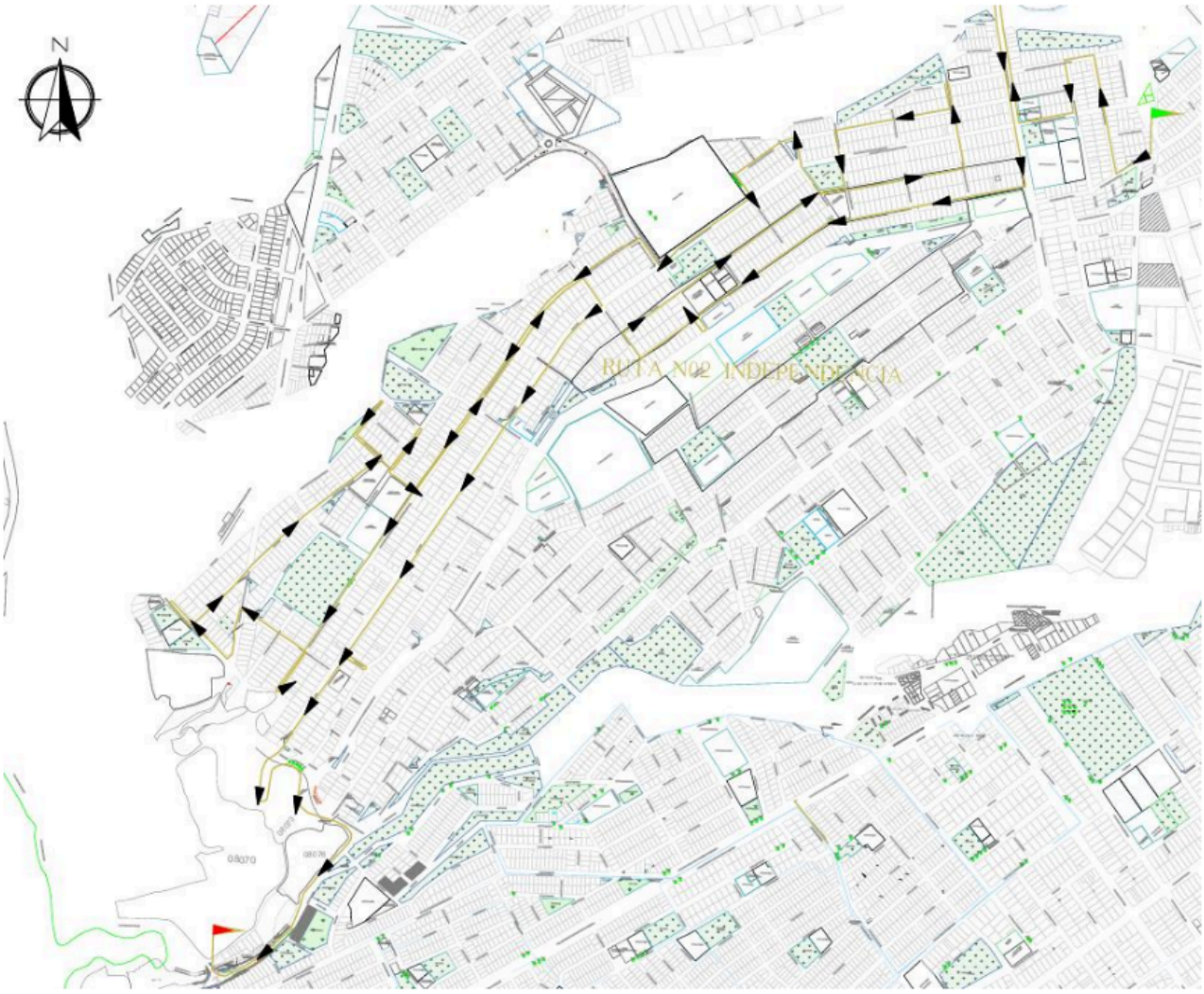


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026). "Rt 1.2 IND"

Los puntos de recolección correspondientes al código RT-1.2 IND comprenden las siguientes vías: Av. Elías Aguirre, jirón Gonzales Prada, Av. 15 de Agosto, jirón Alfonso Ugarte, jirón Leoncio Prado, jirón Mariano Melgar, jirón Francisco Zela, jirón Los Cipreses, jirón Daniel Alcides Carrión, jirón Simón Bolívar, pasaje Azafrán y Av. Independencia Americana.

Figura 9

Ruta de recolección “RT 02 IND”

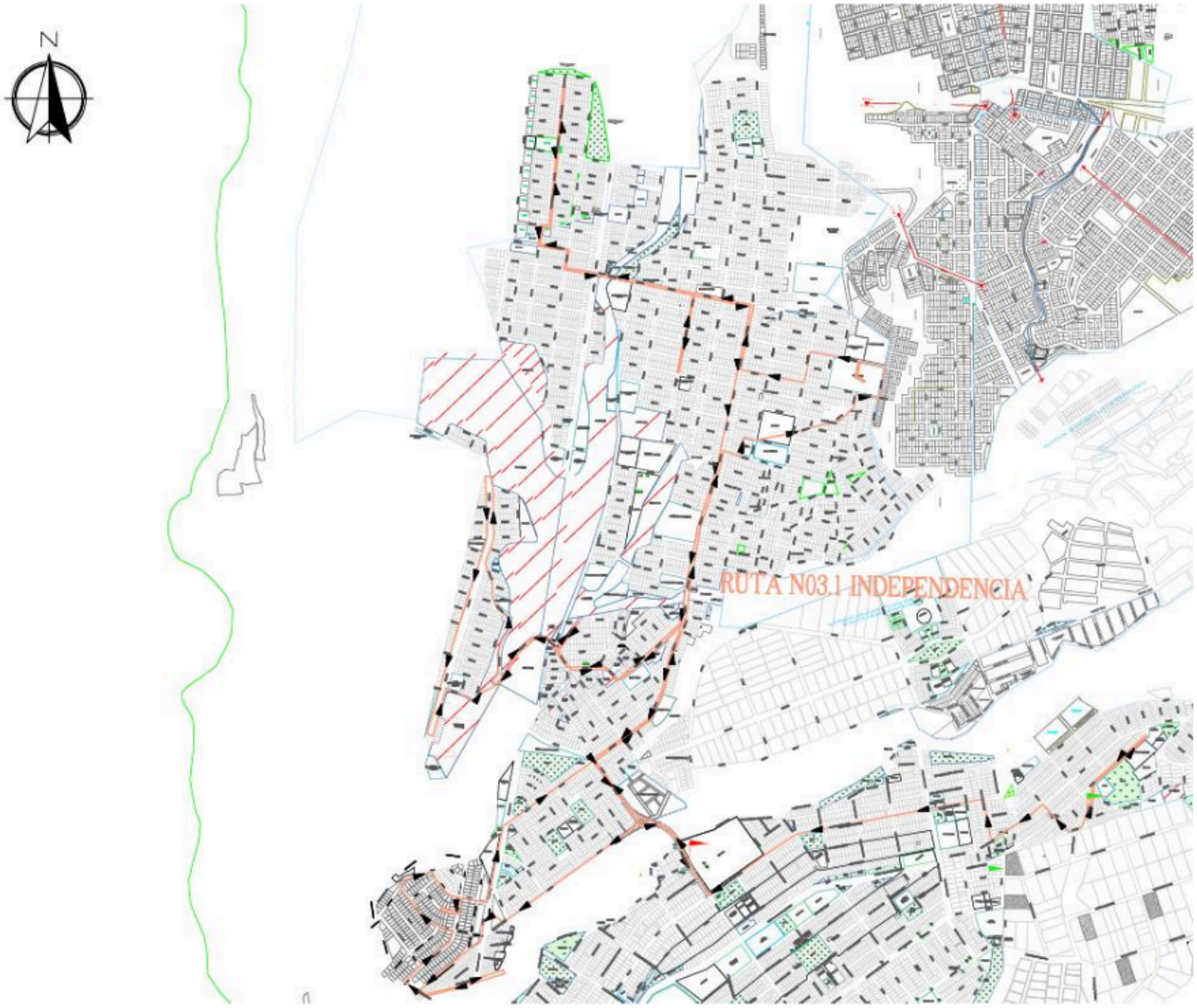


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 02 IND

El recorrido asignado a la ruta RT-02 IND comprende las siguientes vías: calle Los Olivos, Av. Elías Aguirre, jirón Miguel Grau, calle Girasoles, calle San Martín, jirón Los Arrayanes, urb. Magisterial, 1.º de Enero, Villa Chachas, Villa Florida, Av. Independencia Americana y Villa Independiente.

Figura 10

Ruta de recolección “RT 3.1 IND”

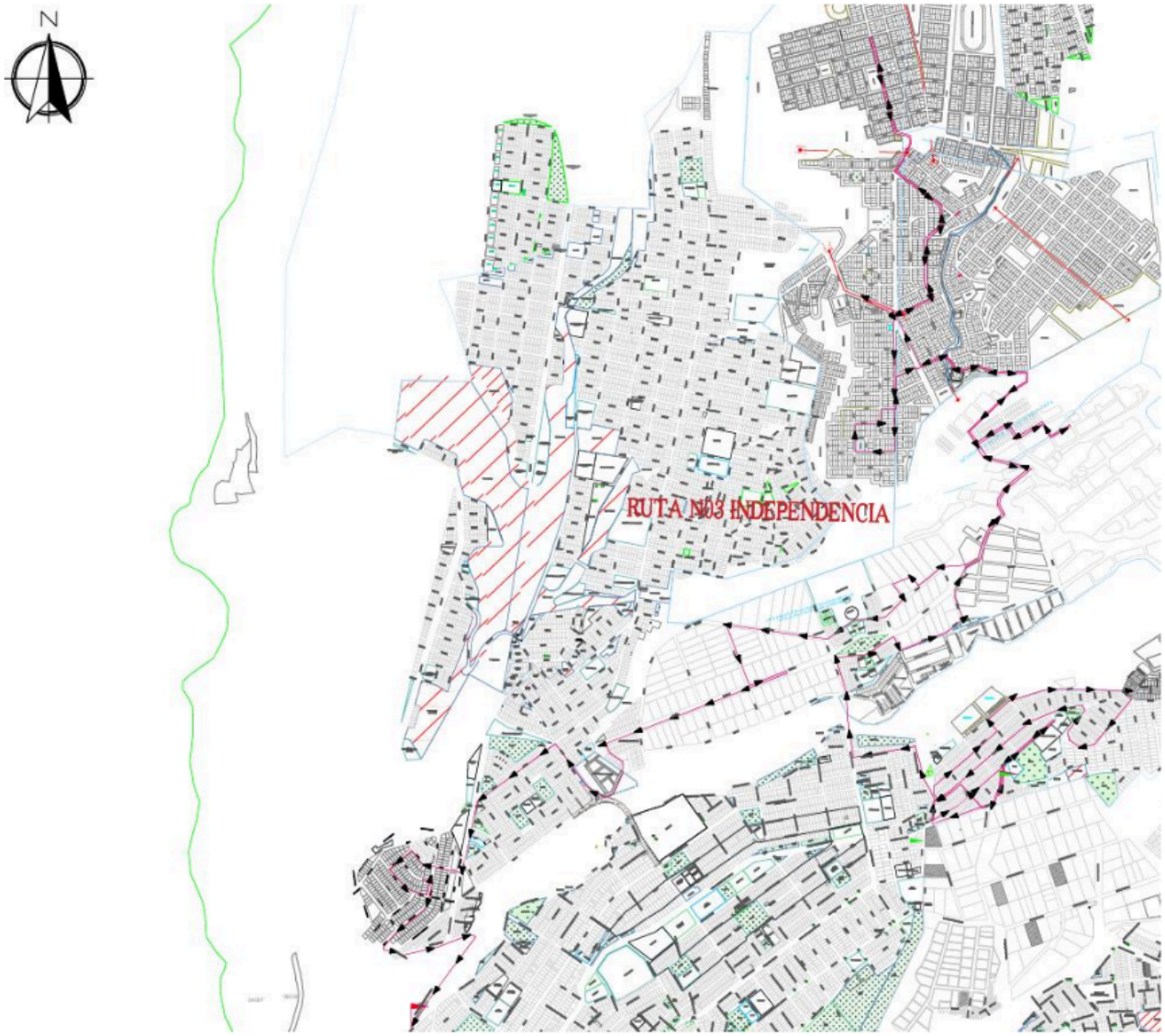


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 3.1 IND

La logística de las rutas de recolección asociadas al código RT-3.1 IND comprende las siguientes vías: calle 06, calle 04, jirón Miguel Grau, jirón Alto de la Alianza, jirón Francisco Mostajo, Av. 01, calle Principal, calle Las Amapolas y Avenida 2.

Figura 11

Ruta de recolección “RT 3 IND”



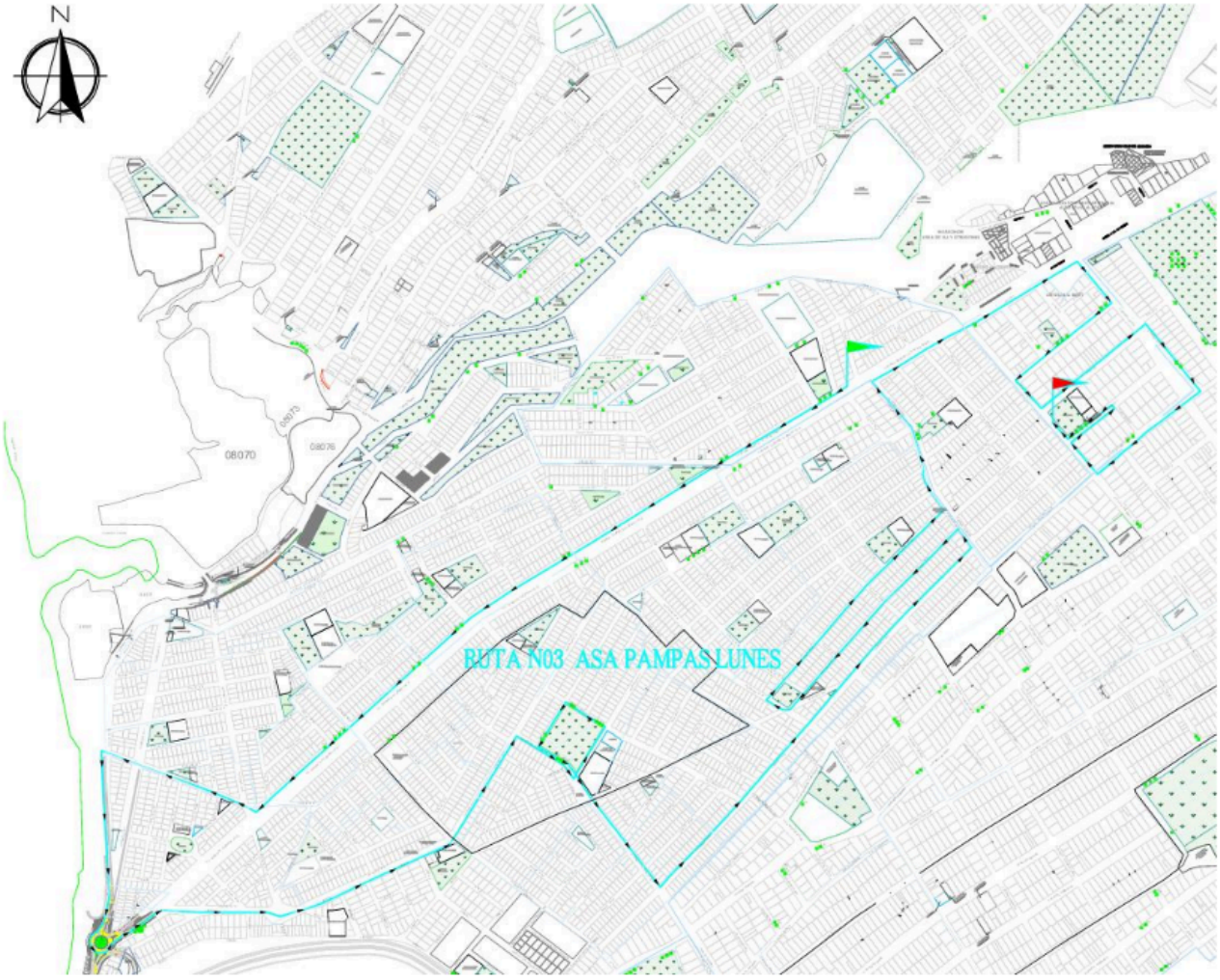
Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 3 IND

Los trayectos vinculados a la unidad de servicio RT 3 IND están definidos por Calle 05, Calle 06, Calle 02, Calle 21, Av. Virgen del Rosario, Jiron Hoyos Rubios, Av. 15 de Agosto, Calle 04, Calle Sur, Calle 08, Avenida B, Asociación Luis Gonzaga Zona A, Av. Virgen de Chapi,

Avenida 02, Avenida 01, Calle 18, Asociación Semirrural Huarangal, Avenida A, Calle 04, Calle 09, Avenida 02, Avenida Principal.

Figura 12

Ruta de recolección "RT 3 ASA PAM LUN"



Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 3 ASA PAM LUN

Los trayectos vinculados a la unidad de servicio RT-3 IND están definidos por las siguientes vías: calle 05, calle 06, calle 02, calle 21, Av. Virgen del Rosario, jirón Hoyos Rubios, Av. 15 de Agosto, calle 04, calle Sur, calle 08, Av. B, asociación Luis Gonzaga (zona A), Av. Virgen de

Chapi, Av. 02, Av. 01, calle 18, asociación semirrural Huarangal, Av. A, calle 04, calle 09, Av. 02 y avenida Principal.

Figura 13

Ruta de recolección “RT 3 ASA PAM LUN”



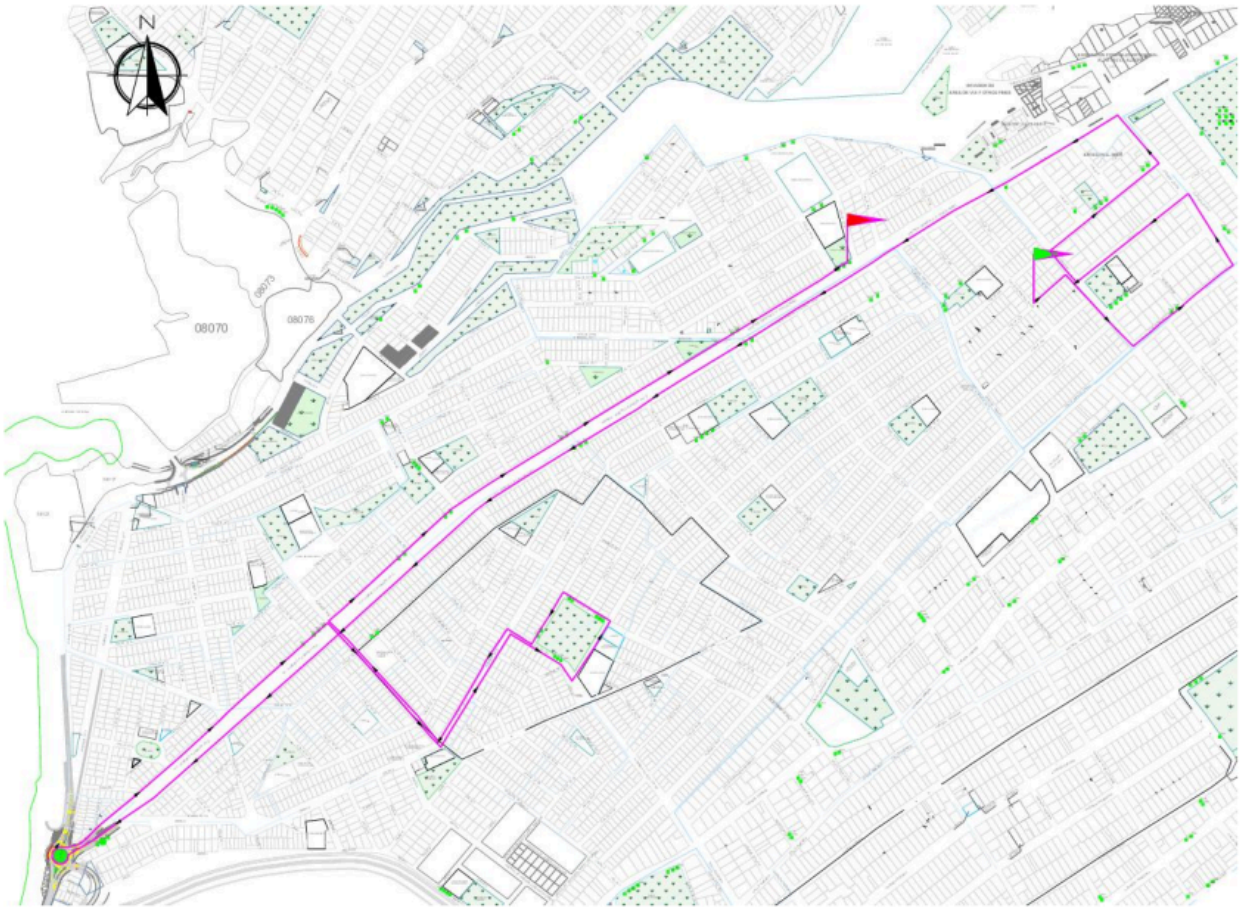
Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 3 ASA PAM MAR.

El recorrido asignado al código RT-3 ASA PAM MAR comprende las siguientes vías: Av. Las Torres, Av. Chilina, calle Javier Heraud, Av. Leticia, calle México, calle Uruguay y calle Manco Cápac.

26

Figura 14

Ruta de recolección “RT 3 ASA PAM MIER”

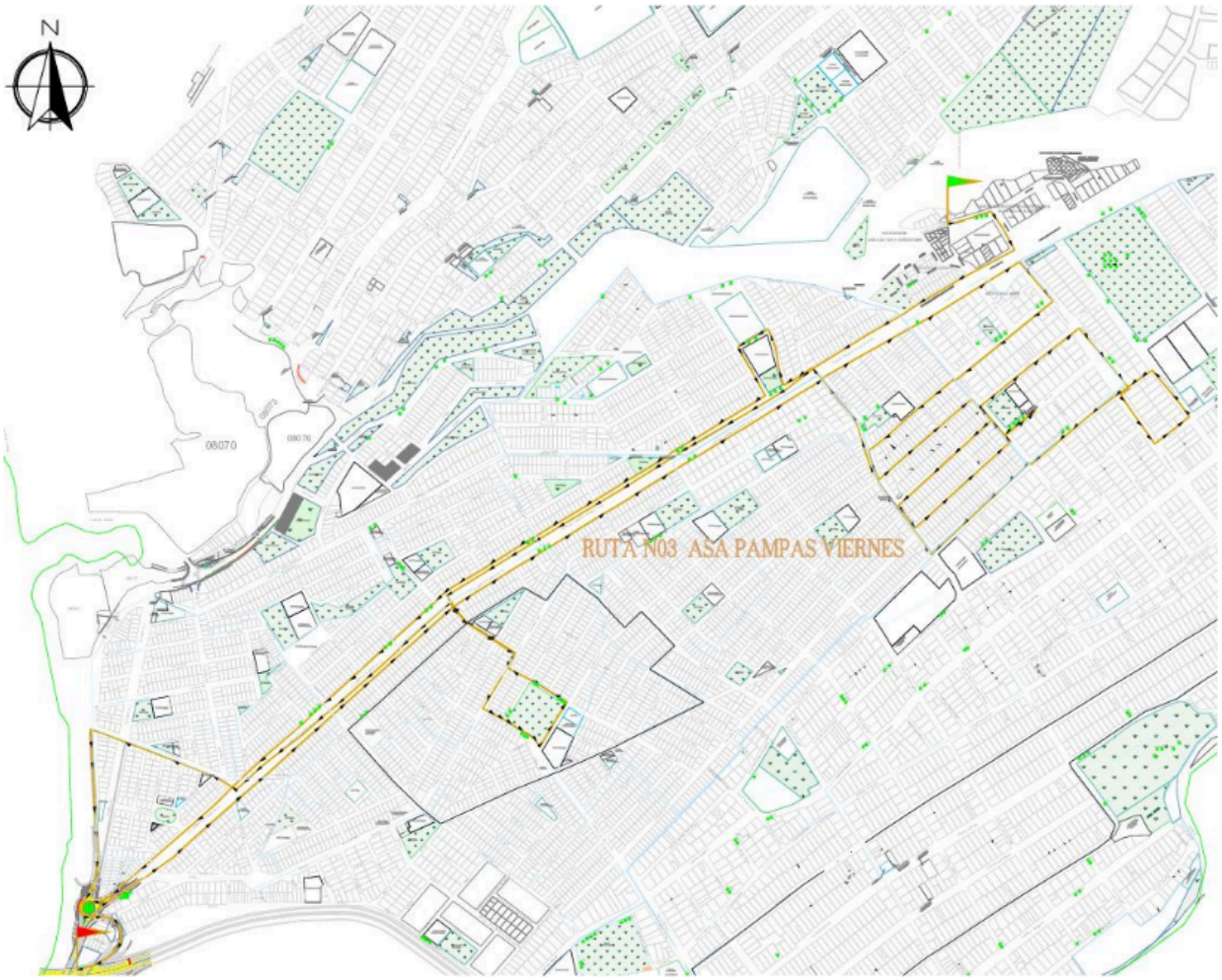


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 3 ASA PAM MIER.

La ruta de recolección correspondiente al identificador RT-02 ASA comprende las siguientes vías: calle Uruguay, calle Manco Cápac, Av. Leticia, Av. Las Torres, Av. Chilina, Av. El Sol y calle Javier Heraud.

Figura 15

Ruta de recolección “RT 3 ASA PAM VIE”

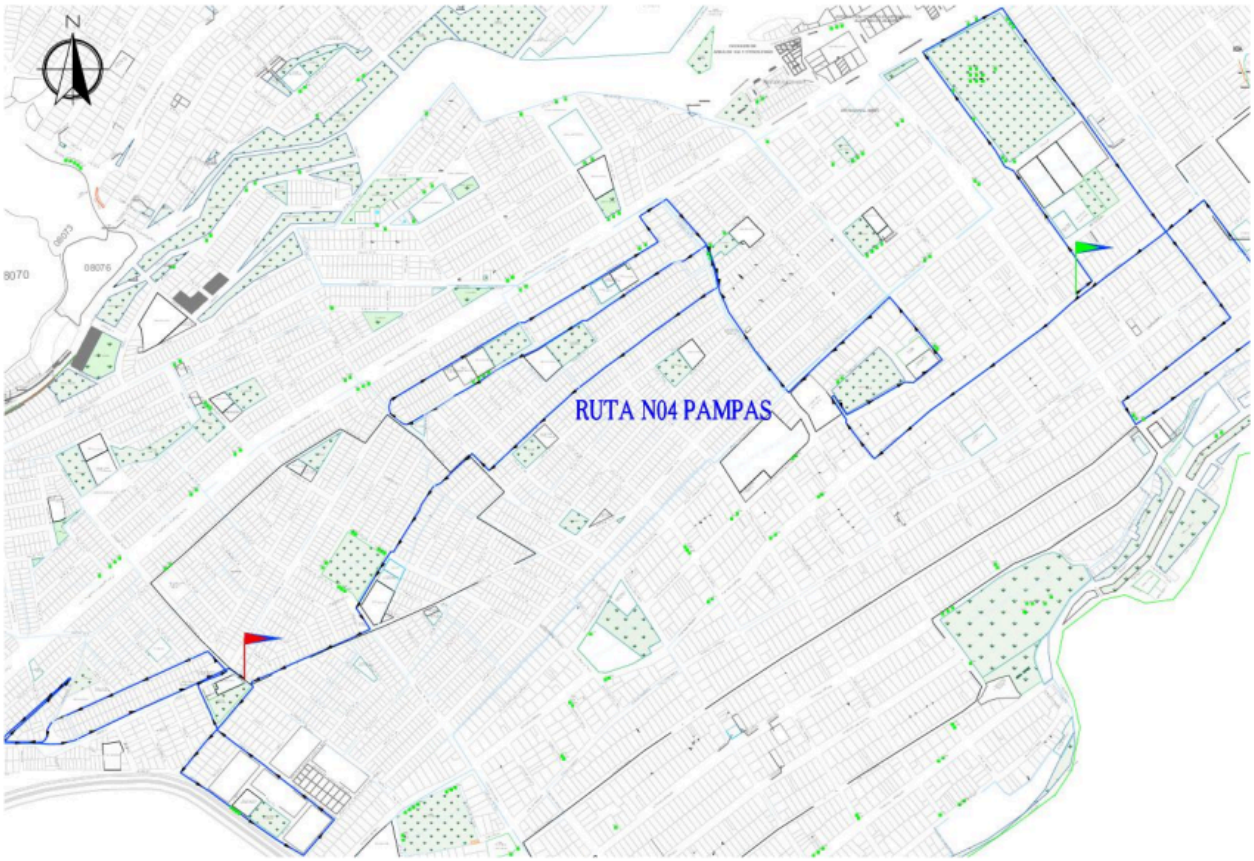


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 3 ASA PAM VIE.

Los sectores contemplados en el código RT-3 ASA PAM VIE comprenden las siguientes vías: calle Venezuela, calle Uruguay, calle Manco Cápac, Av. Leticia, Av. Las Torres, Av. México, Av. Chilina, Av. El Sol, calle Javier Heraud y calle Óscar Nieves.

Figura 16

Ruta de recolección “RT 04 ASA”

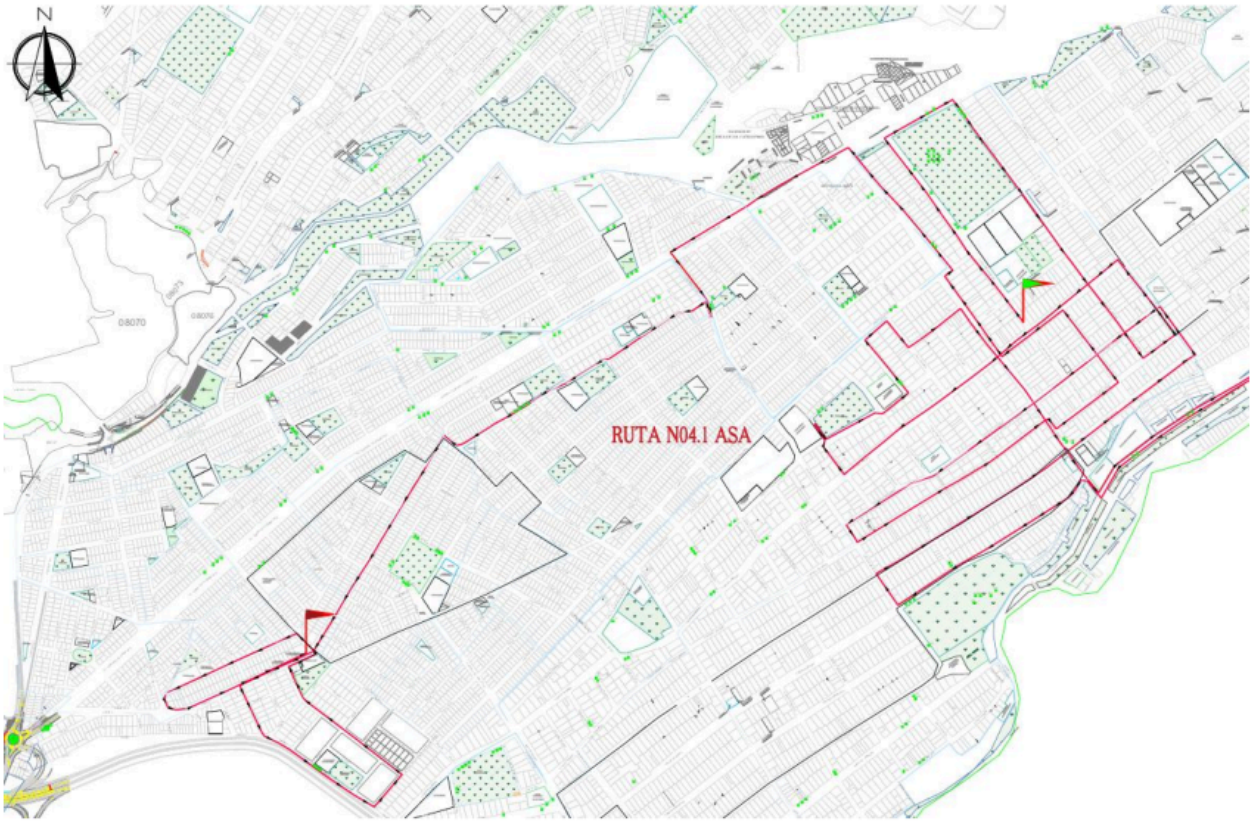


Nlota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026). RT 04 ASA”:

Los trayectos vinculados a la ruta de servicio RT-04 ASA están definidos por las siguientes vías y sectores: Av. Lima, calle Obrera, Av. México (sector La Bombonera), cooperativa Ramiro Prialé, cooperativa Javier Heraud, Villa Arequipa, iglesia Guadalupe, cooperativa Augusto Salazar Bondy y cooperativa Andrés Avelino Cáceres.

Figura 17

Ruta de recolección “RT 04 – 1 ASA”

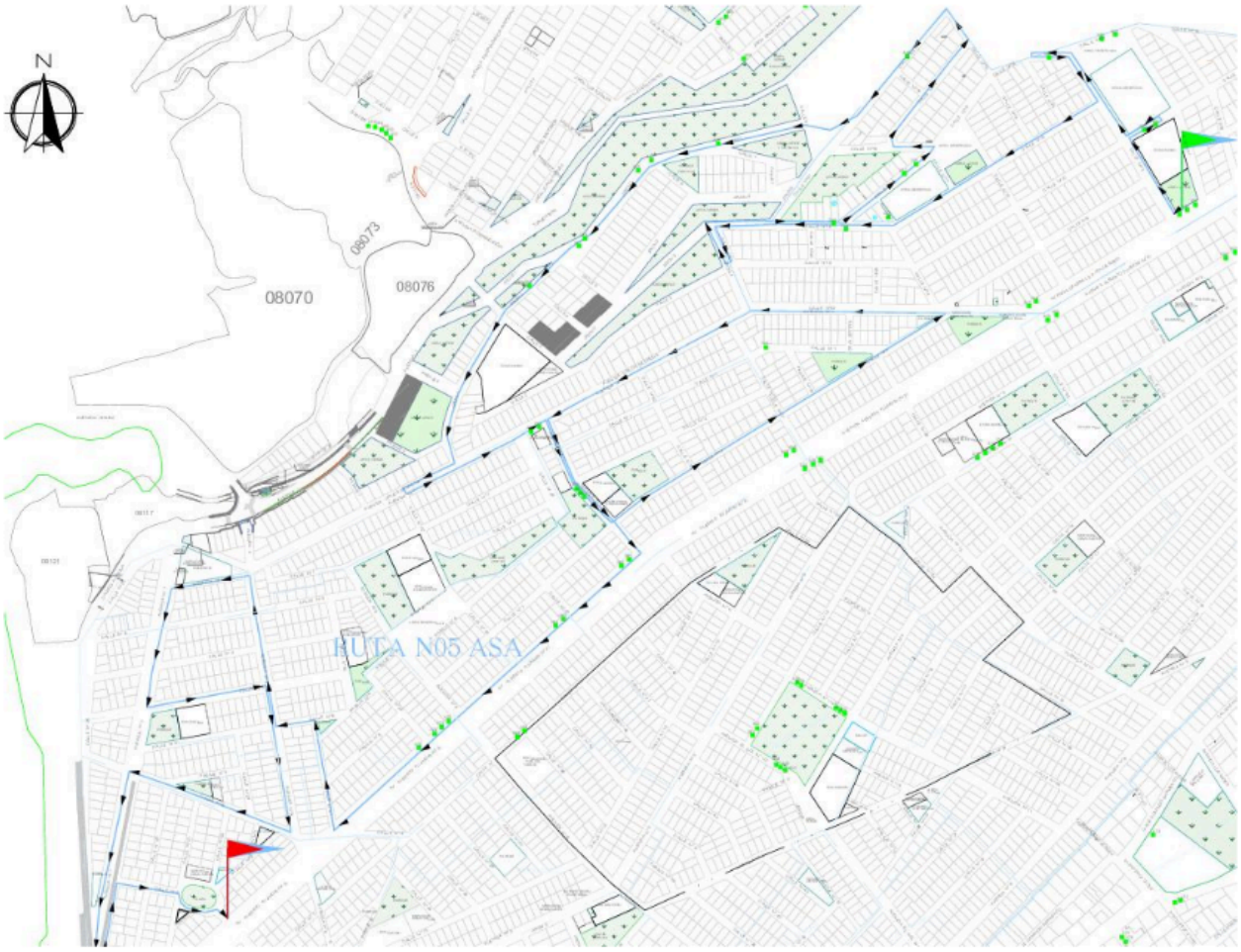


Nlota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 04 – 1 ASA.

Se procede a detallar el desglose de la ruta RT-04.1 ASA, la cual comprende las siguientes vías: calle Óscar Nieves, Av. Justicia, Av. Apurímac, Av. Atahualpa, Av. Obrera, calle Jorge Engel, Av. Huáscar, Av. España, Av. Brasil, Av. Cuba, calle Victoria, calle Venezuela, calle Manco Cápac, Av. Leticia, Av. Las Torres y jirón Andrés Avelino Cáceres.

Figura 18

Ruta de recolección “RT 04 – 1 ASA”

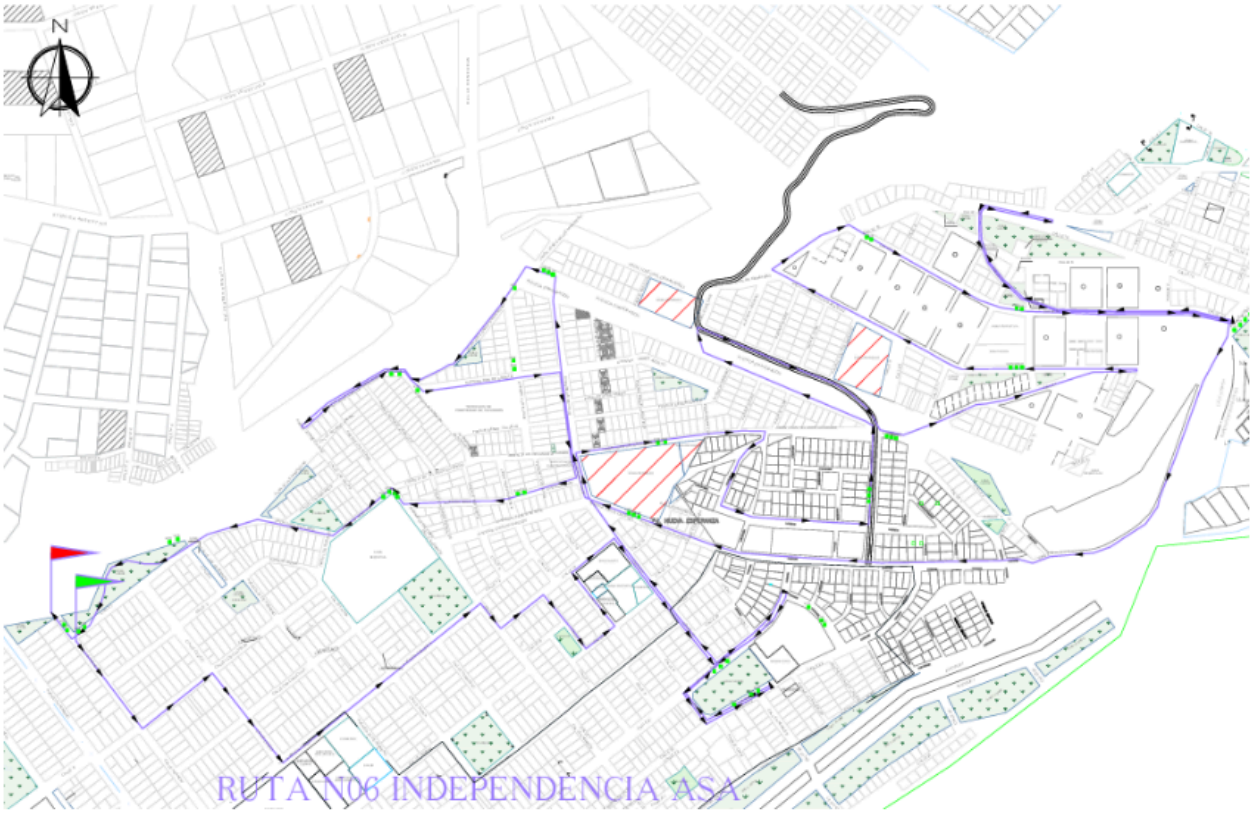


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 05 ASA.

Los trayectos vinculados a la unidad de servicio RT-05 ASA están definidos por las siguientes vías: calle San Isidro, Av. Las Torres, calle 8, calle 9, Av. 7, Av. 8, calle 5, Av. 9, Av. 1, Av. Alberto Fujimori y Av. Cruce de Chilina.

Figura 19

Ruta de recolección “RT 06 IND ASA”

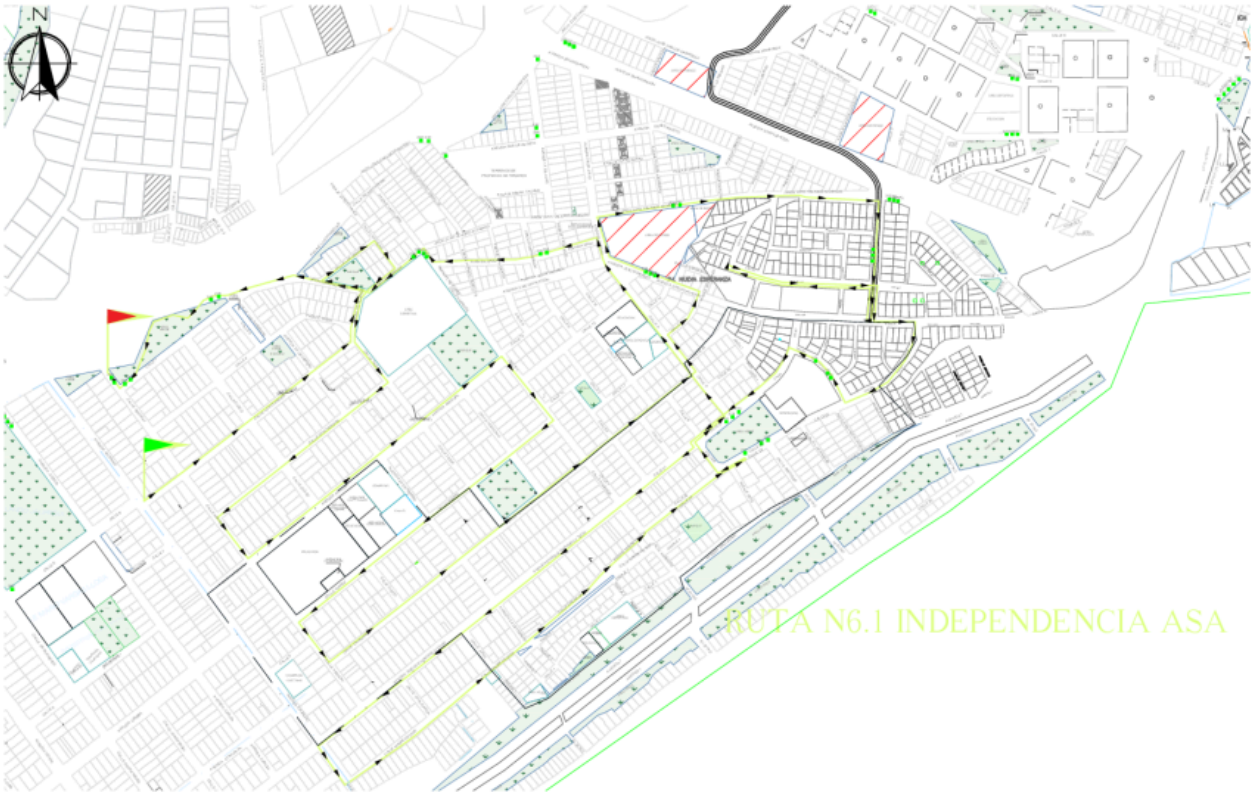


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 06 IND ASA.

El recorrido asignado al código RT-06 IND ASA comprende las siguientes vías: calle Progreso, calle Abancay, Av. Arequipa, jirón 2 de Octubre, calle Cusco, Av. Misti, Av. Martinelli, Av. 28 de Julio, calle César Vallejo, calle Juan Velasco Alvarado y Av. San Luis.

Figura 20

Ruta de recolección “RT 6.1 IND ASA”

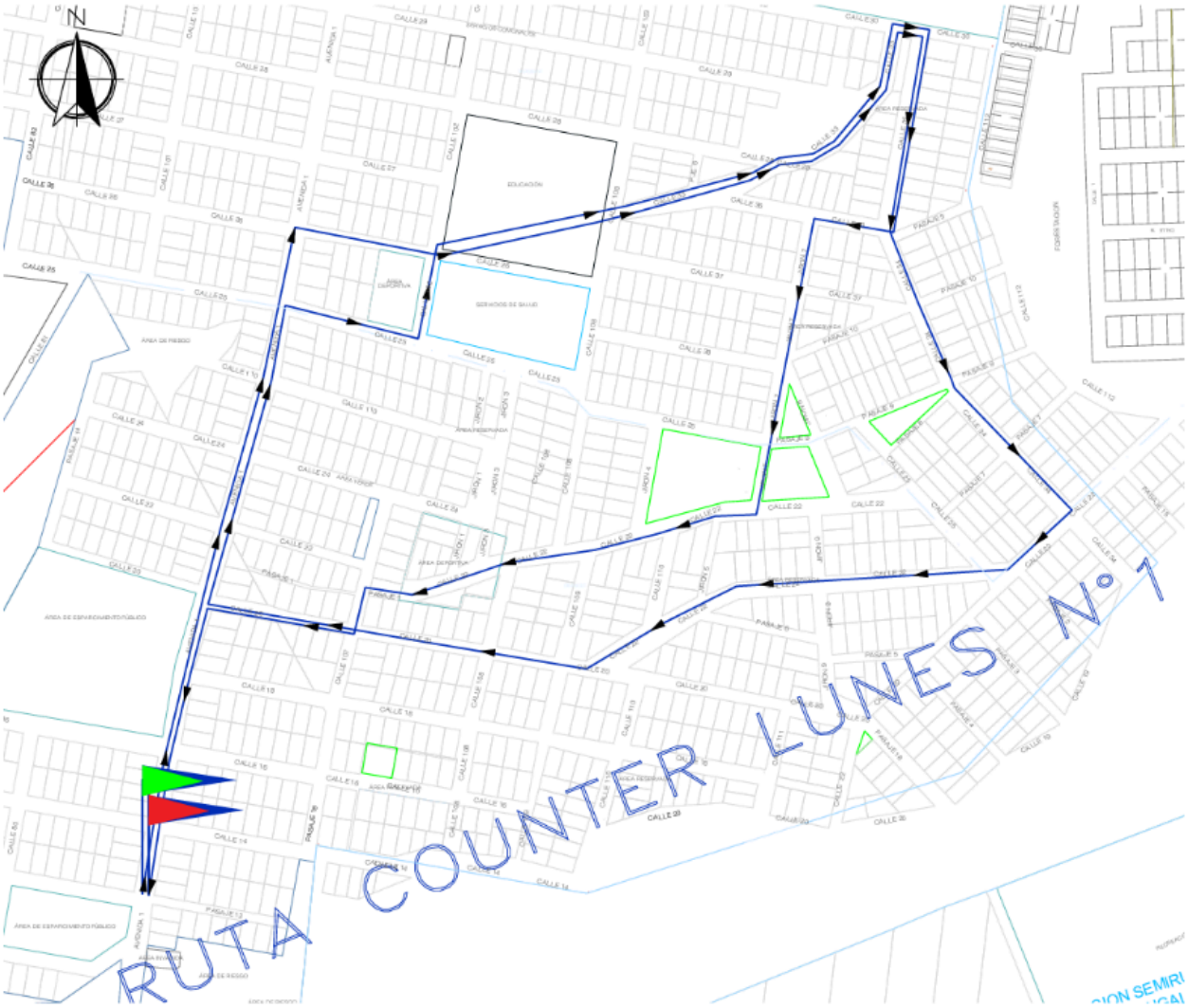


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT 6.1 IND ASA.

El despliegue de la ruta de recolección RT-6.1 IND ASA se inicia recorriendo las siguientes vías: calle Los Claveles, jirón Los Rosales, jirón 20 de Octubre, calle Dalias, calle Tacna, calle Chachapoyas, Av. Arequipa, calle Huaraz, calle Cajamarca, Av. Circunvalación, jirón Juan Velasco Alvarado, calle Madre de Dios, Av. Martinelli y calle Tizón.

Figura 21

Ruta de recolección “RT 6.1 IND ASA”

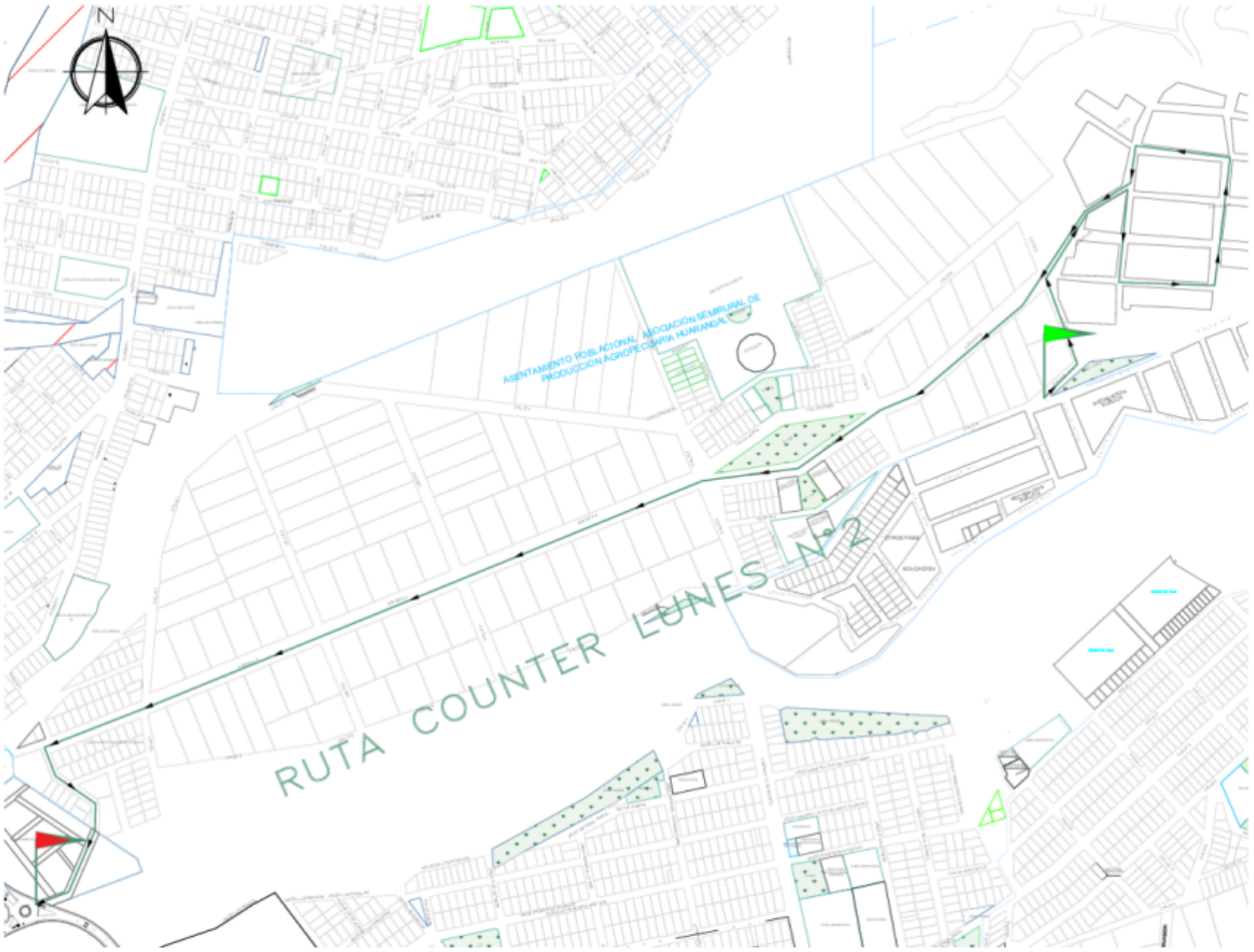


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO L01.

Los trayectos vinculados a la unidad de servicio RT-CO L01 están definidos por las siguientes vías: Av. 01, calle 20, calle 22, calle 34, calle 33 y calle 26.

Figura 22

Ruta de recolección “RT CO L02”

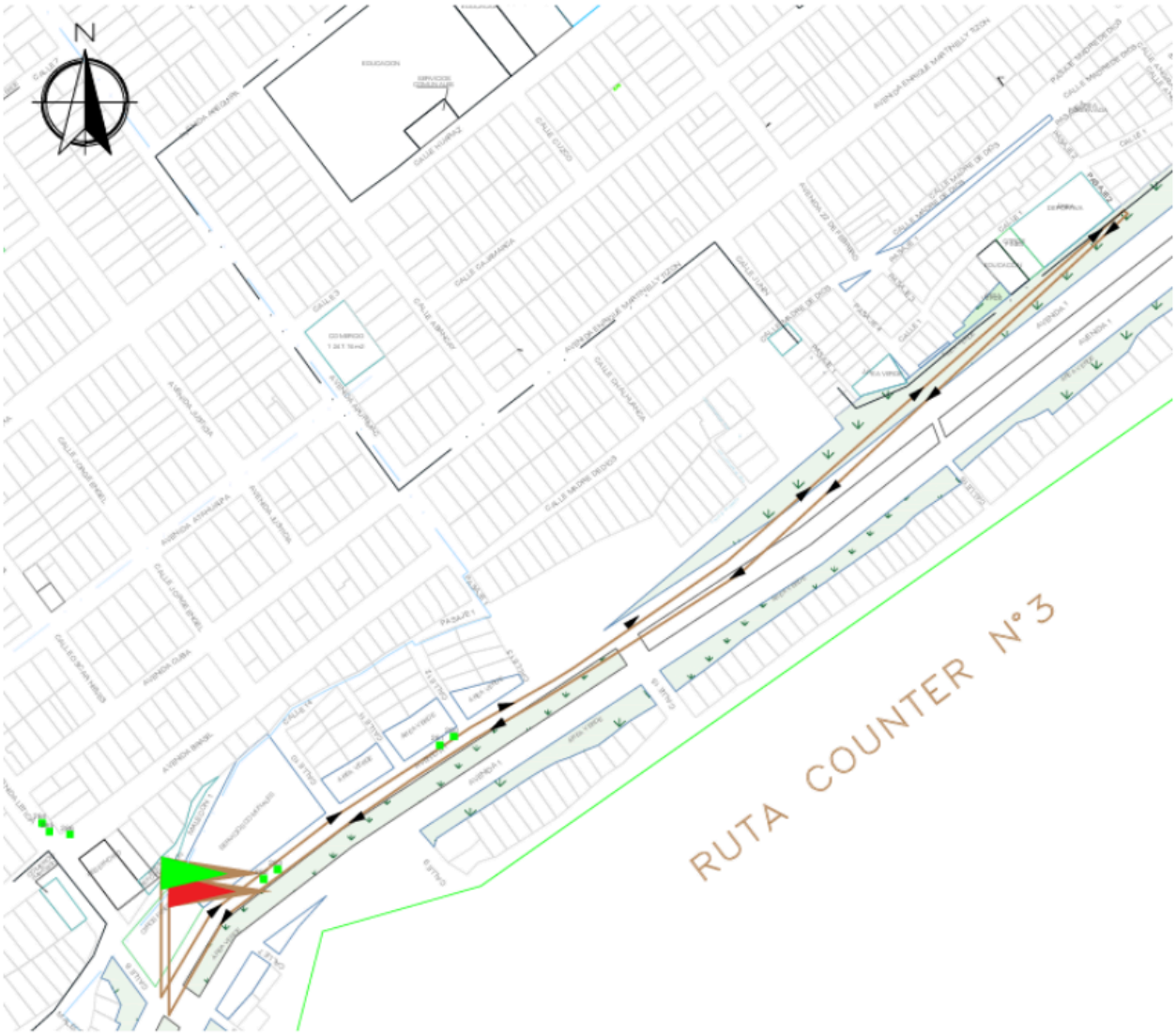


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO L02.

La cobertura de recolección bajo la nomenclatura RT-CO L02 abarca las siguientes vías: calle 8, calle 7, Av. B, calle Sur y Avenida A.

Figura 23

Ruta de recolección “RT CO L03”

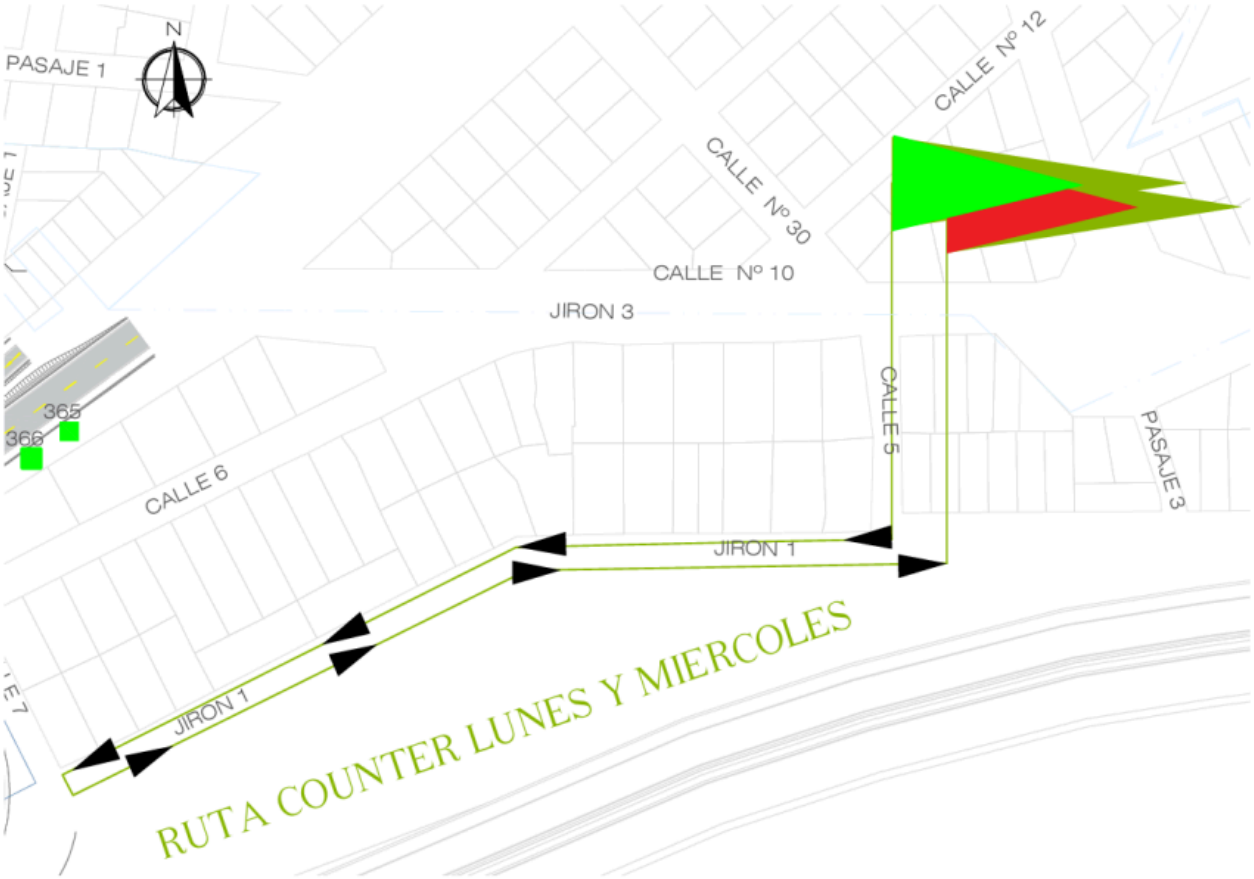


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO L03.

El itinerario previsto para la unidad RT CO L03, contempla la Avenida 01.

Figura 24

Ruta de recolección “RT CO L/M”



Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO L/M

La zona que integrada la ruta RT CO L/M es Jiron 01.

Figura 25

Ruta de recolección “RT CO MAR N1”

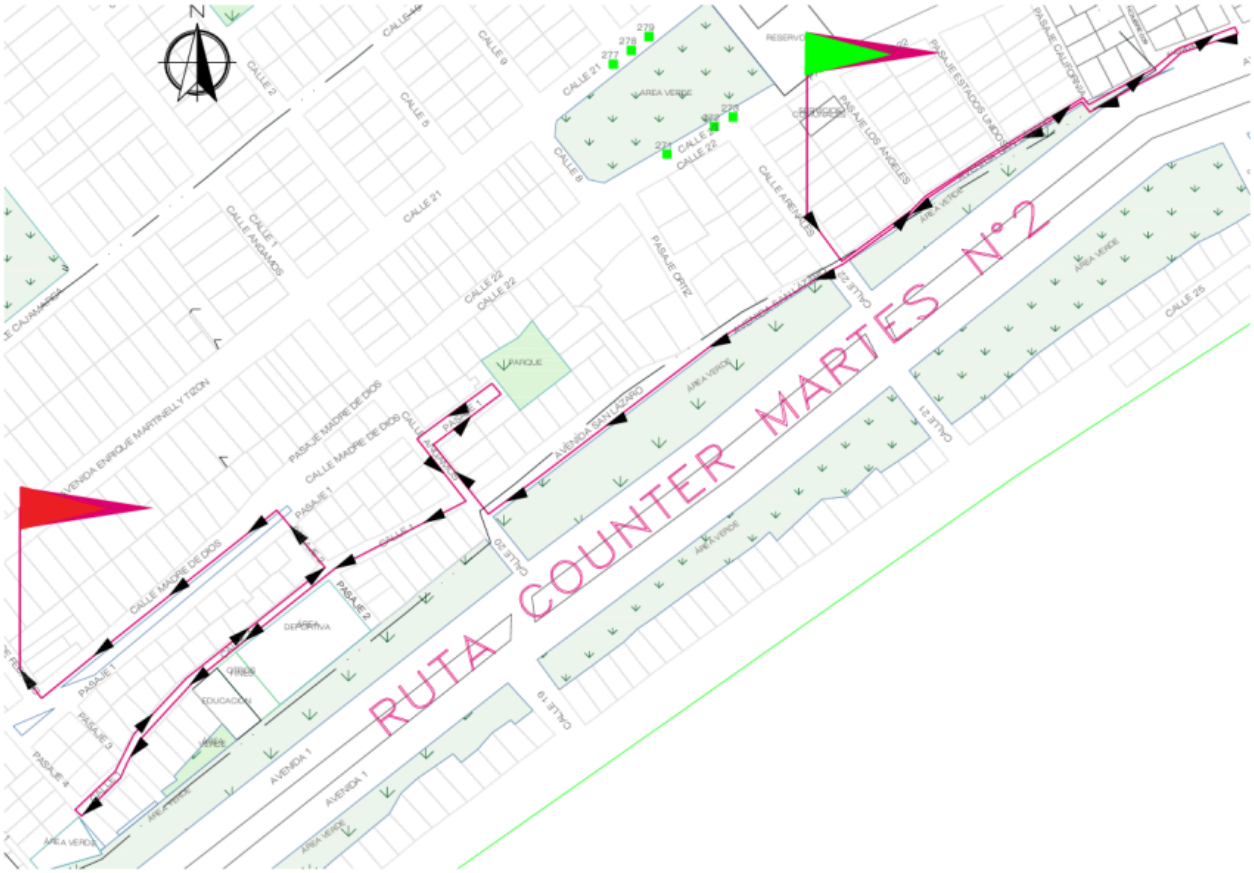


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO MAR N1.

La hoja de trabajo correspondiente al código RT-CO MAR N1 presenta el siguiente orden de recorrido: calle 26, calle 36, calle 07, calle 01, Av. Portales del Mirador, calle 09 y Av. 02.

Figura 26

Ruta de recolección “RT CO MAR N2”

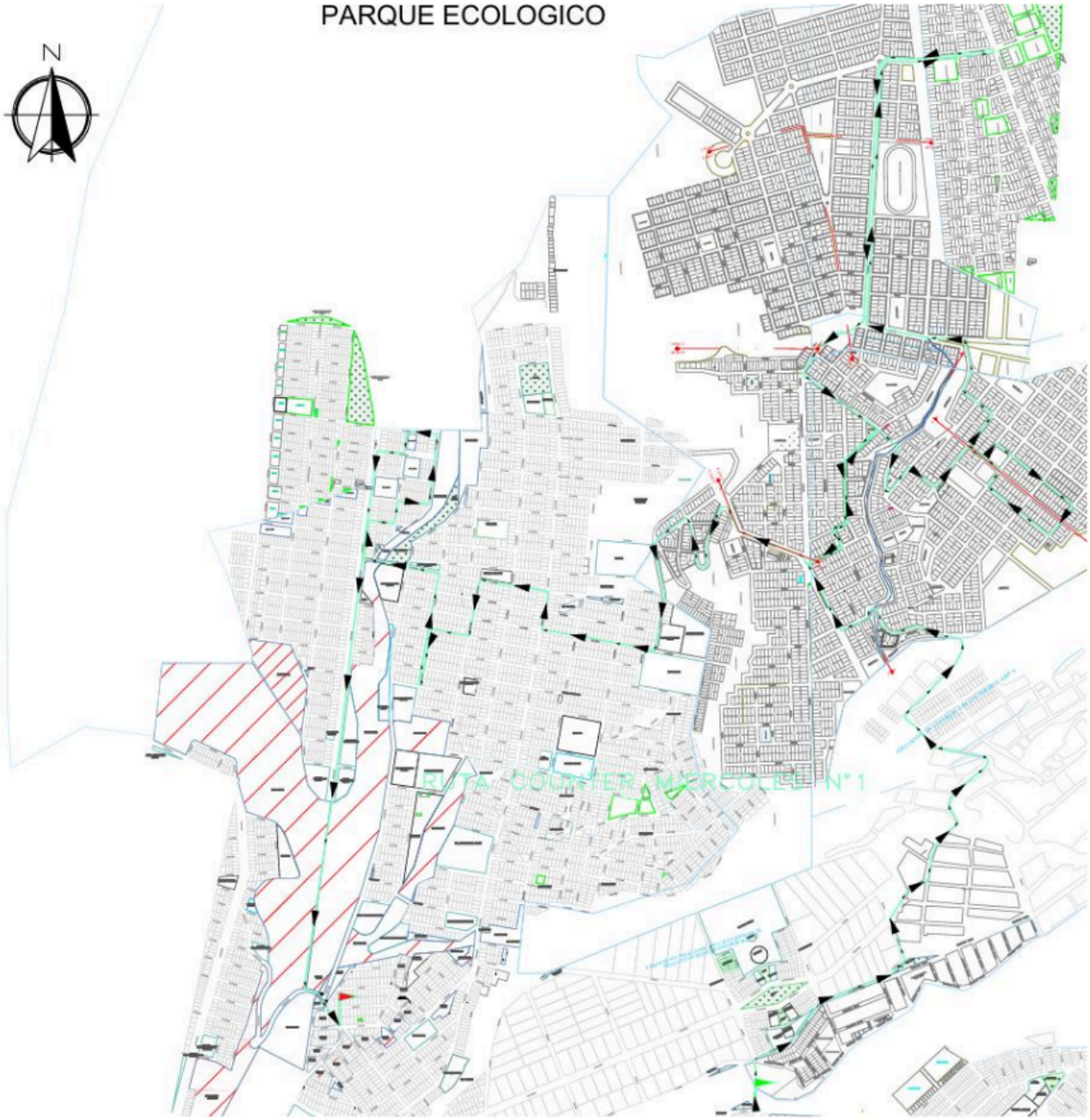


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO MAR N2.

El plan de ruta RT-CO MAR N2 detalla el siguiente recorrido: calle Arenales, Av. San Lázaro, calle Angamos, calle 01 y calle Madre de Dios.

Figura 27

Ruta de recolección “RT CO Mie N1”

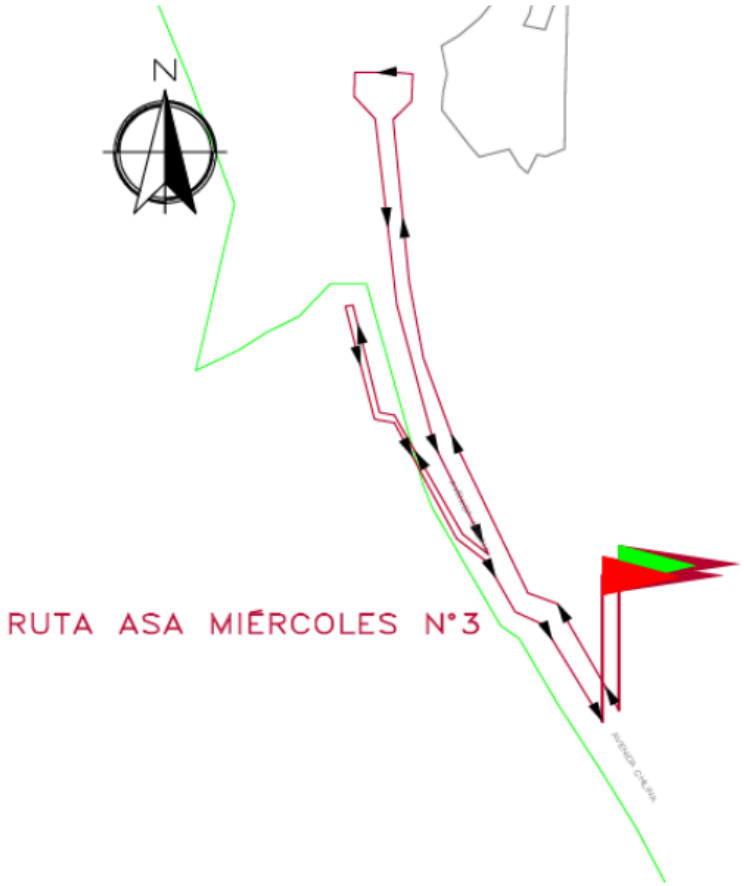


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO Mie N1.

La logística de las rutas de recolección asociadas al código RT-CO Mie N1 comprende el siguiente conjunto de vías: calle 08, Av. Virgen de Chapi, Av. 02, calle 105, calle 32, calle 82, calle 34, calle 84 y Av. 03.

Figura 28

Ruta de recolección “RT CO Mie N3”



Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO Mie N3.

El desglose de la ruta RT CO Mie N3, es parte de la Avenida Av. Chilina.

Figura 29

Ruta de recolección “RT CO Mie /Vie”

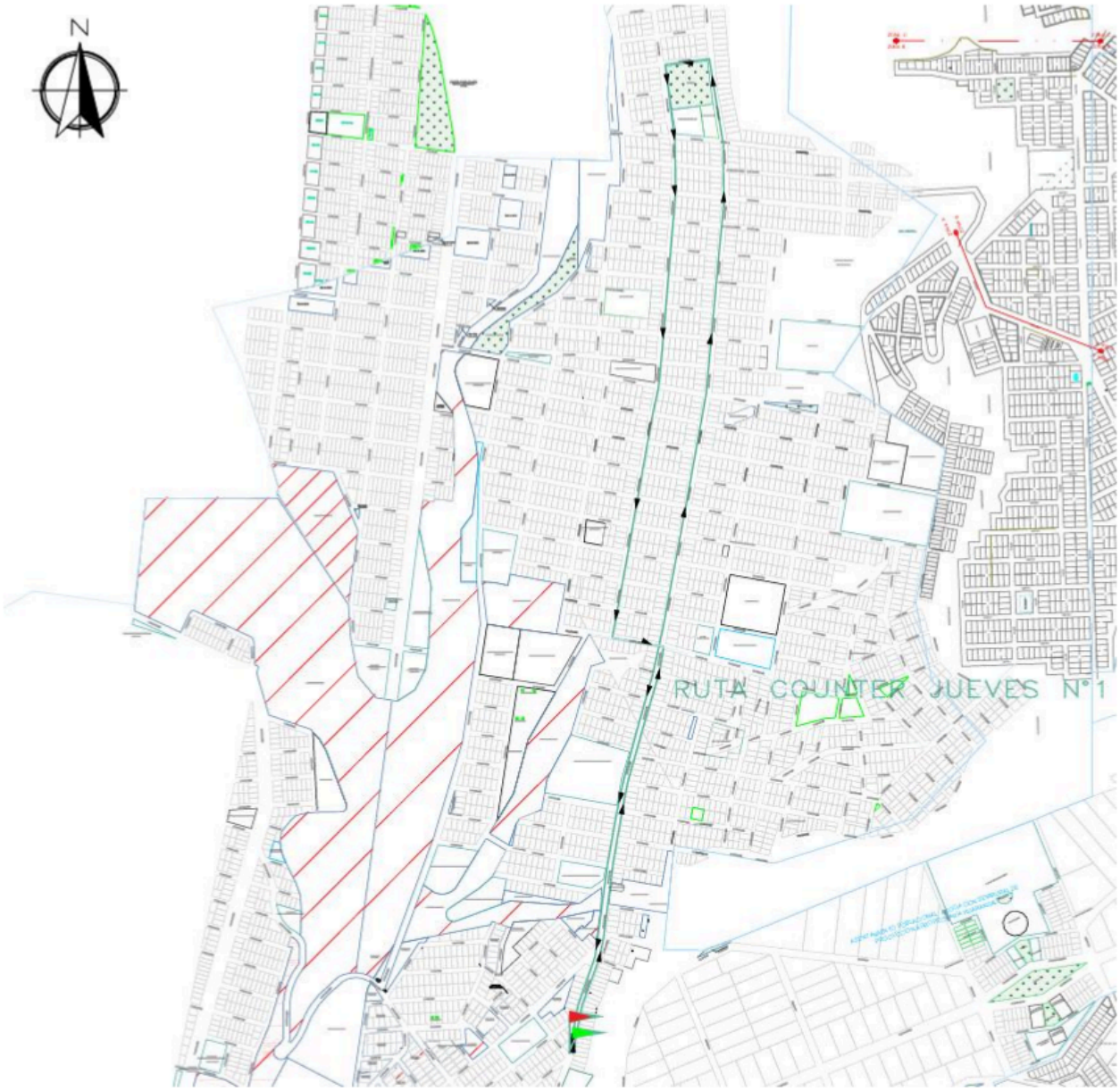


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO Mie /Vie.

El recorrido asignado al código “RT CO Mie /Vie” es Calle Arenales, Av. San Lazaro, Calle Angamos.

Figura 30

Ruta de recolección “RT CO Jue N1”



Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO Jue N1.

El servicio de recolección correspondiente a la clave RT-CO Jue N1 recorrerá las siguientes vías: Av. 01, calle 98, calle 101 y calle 25.

Figura 31

Rutas de recolección “RT CO Jue N2”

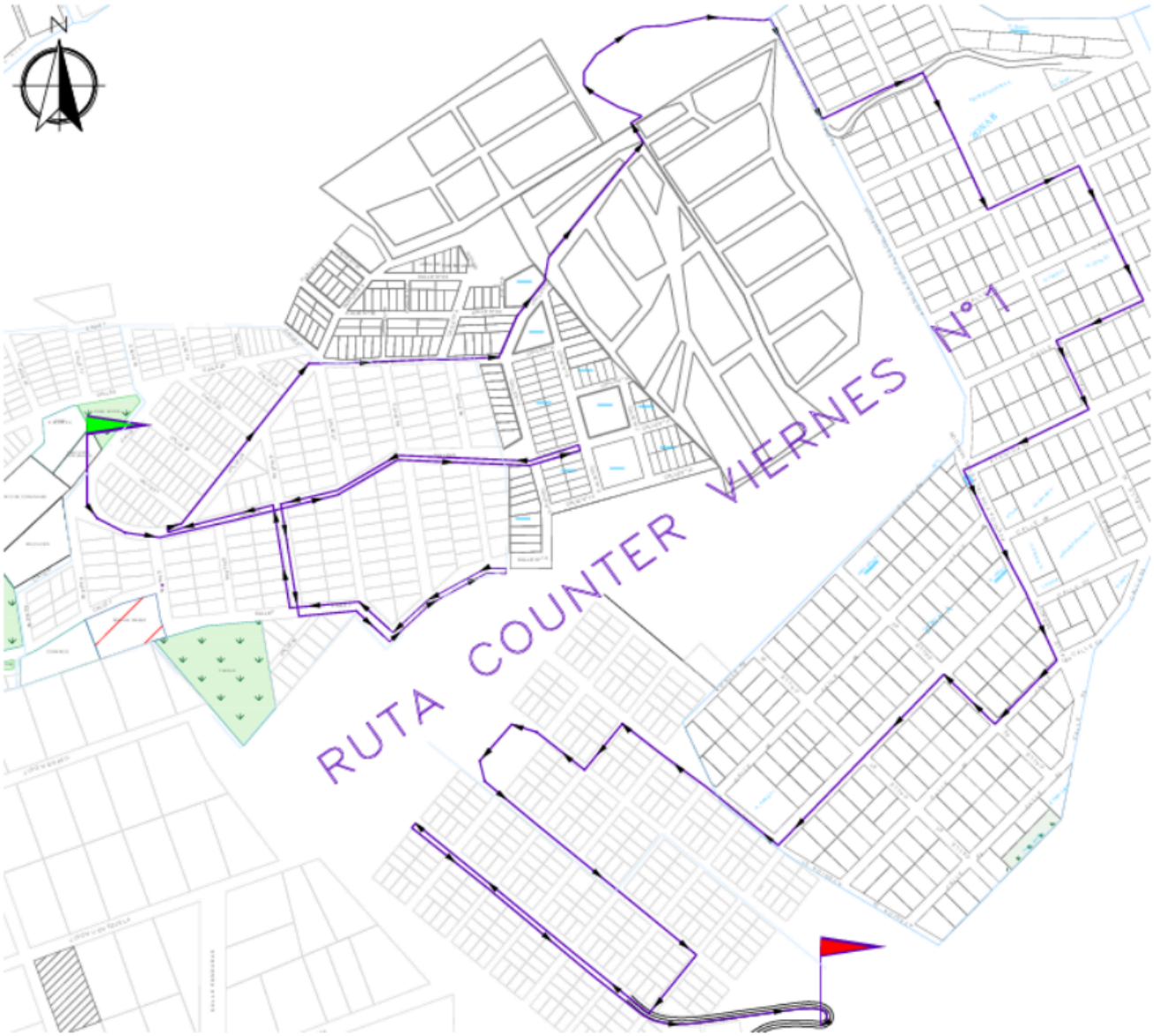


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO Jue N2.

Bajo la clave RT-CO Jue N2, se han definido las siguientes rutas de recolección: calle 24 y calle 03.

Figura 32

Ruta de recolección “RT CO Vie N1”

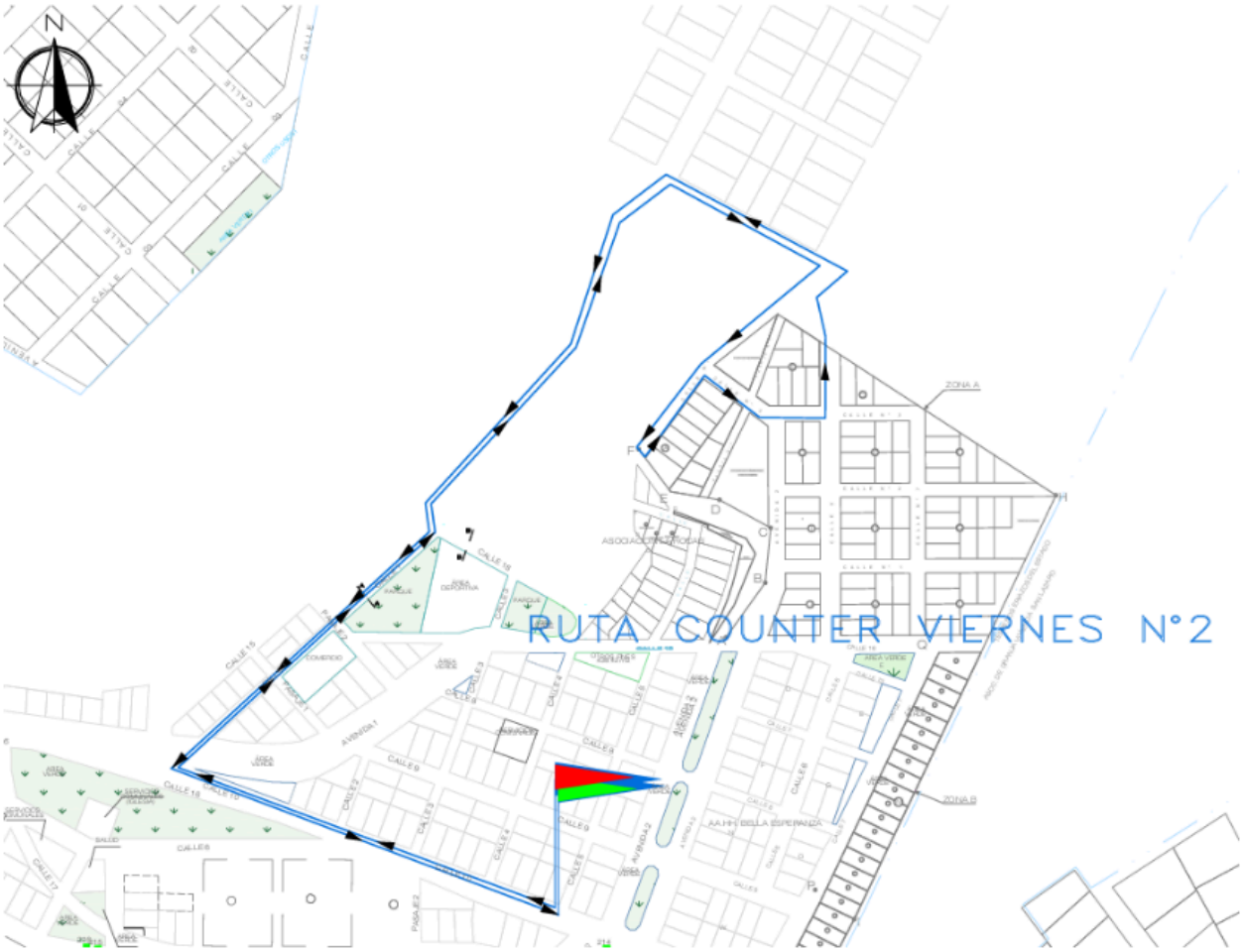


Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO Vie N1.

La ruta de recolección correspondiente al identificador RT-CO Vie N1 comprende las siguientes vías: calle 26, calle 25, calle 7, calle 01, Av. Portales del Mirador, calle 09, calle 10 y Av. 10.

Figura 33

Ruta de recolección “RT CO Vie N2”



Nota. Fuente: SGLPA, Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre (2026), RT CO Vie N2.

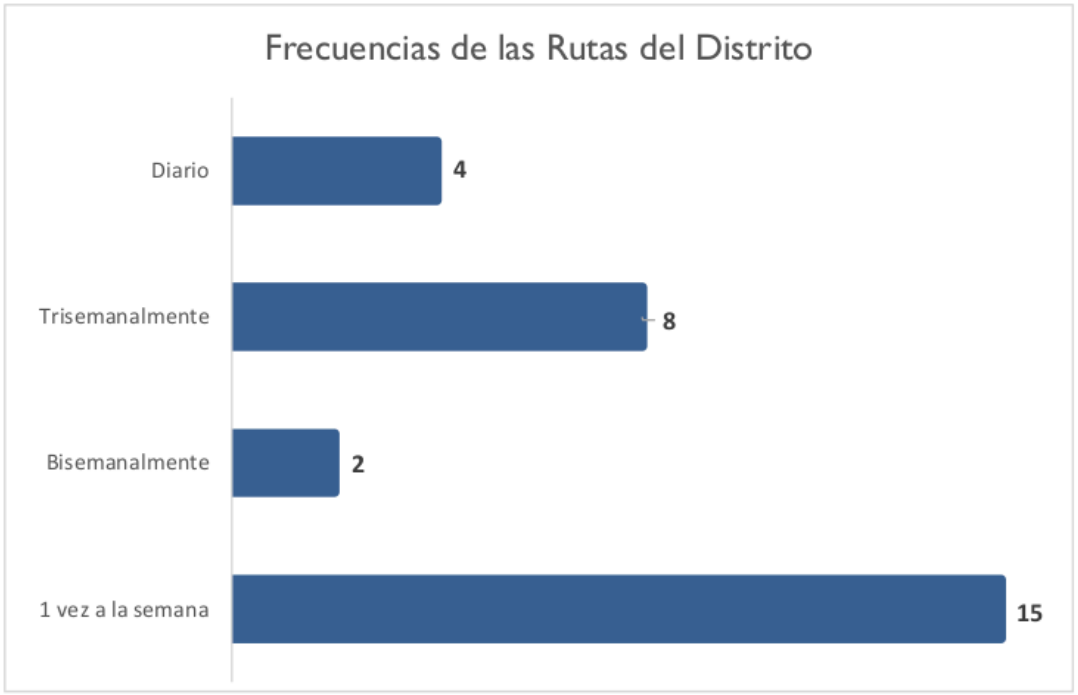
El plan de ruta RT-02 ASA detalla el siguiente recorrido: calle 10, calle 01, calle 4 y calle 03.

4.2.4 *Rutas de recolección y frecuencia operativa*

Se analiza la ruta y sus características: distancia recorrida, consumo de combustible, tiempo de operación y la distribución del servicio. Este punto permite evaluar la sectorización, identificación de rutas saturadas y si la programación mensual requiere modificaciones.

Figura 34

Indicadores de Ruta: Proyecciones Diaria, Trimestral y Bimestral



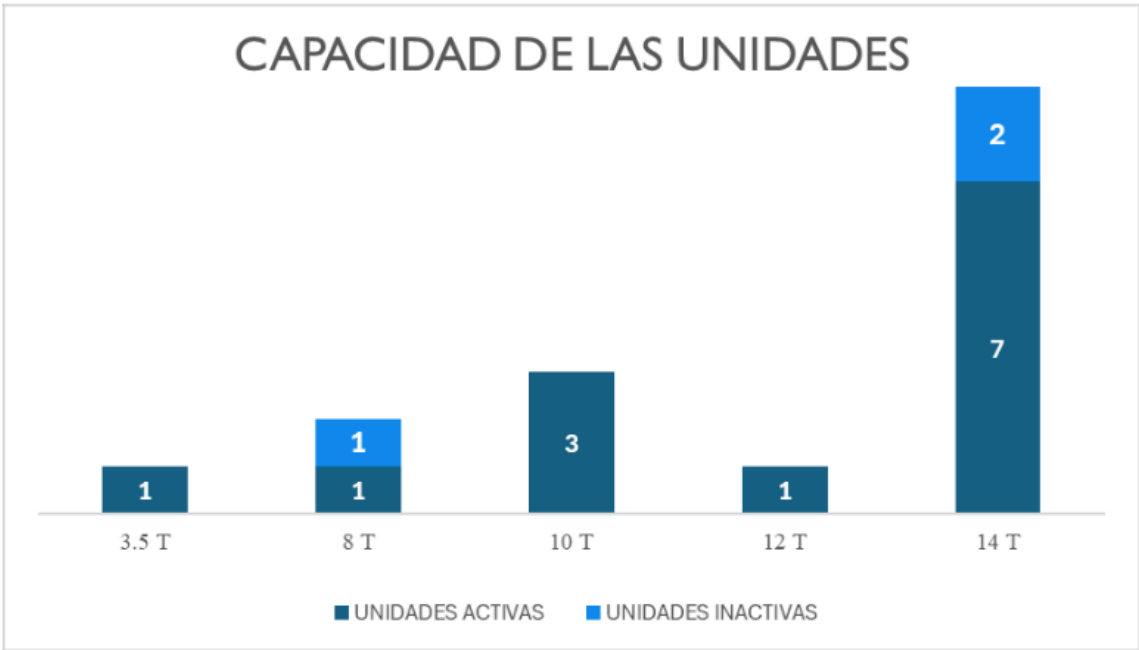
Nota. Elaboración propia con base en datos obtenidos de la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.

Evaluando los datos obtenidos por la municipalidad, estos indican que la mayor parte de la operación son las de rutas bajas, es decir, "1 vez a la semana". Esta frecuencia tiene 15 rutas, lo que representa el 51.7% del total, representan un reto logístico de eficiencia.

Es aquí donde el estudio iniciará a estudiar la posibilidad de reducir esa frecuencia, no en cantidad, sino en términos de operaciones. En el Anexo 4, se detalla en la matriz, el servicio de planificación operativa de unidades, mediante tu codificación de ruta y dependiendo su régimen de frecuencia.

Figura 35

Distribución de la Flota de Recolección según Estado Operativo



Nota. Elaboración propia con base en datos obtenidos de la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.

El análisis del grafico mostrado muestra las variables de vehículo, el de mayor cantidad es el de 14 toneladas, según información de la municipalidad los vehículos recolectores de 9 tm y 14 tm operan en las rutas principales, la desigualdad sugiere que algunos viajes, la heterogeneidad

sugiere que algunos recolectores pueden realizar viajes adicionales subrayando la necesidad de un modelo de optimización de rutas, consolidando cargas y mejorando la eficiencia.

Proyección del crecimiento de residuos recolectados

El promedio mensual de residuos sólidos recolectados fue de 192,889.58 kg (192.89 toneladas) en el año 2024, mientras que en 2025 alcanzó los 203,146.56 kg (203.15 toneladas), evidenciándose un incremento en la cantidad de residuos recolectados entre ambos años.

$$r = \frac{203146.56 - 192889.58}{192889.58} \times 100$$

$$r = 5.32\%$$

Para el escenario de cálculo, se supone que esta variación anual se mantiene durante los ocho años comprendidos entre 2025 y 2033.

Estimación de la PPC para el escenario 2033

Asimismo, se considera como referencia el estudio de Cuadros Torreblanca (2023), quien en su investigación reportaró una producción per cápita (PPC) de 0.556 kg/hab/día para el año 2022. Este valor se utilizará como parámetro inicial de referencia para estimar la generación de residuos sólidos, considerando el crecimiento poblacional proyectado del distrito y un escenario de incremento de la demanda. Tomando como referencia la PPC de 0.556 kg/hab/día y aplicando la tasa estimada de crecimiento:

$$G_{2033} = 0.556(1 + 0.0532)^8$$

$$G_{2033} \approx 0.8416 \text{ kg/hab/día}$$

Cálculo del número de vehículos (Nv)

La proyección poblacional (P) para el año 2033 es de 118 302 habitantes, estimada mediante el método de crecimiento geométrico a partir de los datos poblacionales de 2017 y 2025, considerando una tasa de crecimiento anual equivalente del 2.02 %. Esta proyección representa una estimación de la evolución poblacional del distrito de Alto Selva Alegre, sin incorporar por separado escenarios específicos de migración futura.

Asimismo, se empleó un Factor de Cobertura (K = 1.00), considerando como supuesto de diseño la atención de la totalidad de la demanda estimada del servicio de recolección de residuos sólidos del distrito, conforme a los criterios de dimensionamiento explicados en el apartado 2.2.2.3.

Según el estudio de Cuadros Torreblanca (2023), la producción per cápita (PPC) de residuos sólidos del distrito fue de 0.556 kg/hab/día para el año 2022. A partir de este valor de referencia y considerando como supuesto una tasa de crecimiento anual del 5.32 %, obtenida de la variación de los promedios mensuales de residuos recolectados entre 2024 y 2025, se estima una PPC de 0.8416 kg/hab/día para el escenario proyectado al año 2033. Este valor constituye una estimación bajo los supuestos adoptados y no una medición directa de la PPC futura.

Según la información proporcionada por la municipalidad distrital, se considera una capacidad de carga por vehículo (C) de 13 300 kg (13.3 toneladas), correspondiente al parámetro utilizado para el dimensionamiento de la flota recolectora.

Para el factor de reserva (Fr), considerando la realidad operativa local, se adopta un valor de 1.20, equivalente a un margen adicional del 20 %. La elección de este valor no obedece a una norma fija, sino a un criterio de diseño adaptado a las condiciones de las vías del distrito, donde existen tramos sin pavimentar, pendientes pronunciadas, calles cerradas y vías de ancho reducido, con la finalidad de considerar posibles contingencias operativas, mantenimiento y disponibilidad de las unidades. Como antecedente complementario, una investigación realizada en Cajamarca, sobre una flota de 104 buses operativos y 28 de reserva, determinó una proporción de reserva del 26.9 %, lo que evidencia que estos márgenes pueden variar según las características de cada sistema de transporte.

Fórmula:

$$Nv = \frac{G \times P \times 7 \times Fr \times K}{N \times C \times Dh}$$

Datos:

- Población 2033 (P): 118 302 habitantes
- Generación per cápita proyectada (G): 0.8416 kg/hab/día
- Factor de reserva (FR): 1.20
- Factor de cobertura (K): 1.0
- Número de viajes (N): 1
- Capacidad del vehículo (C): 13 300 kg (14 tm)
- Días hábiles (Dh): 6
- Generación diaria total proyectada: 77647.50 kg/día

- Resultado del cálculo: 11 vehículos

Sustitución:

$$= \frac{118\ 302\ x\ 0.8416\ x\ 1.20\ x\ 1.00 \times 7}{1\ x\ 13300\ x\ 6}$$

$$= \frac{836329.84}{79\ 800}$$

$$V = 10.48 \approx 11 \text{ vehículos}$$

El cálculo realizado determina una necesidad estimada de 10.48 vehículos recolectores para el año 2033, por lo que se considera una flota total de 11 unidades, redondeando al número entero superior por tratarse de unidades vehiculares. Este resultado se obtuvo considerando una población proyectada de 118 302 habitantes, una generación per cápita estimada de 0.8416 kg/hab/día, una capacidad de carga de 13 300 kg por vehículo y un factor de reserva de 1.20, equivalente a un margen adicional del 20 %.

Sin embargo, existe una diferencia entre la capacidad de carga considerada para el dimensionamiento teórico (13.3 TM) y la capacidad nominal de las unidades identificadas en el inventario municipal, presentado en el apartado 4.2.4, donde se señala que la municipalidad dispone principalmente de 7 vehículos recolectores de 14 TM, sin incluir las dos unidades inactivas. Esta diferencia deberá considerarse durante la evaluación de la propuesta, con la finalidad de establecer un dimensionamiento acorde con las características técnicas de los vehículos y las necesidades futuras del servicio.

En este sentido, se propone una flota total de 11 vehículos recolectores, distribuidos en 9 unidades operativas y 2 unidades de contingencia (factor de reserva 1.2%), con la finalidad de contribuir a la continuidad del servicio ante posibles fallas mecánicas, mantenimiento preventivo o indisponibilidad temporal de las unidades. Esta distribución constituye una propuesta operativa que deberá verificarse mediante la evaluación de la capacidad de carga y la demanda de recolección, considerando un horizonte de planificación hasta el año 2033.

Para determinar la variable de demanda (d_i), se toma como referencia el estudio de Cuadros y Torreblanca (2023), quienes identificaron una producción per cápita (PPC) de 0.556 kg/hab/día para el año 2022. Asimismo, para el escenario de dimensionamiento al año 2033, se considera una PPC estimada de 0.8416 kg/hab/día, obtenida bajo el supuesto de crecimiento de la cantidad de residuos recolectados entre 2024 y 2025. Estos parámetros permiten estimar la demanda de los sectores considerados en el modelo de optimización, verificando que la carga asignada a cada vehículo no supere su capacidad operativa.

4.2.5 *Personal por unidad*

El costo laboral constituye uno de los componentes variables asociados a la operación del servicio. Una planificación ineficiente de las rutas puede generar un mayor requerimiento de mano de obra para cumplir con la cobertura programada. En ese sentido, la optimización de las rutas permite mejorar la asignación y utilización del personal, reduciendo el requerimiento de recursos laborales y generando un potencial ahorro en los costos de operación de la municipalidad.

El personal operativo de la unidad se organiza de la siguiente manera:

- Conductores: Hay 13 conductores que operan bajo regímenes laborales heterogéneos (276, 728 y CAS).

- Ayudantes: Cuentan con 26 ayudantes, distribuidos de forma tradicional con una proporción de dos ayudantes por conductor.

Esta situación evidencia una oportunidad para la aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) como herramienta de optimización de las rutas de recolección. Mediante el ordenamiento eficiente de los puntos de recolección y una adecuada sectorización de los recorridos, sería posible mejorar la continuidad de las operaciones y optimizar la asignación del personal por unidad vehicular.

Como resultado, se podría reducir progresivamente el requerimiento de ayudantes de recolección, ya sea disminuyendo su número por unidad o reasignándolos de acuerdo con las necesidades de cada sector, sin comprometer la cobertura ni la continuidad del servicio.

4.3 Diagnóstico del problema

Se evidenció que el servicio de recolección de la municipalidad logra atender la demanda actual, sin embargo, presenta deficiencias relacionadas con la falta de una adecuada planificación en el diseño de las rutas de recolección, debido a que estas no fueron establecidas a partir de un estudio específico de optimización, conservando recorridos definidos previamente sin una evaluación integral de su eficiencia operativa. La información proporcionada y analizada muestran que la generación de residuos se incrementa, intensificando el sistema; sin embargo, este crecimiento no ha sido acompañado por una reconfiguración del estudio de rutas, lo que genera superposición de trayectorias y secuencias de recolección poco eficientes.

Según la información recopilada mediante conversaciones directas con los trabajadores del área, así como a partir de la información institucional solicitada, no se constató la existencia de un previo estudio técnico del diseño del sistema de recolección por rutas. En ese sentido, aunque los

recorridos se realizan mediante rutas establecidas, estos no cuentan con el respaldo de un modelo formal de ruteo basado en variables operativas ni en criterios de minimización de recorridos.

A partir del diagnóstico realizado, se evidencia que el problema del sistema de recolección no radica en la cantidad de operarios, la flota vehicular ni en una cobertura del servicio, sino en la ausencia de un adecuado estudio técnico de ruteo que sustente el diseño del sistema de recolección. En ese contexto, se plantea como solución la aplicación de un modelo de optimización de rutas basado en el TSP (problema del agente viajero). Lo mencionado se sustenta en lo analizado, la proyección demográfica al 2033 (115,200 habitantes) lo cual lo hace necesario absorber el incremento del 12.1%, de la generación de residuos sólidos previsto.

4.4 Propuesta de mejora

Como se comentó en el punto *3.2.3* la dificultad del sistema de recolección dentro del municipio se incrementa debido a que hay zonas presentes, con calles reducidas, sectores con una pendiente morfológica urbana variada, afectando la eficiencia del recorrido. En este marco la carencia técnica se evidencia por la asignación de rutas "1 vez a la semana" siendo el 51.7% del total, por ello, mediante el cálculo de la capacidad operativa de los vehículos recolectores y la demanda proyectada del servicio, se determina la necesidad de operar con nueve (9) vehículos, considerando que el presente estudio ha sido formulado con un horizonte de planificación aproximado de ocho (8) años.

Se utilizará el modelamiento del Problema del Agente Viajero (TSP), debido a su amplia aplicación en investigaciones de la misma línea, orientadas a determinar el trazado óptimo de los puntos de recojo de residuos sólidos. Existen estudios en el contexto nacional que han empleado el TSP como metodología de solución y mejora, especialmente en entornos urbanos. En este sentido,

el modelamiento propuesto se enfoca en optimizar, mejorar y evaluar los distintos escenarios posibles del sistema de recolección, con el fin de incrementar la eficiencia operativa del servicio.

El empleo del TSP permitirá realizar el modelamiento del sistema de recolección como una red de recojo, teniendo como objetivo minimizar los puntos de conexión, lo cual resulta adecuado en función de las variables del estudio y facilita la comparación entre la situación actual y el escenario propuesto, constituyéndose en la herramienta central del estudio.

4.4.1 *Macroruteo del sistema de recolección*

El sistema de optimización fue segmentado en 9 sectores homogéneos, definidos bajo criterios técnicos que aseguran la efectividad operativa y la factibilidad del modelo de recolección. Esta sectorización responde a los siguientes parámetros:

- Densidad Poblacional y Hacinamiento: Ante una densidad de 14,828 hab/km² (proyectada al 2025 con 103,500 habitantes en 6.98 km²), se establecieron zonas con cargas de demanda equilibradas para evitar la saturación de los vehículos.
- Capacidad Operativa: La demanda de residuos de cada zona se ajustó a la capacidad máxima admisible de las unidades recolectoras, garantizando que el diseño de la ruta no exceda la capacidad de carga de los equipos asignados.
- Jerarquía y Transitabilidad Vial: Se analizó la jerarquía vial, el ancho de las calles y las condiciones físicas de las vías. Como restricción crítica, se consideró la topografía accidentada propia de los asentamientos humanos; en estas zonas, las rutas fueron diseñadas de forma transversal a la pendiente para garantizar la seguridad operativa, prevenir riesgos de accidentes y asegurar el tránsito fluido del camión.

- Volumen de Residuos: La generación estimada por sector permitió una distribución equitativa del esfuerzo de recolección, optimizando los tiempos de servicio.

Para la propuesta se consensuaron las 29 rutas en 9 sectores, basándose en la estrategia de la densidad de generación proyectada al 2025, con el objetivo de maximizar la carga de las unidades.

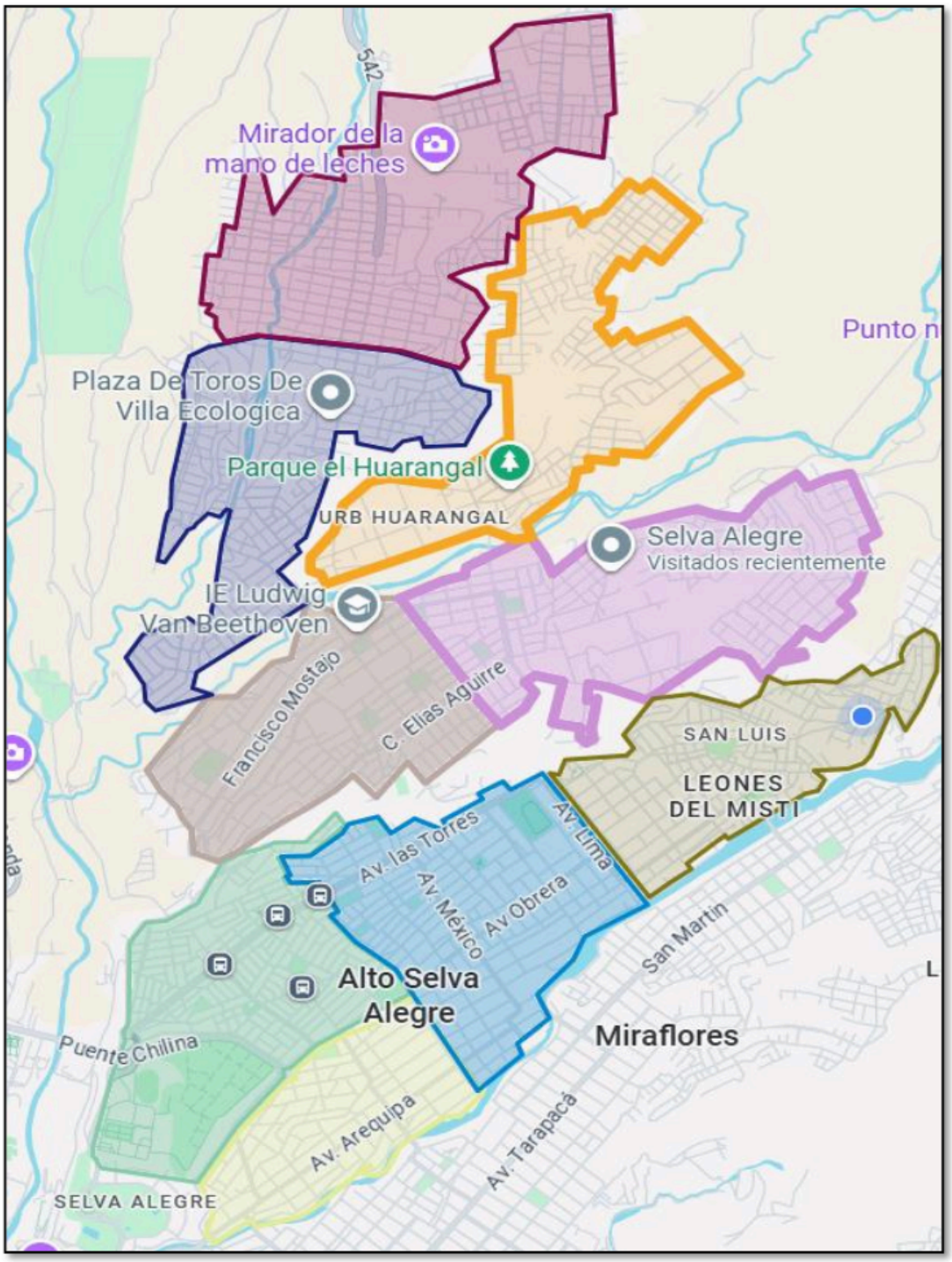
El macro-ruteo propuesto no se centra únicamente en la distribución de zonas, sino que también se plantea como una gestión de planificación a largo plazo de 8 años. Por ende, la aplicación del modelo VRP permitirá reducir el recorrido y el tiempo de operación, desencadenando un margen positivo en el presupuesto, lo cual sirve como sustento técnico para una progresividad de la flota.

En las siguientes figuras se mostrará segmentación del mapa del distrito de Alto Selva Alegre, de forma individual con la finalidad de visualizar la distribución de ruta dentro de cada área y facilitar una mayor compresión propuesto.

A continuación, en la Figura N°37, se muestra la sectorización general de los 9 sectores y también de forma segmentada, permitiendo identificar el recorrido optimizado de las unidades para la mejora del servicio.

Figura 36

Sectorización propuesta del sistema de recolección



Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de información cartográfica de Google Maps.

4.4.2 *Microruteo mediante el Problema del Agente Viajero (TSP)*

En este apartado del micro ruteo, se realizará la formulación matemática, basándonos en el TSP (Problema del Agente Viajero), se inicio con un levantamiento cartográfico numérico de la distancia entre calles del distrito Alto Selva Alegre, donde nodos representan los puntos de intersección y las calles son los arcos. El objetivo central es determinar la secuencia óptima de desplazamiento de las unidades de recolección, garantizando que el vehículo recorra la infraestructura vial de manera eficiente.

Se ha procedido a la digitalización de la infraestructura vial, convirtiendo el entorno urbano en un grafo dirigido.

$$G = (V, A),$$

Donde:

- V representa el conjunto de nodos (esquinas).
- A el conjunto de arcos (tramos de vía).

El modelo propuesto considera únicamente nodos independientes de una dimensión, es decir, puntos de representación de las redes viales. Las intersecciones mostradas figuran como puntos críticos debido a su capacidad para recibir mayor superficie, permitiendo la aplicabilidad del TSP y, además, que el personal operativo pueda visualizar los contenedores de forma sencilla en vías adyacentes.

En las matrices de distancias detalladas en el Anexo 5, de los 9 sectores. Estas distancias, expresadas en kilómetros, definen la longitud de cada arco y constituyen el input paramétrico

fundamental para el algoritmo de optimización, permitiendo el cálculo de la función objetivo basada en la minimización del recorrido total.

A continuación, en la Tabla 5, se mostrará para efectos de validación metodológica de distancias que corresponde al sector 7, se mostraran solo 13 x 13 nodos para fines de consulta técnica.

Tabla 5

Matriz de distancia correspondientes del sector 7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1		60	360								118		
2	60		166			112				137			
3	360	166											
4					150	155			52			92	98
5				150			50						
6		112		155			192			96			
7					50	192		63					
8							63		141				
9				52				141		55			
10		137				96			55		59		
11	118									59		88	
12				92							88		120
13				98								120	

Nota: Valores expresados en metros obtenidos mediante levantamiento cartográfico en el Sector 7. La matriz completa de distancias se detalla en el Anexo N°5-7.

4.4.3 *Formulación del modelo de optimización*

Para la programación matemática, se realizó el diseño de las rutas considerando los parámetros y restricción que definen este modelamiento, que definen el modelamiento para las condiciones presentadas.

Se define un grafo G = (V, A), donde el conjunto de nodos V = {1, 2, ..., n} representa las intersecciones viales y el conjunto de arcos A representa la conectividad entre ellas.

Siendo las variables de decisión:

xij ∈ {0,1} :Variable binaria que toma el valor de 1 si el vehículo recolector transita del nodo i al nodo j, y 0 en caso contrario.

ui ∈ R +: Variable continua auxiliar, utilizada exclusivamente para la eliminación de subrutas, que indica el orden de visita del nodo i en la secuencia de la ruta.

Función Objetivo

El objetivo es minimizar la distancia total recorrida (Z) por la unidad recolectora, con el fin de optimizar el tiempo operativo y los recursos asociados:

$$\min Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1, j \neq i}^{n} c_{ij} \cdot x_{ij}$$

Donde:

Z: costo o distancia total a minimizar.

c_{ij}: costo o distancia entre el nodo i y el nodo j.

x_{ij}: variable binaria que indica si se recorre el arco del nodo i al nodo j.

n: número total de nodos.

Para evitar la generación de ciclos cerrados aislados que no conectan con el depósito, se implementa la formulación de Miller, Tucker y Zemlin. Esta restricción es crucial para asegurar la formación de un único ciclo hamiltoniano que cubra la totalidad de la zona asignada:

$$u_i - u_j + n \cdot x_{ij} \leq n - 1, \quad \forall i, j \in \{2, ..., n\}, i \neq j$$

Nota: La implementación de esta restricción asegura que el orden lógico de los nodos u_i sea estrictamente creciente a medida que el vehículo recorre la ruta, impidiendo matemáticamente la formación de circuitos independientes.

Variables de decisión:

- **x** ∈ {**0**,**1**}: Variable binaria que toma el valor de 1 si el vehículo recolector transita del nodo i al nodo j, y 0 en caso contrario.
- *U i* ∈ R: Variable continua auxiliar, utilizada exclusivamente para la eliminación de subrutas, que indica el orden de visita del nodo i en la secuencia de la ruta.

4.4.4 *Resultados y Escenarios de evaluación*

En esta sección se muestran los resultados obtenidos, basados en el modelo del Agente Viajero (TSP) para las 9 rutas operativas propuestas, la formulación matemática tiene una estructura general para los mismos casos. Como se vino comentando se aplicó la Formulación MTZ para la eliminación del subtours mediante vaiables de ordenamiento Uij.

Siendo la variable en cada ruta, la cantidad de nodos y la direccionalidad a ese número lo llamaremos *n (puntos de recolección),* a continuación, la cantidad de nodos por ruta.

- Ruta 1: n = 54 nodos.
- Ruta 2: n = 60 nodos.
- Ruta 3: n = 47 nodos.
- Ruta 4: n = 51 nodos.
- Ruta 5: n = 55 nodos.
- Ruta 6: n = 52 nodos.

- Ruta 7: n = 70 nodos.
- Ruta 8: n = 55 nodos.
- Ruta 9: n = 62 nodos.

A continuación, se presentan el listado correspondiente a los tiempos computacionales obtenidos a partir de la formulación compacta del modelo, con el fin de evaluar su escalabilidad técnica. Para ello, se utilizó la formulación de estructura en base al ya mencionado TSP (Problema del Agente Viajero) de MTZ (Miller-Alpe-Tucker) codificando las restricciones en Python, facilitando la entrada de datos desde un archivo, la instrucción detallada se encuentra en el Anexo 6. De esta manera, el modelo permite una fácil adaptación ante posibles cambios en el sistema; por ejemplo, si el distrito de Alto Selva Alegre incorporara 10 contenedores adicionales, no sería necesario reprogramar el modelo, sino únicamente actualizar el archivo de datos en Excel y ejecutar nuevamente el mismo script.

- Resolución 1: 54 nodos en 16 segundos
- Resolución 2: 60 nodos en 69 segundos (1.1 minutos)
- Resolución 3: 47 nodos en 160 segundos (2 a 3 minutos)
- Resolución 4: 51 nodos en 294 segundos (5 minutos)
- Resolución 5: 55 nodos en 61 segundos (1 minuto)
- Resolución 6: 52 nodos en 280 segundos (5 minutos)
- Resolución 7: 70 nodos en 2202 segundos (36 min)
- Resolución 8: 55 nodos en 21 segundos

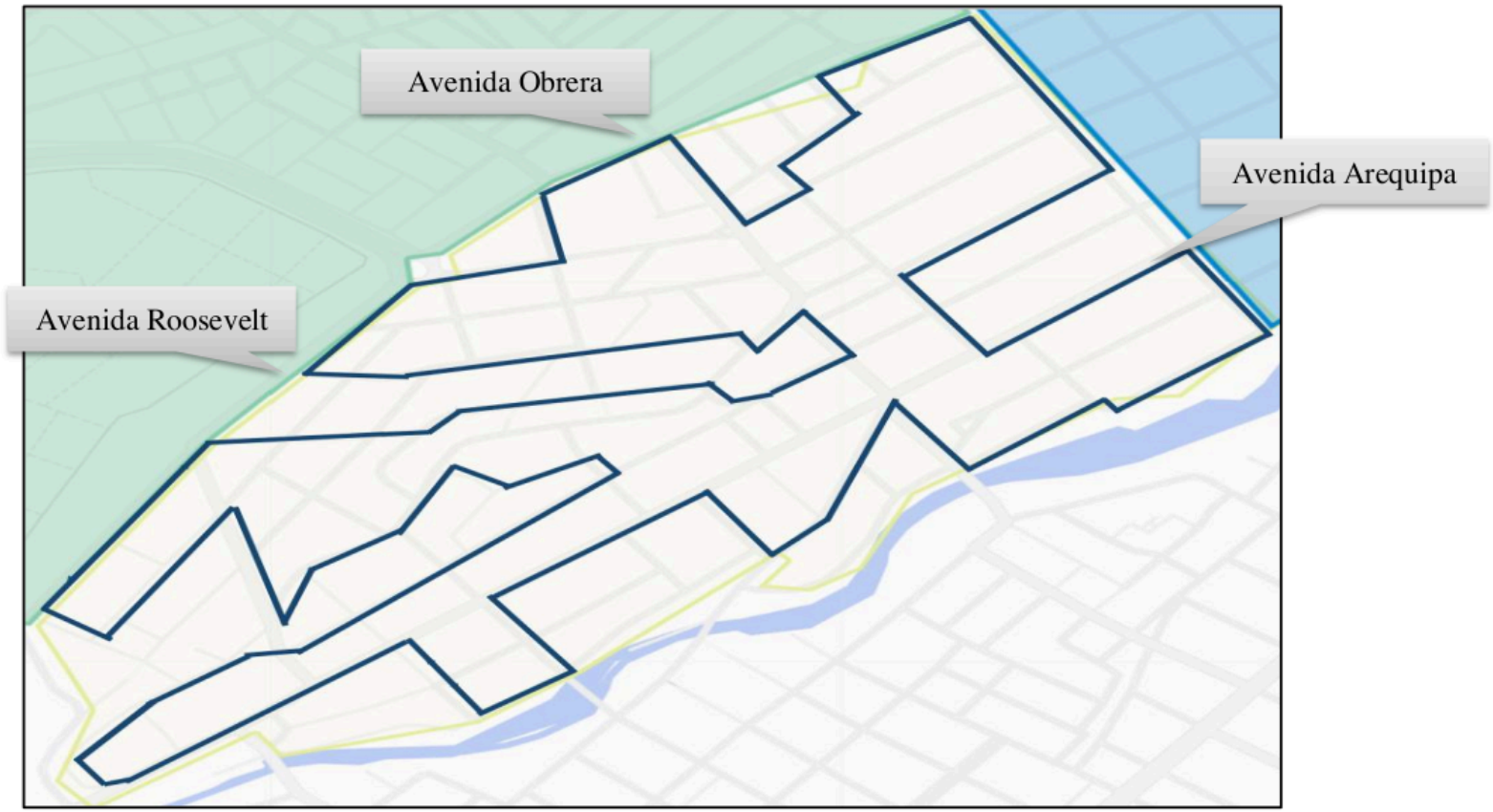
- Resolución 9: 62 nodos en 575 segundos (10 minutos)

El tiempo de resolución mostrado evidencia que, a medida que aumenta la cantidad de nodos, el tiempo computacional tiende a incrementarse. Esto se observa en las resoluciones de 62 y 70 nodos, que requirieron 575 y 2202 segundos respectivamente para alcanzar una solución. Este comportamiento se relaciona con el modelo utilizado, basado en el Problema del Agente Viajero (TSP), debido a la utilización de múltiples variables binarias de decisión y al incremento de combinaciones posibles conforme crece el número de nodos. En ese sentido, los resultados obtenidos mediante Python respaldan la viabilidad tanto del uso del software como del sistema matemático propuesto para la optimización de rutas en el sistema de recolección de residuos sólidos.

Seguidamente, se presentan las **9 rutas propuestas**, donde se detalla en cada gráfico el orden de atención de los puntos. Se logro modelo ha logrado equilibrar las distancias en cada tramo, minimizando la distancia total recorrida y asegurando el retorno del vehículo al depósito tras completar el circuito.

Figura 37

Representación gráfica de la Ruta N° 1 optimizada

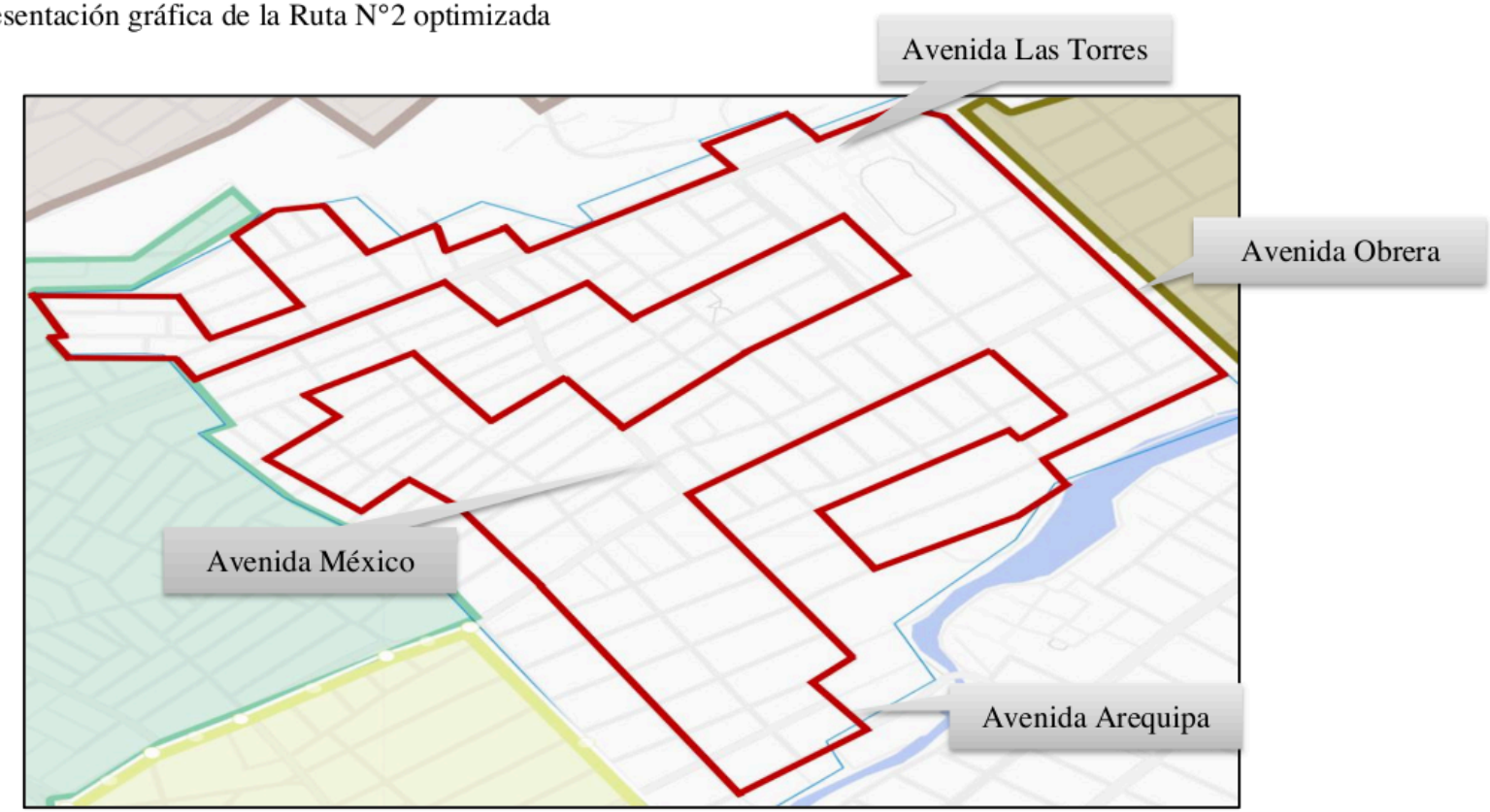


Fuente: Elaboración propia utilizando Google Maps para la georreferenciación (2025).

Nota: La ruta inicia en la Av. Obrera N°601 punto de recolección inicial y finaliza en las Calles *los Andes N°706*.

Figura 38

Representación gráfica de la Ruta N°2 optimizada

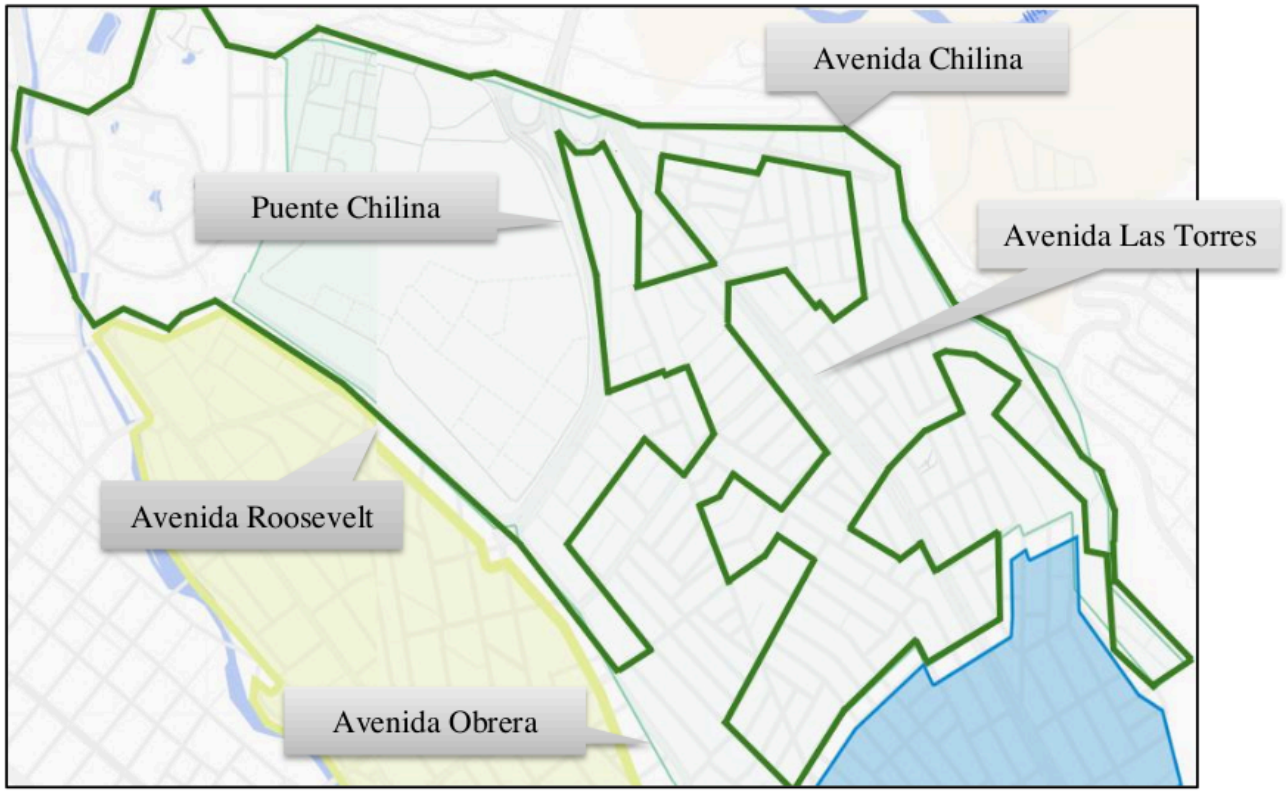


Fuente: Elaboración propia utilizando Google Maps para la georreferenciación (2025).

Nota: La ruta inicia en la Calle Hoyos Rubio punto de recolección inicial y finaliza en la Calle Coop. Juan Velasco Zona B, según la disposición establecido.

Figura 39

Representación gráfica de la Ruta N°3 optimizada

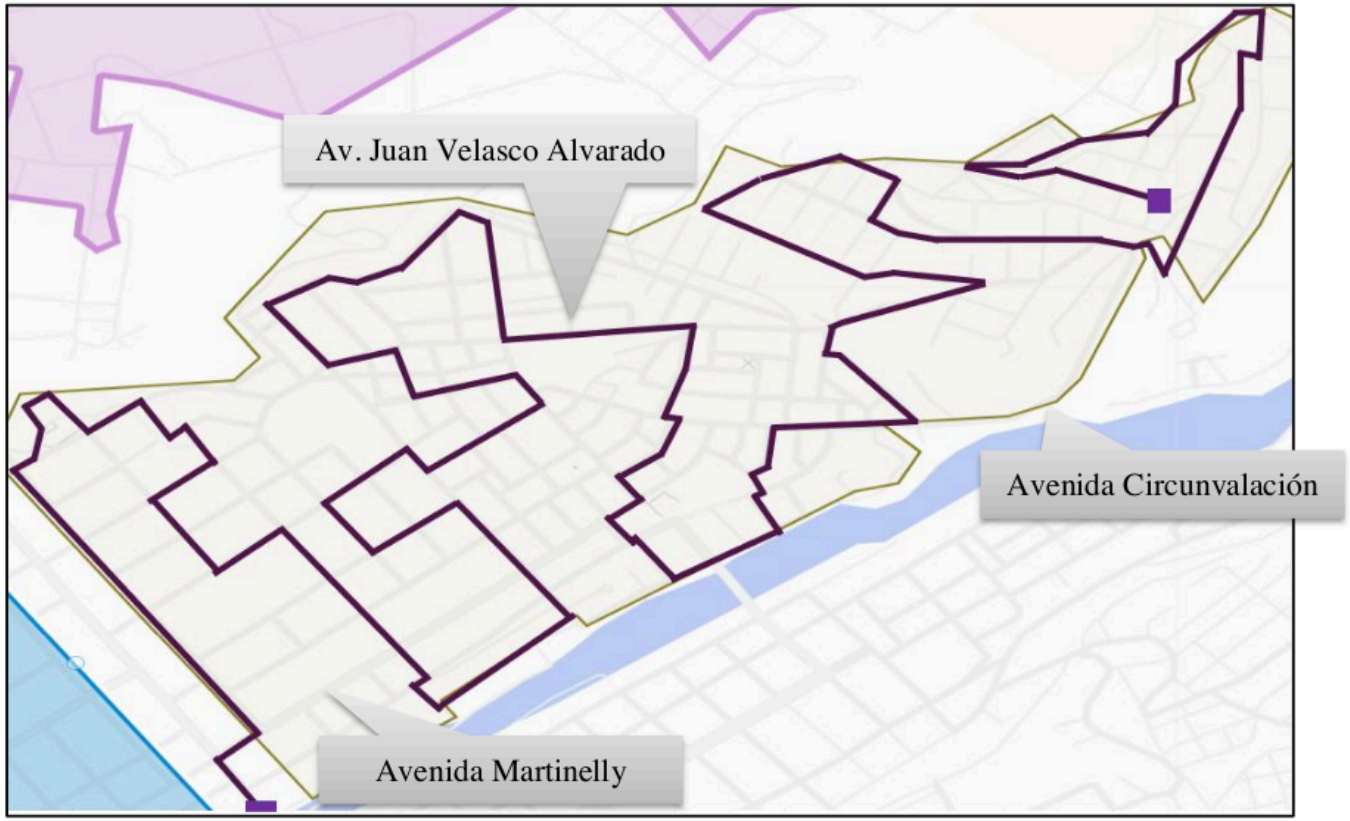


Fuente: Elaboración propia utilizando Google Maps para la georreferenciación (2025).

Nota: La ruta inicia en la Urb. Jose Antonio de Sucre punto de recolección inicial y finaliza en la Avenida Victor Raúl Haya de la Torre punto de disposición establecido

Figura 40

Representación gráfica de la Ruta N°4 optimizada

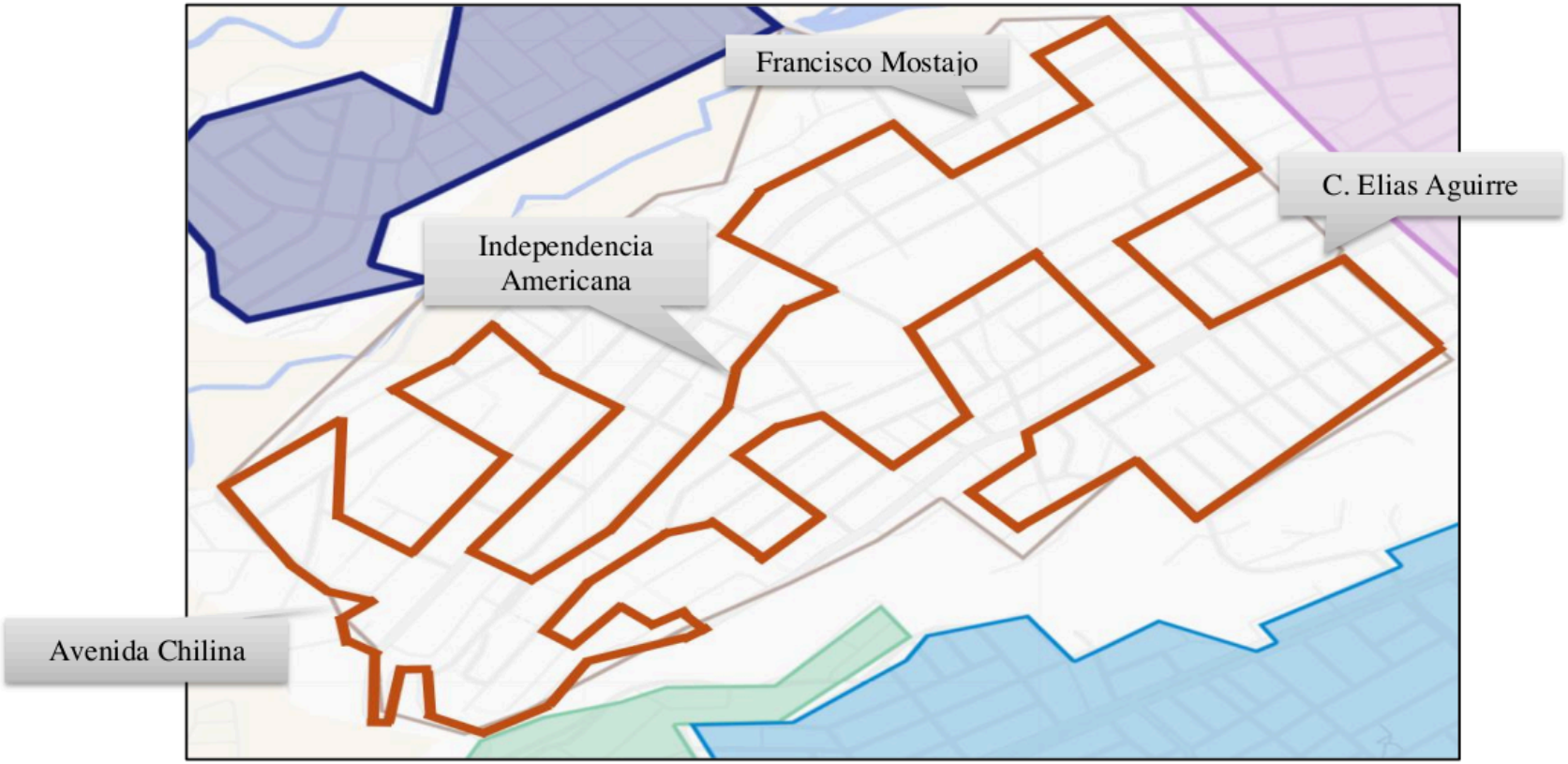


Fuente: Elaboración propia utilizando Google Maps para la georreferenciación (2025).

Nota: La ruta inicia en la Av. Enrique Martinelli Tizon punto de recolección inicial y finaliza en el A.H Bella Esperanza punto de disposición establecido.

Figura 41

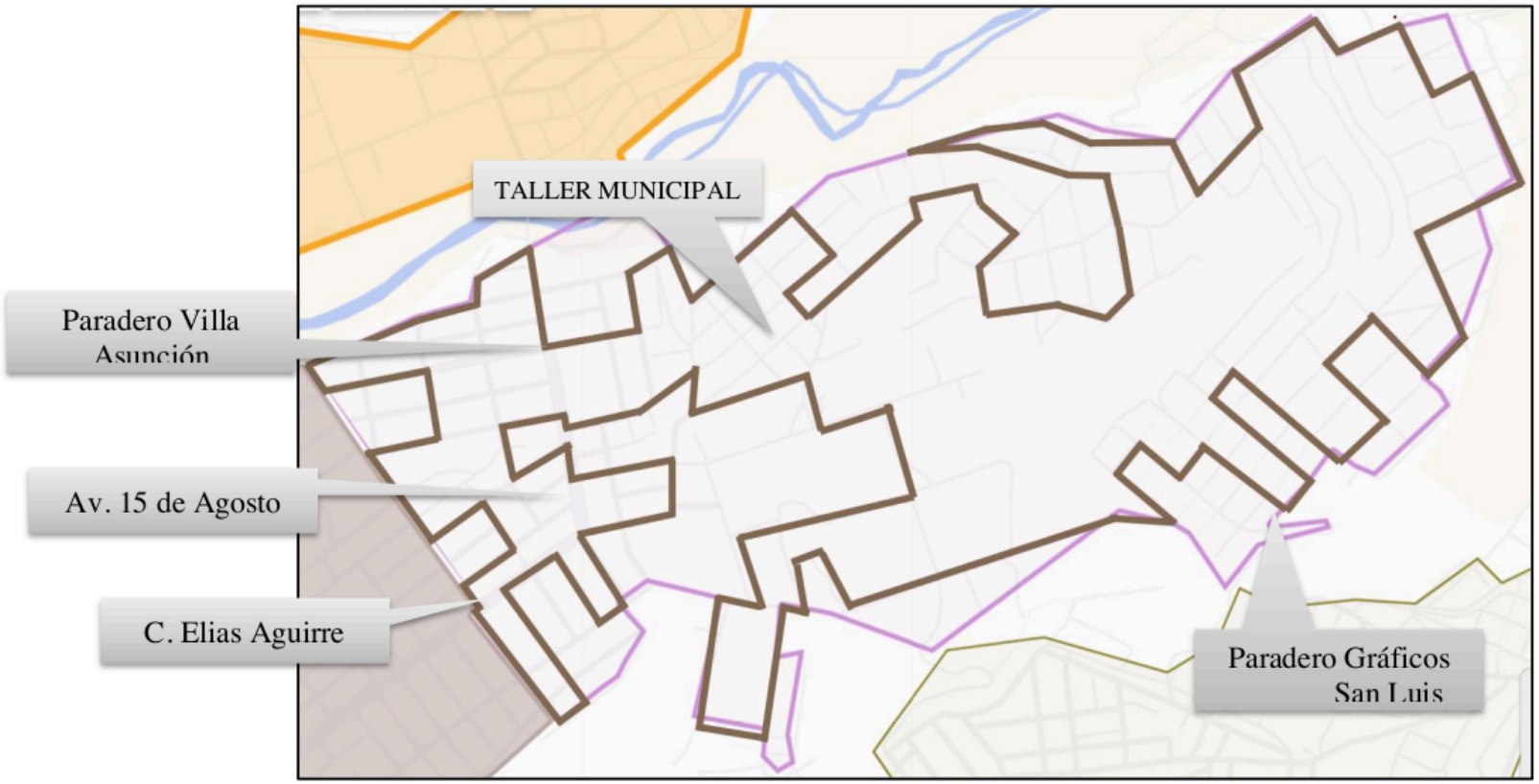
Representación gráfica de la Ruta N° 5 optimizada



Fuente: Elaboración propia utilizando Google Maps para la georreferenciación (2025).

Nota: La ruta inicia en la Av. Independencia Americana punto de recolección inicial y finaliza en A.H 1 de Enero el punto de disposición establecido.

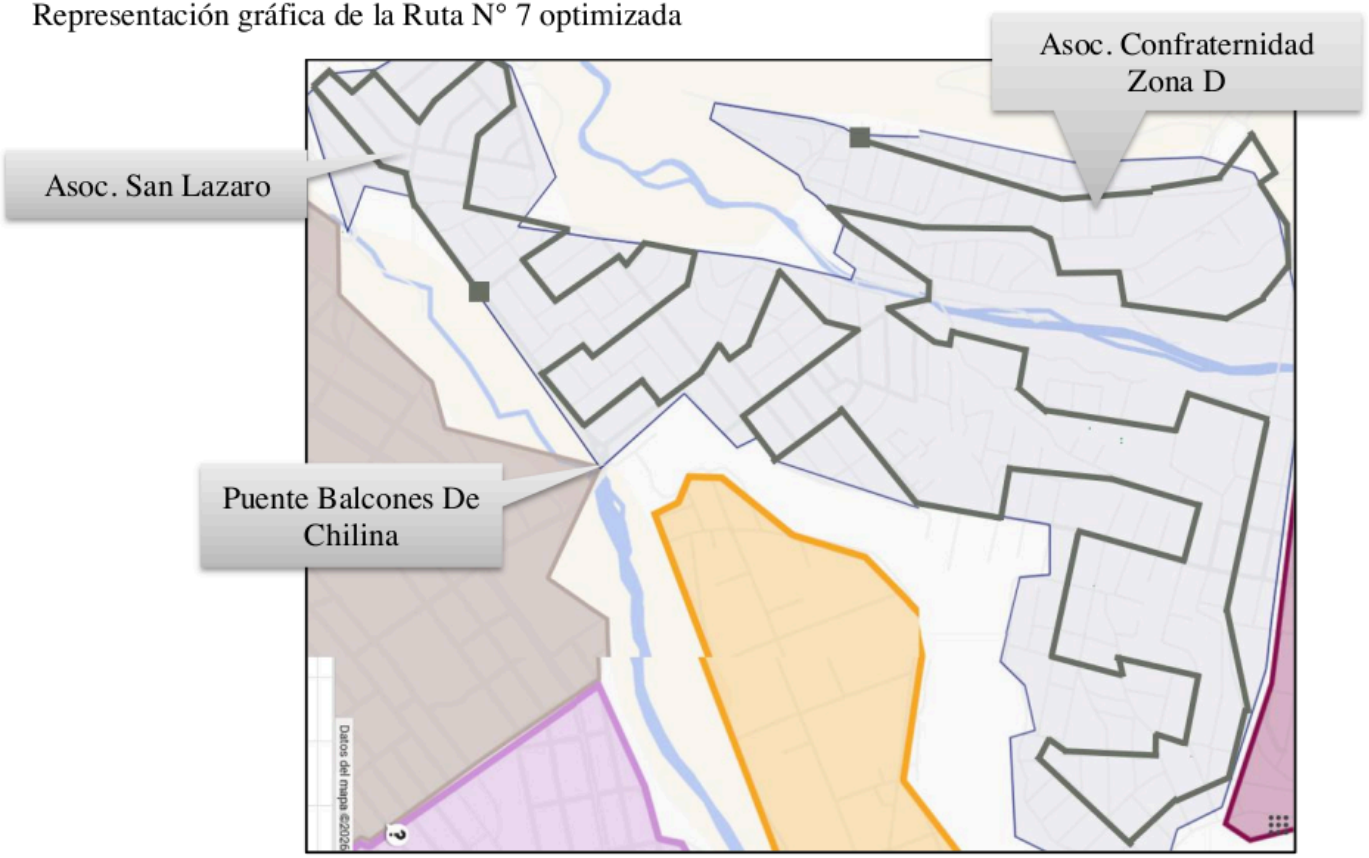
Figura 42
Representación gráfica de la Ruta N° 6 optimizada



Fuente: Elaboración propia (2025).

Nota: La ruta inicia en la Calle Francisco Mostajo cuadra 1 el punto de recolección inicial y finaliza la Calle Francisco Mostajo cuadra 1 en el punto de disposición establecido

Figura 43
Representación gráfica de la Ruta N° 7 optimizada

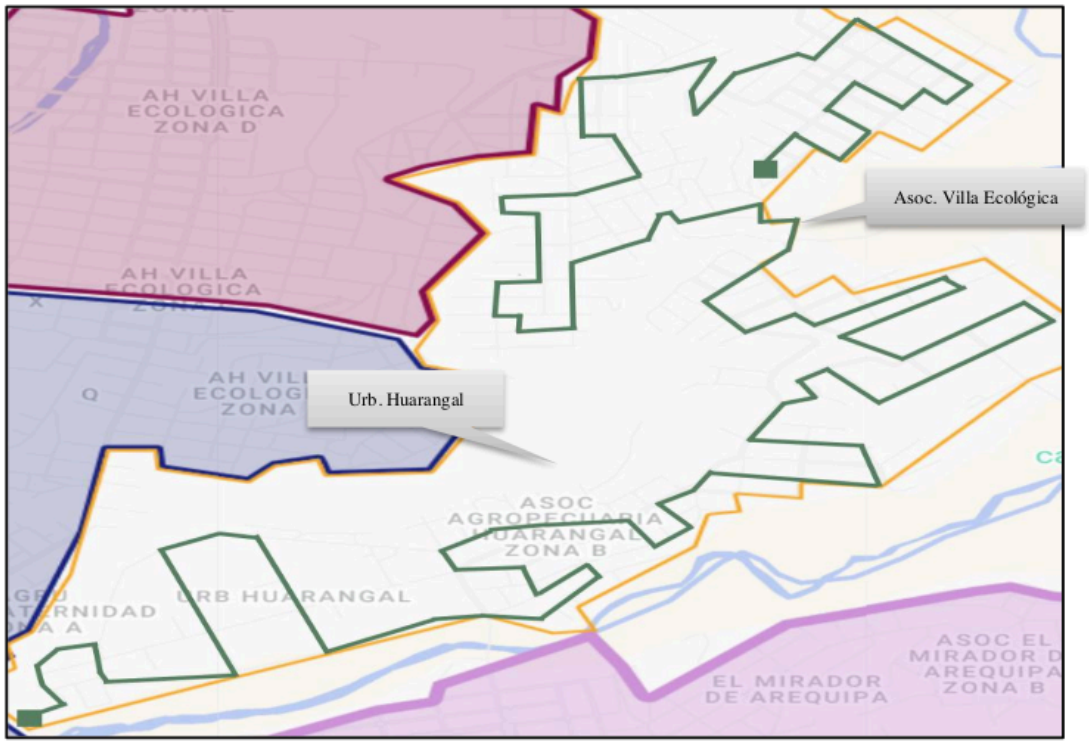


Fuente: Elaboración propia utilizando Google Maps para la georreferenciación (2025).

Nota: La ruta inicia en los Urb. Los Balcones de Chilina punto de recolección inicial y finaliza en la Agru. Confraternidad Zona D en el punto de disposición establecido

Figura 44

Representación gráfica de la Ruta N° 8 optimizada

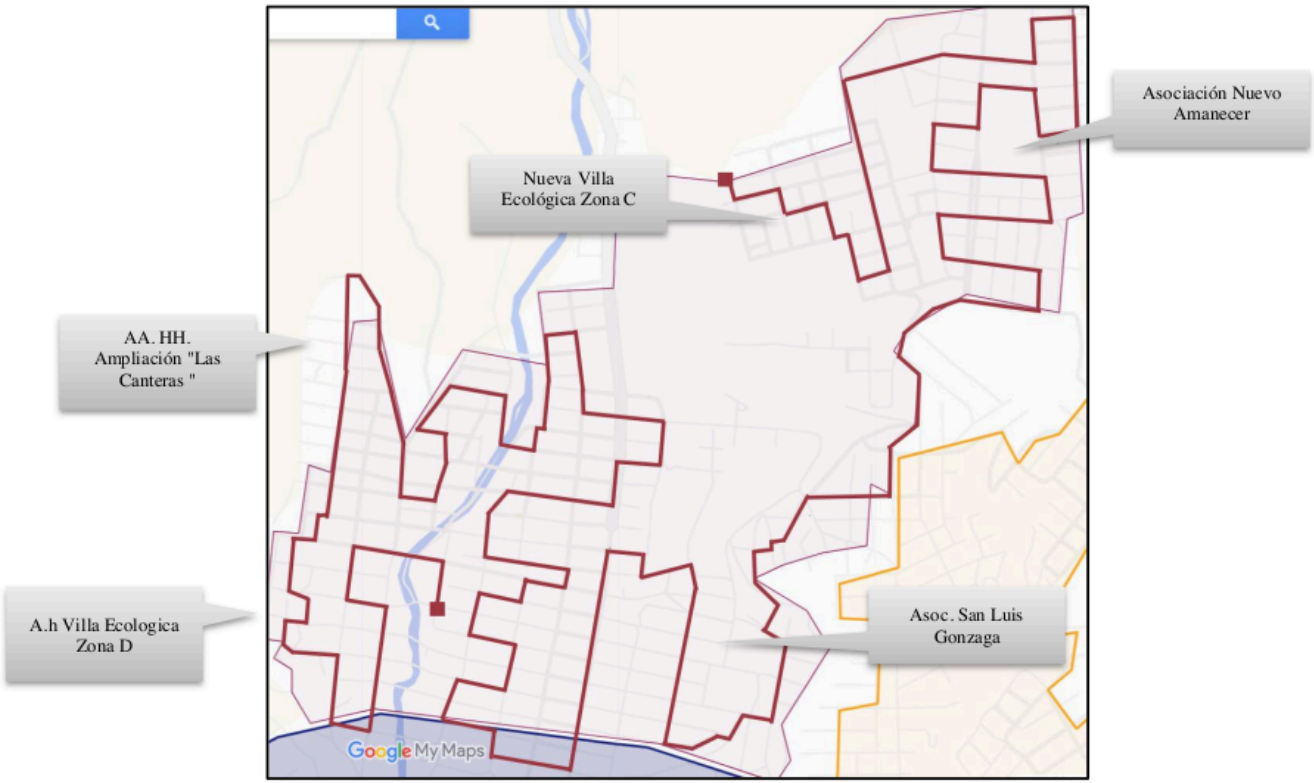


Fuente: Elaboración propia utilizando Google Maps para la georreferenciación (2025).

Nota: La ruta inicia en el punto de recolección inicial en Agru. Confraternidad Zona A y finaliza en la siguiente coordenada "-16.345952, -71.510946" de disposición establecido.

Figura 45

Representación gráfica de la Ruta N° 9 optimizada



Fuente: Elaboración propia utilizando Google Maps para la georreferenciación (2025).

Nota: La ruta inicia en Agru. Confraternidad Zona B “-16.348129, -71.524842” el punto de recolección inicial y finaliza en el “-16.339463, -71.518580” punto de disposición establecido

Las 9 rutas propuestas obtenidas por la aplicación del modelo de optimización, mostradas previamente de manera gráfica, evidencian espacialmente la distribución de los recorridos y su respectiva longitud, a continuación, en la Tabla 6, se muestra la información en km de las nueve rutas del sistema de recolección.

Tabla 6 Resultados Obtenidos

RESUMEN	**PROPUESTOS (m)** por dia	**PROPUESTOS (km)** por semana
Ruta 1	8 577	51.46
Ruta 2	9 655	57.93
Ruta 3	12 481	74.89
Ruta 4	7 873	47.24
Ruta 5	10 021	60.13
Ruta 6	8 912	53.47
Ruta 7	10 070	60.42
Ruta 8	9 987	59.92
Ruta 9	9 611	57.67
SUMA TOTAL	**87 187**	**523.12**

Nota: Elaboración propia.

Durante la revisión del sistema actual de recolección, se identificó que algunas de las 29 rutas presentan tramos coincidentes o superposición parcial de recorridos, debido a que determinadas rutas atienden zonas similares, diferenciándose principalmente por la incorporación de tramos adicionales. Esta condición se considera como una observación relevante del

funcionamiento actual del sistema y constituye un aspecto a evaluar durante el proceso de optimización.

No obstante, para garantizar un análisis integral y evitar la exclusión de información operativa, la investigación considerará las 29 rutas existentes como población de estudio, evaluando individualmente sus recorridos, distancias, tiempos y demás variables operativas correspondientes.

En consecuencia, las similitudes o superposiciones identificadas entre determinadas rutas no serán utilizadas como criterio para excluirlas del estudio, sino como información del diagnóstico que permitirá identificar posibles redundancias y oportunidades de mejora en el diseño del sistema de recolección. Por ejemplo, las rutas representadas en las Figuras 25 y 32 presentan sectores coincidentes; sin embargo, ambas serán consideradas de manera independiente dentro del análisis de las 29 rutas.

En la siguiente Tabla 7, se muestra la comparativa de la distancia actual y la propuesta de manera semanal.

Tabla 7

Tabla comparativa de resultados

ASPECTOS QUE EVALUAR	UNIDADES	ACTUAL	PROPUESTA
Distancia recorrida	(km/semana)	646.31	523.12
Tiempo de recolección	(h/semana)	130.82	105.89
Velocidad (v)	(km/h)		4.94

Nota: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos, hay una reducción de 19.06 % en las distancias de recolección de manera semanal, pasando de 646.31 km (Actual) a 523.12 km (Propuesto), permitiendo sustentar la

diferencia de distancia propuesta al sistema existente. Se realizará la comparación de la reducción de distancias con otras investigaciones Distritales de la Provincia de Arequipa.

- José Luis Bustamante y Rivero – Arequipa (12.55 %), Murillo Quispe (2023).
- Alto Selva Alegre – Arequipa (19.06 %), presente investigación (2026).
- Paucarpata – Arequipa (21.63 %), Collantes Goyzueta (2024).
- Mariano Melgar – Arequipa (34.62 %), Marroquín Ortega (2023).

4.5 Análisis costo y beneficio

4.5.1 *Diagnóstico económico del sistema actual*

El servicio de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito presenta un presupuesto anual total de S/ 3,835,054.00 información ubicada en el Anexo 7, el cual contempla gastos operativos asociados al combustible, personal, mantenimiento y gestión administrativa.

En términos de producción, el servicio maneja un promedio diario de recolección de 7.63 a 7.71 toneladas, lo cual permite evaluar la eficiencia del sistema en función del costo por tonelada recolectada.

4.5.1.1 Distancia recorrida en la Distribución Actual.

Tabla 8

Distancia Recorrida en la Distribución Actual

N	RUTAS	DISTANCIA RECORRIDA Km/día	Frecuencia	DISTANCIA RECORRIDA Km/semana	DISTANCIA RECORRIDA Km/mes	DISTANCIA RECORRIDA Km/anual
1	RT 01 – ASA	10.51	6	63.06	273.26	3,279.12
2	RT 02 – ASA	10.67	6	64.03	277.47	3,329.66
3	RT 01 - IND	9.57	3	28.71	124.41	1,492.92
4	RT 1.2 - IND	8.64	3	25.92	112.32	1,347.84
5	RT 02 - IND	9.48	6	56.86	246.38	2,956.51
6	RT 03.1 - IND	16.94	3	50.82	220.22	2,642.64
7	RT 03 - IND	17.14	3	51.42	222.82	2,673.84
8	RT 03 ASA PAM LUM	6.91	1	6.91	29.94	359.32
9	RT 03 ASA PAM MAR	10.37	1	10.37	44.94	539.24
10	RT 03 ASA PAM MIE	5.94	6	35.64	154.44	1,853.28
11	RT 03 ASA PAM VIE	10.40	1	10.40	45.07	540.80
12	RT 04 ASA	8.36	3	25.09	108.71	1,304.47
13	RT 04-1 ASA	11.58	6	69.48	301.08	3,612.96
14	RT 05 ASA	5.55	3	16.64	72.12	865.49
15	RT 06 IND ASA	9.34	3	28.02	121.42	1,457.04
16	RT 6.1 IND ASA	7.11	3	21.33	92.43	1,109.16
17	RT CO L01	3.47	1	3.47	15.04	180.44
18	RT CO L02	2.46	1	2.46	10.66	127.92
19	RT CO L03	1.49	1	1.49	6.46	77.48
20	RT CO L/M	0.50	2	1.00	4.33	52.00
21	RT CO Mar N1	5.77	3	17.31	75.01	900.12
22	RT CO Mar N2	1.48	1	1.48	6.41	76.96
23	RT CO Mie N1	12.08	1	12.08	52.35	628.16
24	RT CO Mie N3	1.67	1	1.67	7.24	86.84
25	RT CO Mie / Vie	0.81	1	0.81	3.51	42.12
26	RT CO Jue N1	3.94	1	3.94	17.07	204.88
27	RT CO Jue N2	0.51	1	0.51	2.21	26.52
28	RT CO Vie N1	5.54	6	33.24	144.04	1,728.48
29	RT CO Vie N2	2.15	1	2.15	9.32	111.80
	TOTAL	200.378		646.31	2,800.67	33,608.02

Nota: Elaboración propia.

4.5.1.2 Costo de Combustible Actual

Tabla 9

Costo de Combustible Actual

N°	RUTAS	gal/km	DISTANCIA RECORRIDA Km/mes	DISTANCIA RECORRIDA Km/año	gal/mes	gal/año	Precio	Costo Mensual Precio Mercado	Costo Anual Precio de Mercado	Factor de corrección Precio Social de Combustible	Costo Mensual Precio Social	Costo Anual Precio Social
1	RT 01 – ASA	0.1525	273.26	3,279.12	41.67	500.07	S/ 18.00	S/ 750.10	S/ 9,001.18	0.676	S/ 507.07	S/ 6,084.80
2	RT 02 – ASA	0.1525	277.47	3,329.66	42.31	507.77	S/ 18.00	S/ 761.66	S/ 9,139.93	0.676	S/ 514.88	S/ 6,178.59
3	RT 01 - IND	0.1525	124.41	1,492.92	18.97	227.67	S/ 18.00	S/ 341.51	S/ 4,098.07	0.676	S/ 230.86	S/ 2,770.29
4	RT 1.2 - IND	0.1525	112.32	1,347.84	17.13	205.55	S/ 18.00	S/ 308.32	S/ 3,699.82	0.676	S/ 208.42	S/ 2,501.08
5	RT 02 - IND	0.1525	246.38	2,956.51	37.57	450.87	S/ 18.00	S/ 676.30	S/ 8,115.63	0.676	S/ 457.18	S/ 5,486.16
6	RT 03.1 - IND	0.1525	220.22	2,642.64	33.58	403.00	S/ 18.00	S/ 604.50	S/ 7,254.05	0.676	S/ 408.64	S/ 4,903.74
7	RT 03 - IND	0.1525	222.82	2,673.84	33.98	407.76	S/ 18.00	S/ 611.64	S/ 7,339.69	0.676	S/ 413.47	S/ 4,961.63
8	RT 03 ASA PAM LUM	0.1525	29.94	359.32	4.57	54.80	S/ 18.00	S/ 82.19	S/ 986.33	0.676	S/ 55.56	S/ 666.76
9	RT 03 ASA PAM MAR	0.1525	44.94	539.24	6.85	82.23	S/ 18.00	S/ 123.35	S/ 1,480.21	0.676	S/ 83.39	S/ 1,000.62
10	RT 03 ASA PAM MIE	0.1525	154.44	1,853.28	23.55	282.63	S/ 18.00	S/ 423.94	S/ 5,087.25	0.676	S/ 286.58	S/ 3,438.98
11	RT 03 ASA PAM VIE	0.1525	45.07	540.80	6.87	82.47	S/ 18.00	S/ 123.71	S/ 1,484.50	0.676	S/ 83.63	S/ 1,003.52
12	RT 04 ASA	0.1525	108.71	1,304.47	16.58	198.93	S/ 18.00	S/ 298.40	S/ 3,580.78	0.676	S/ 201.72	S/ 2,420.60
13	RT 04-1 ASA	0.1525	301.08	3,612.96	45.91	550.98	S/ 18.00	S/ 826.46	S/ 9,917.58	0.676	S/ 558.69	S/ 6,704.28
14	RT 05 ASA	0.1525	72.12	865.49	11.00	131.99	S/ 18.00	S/ 197.98	S/ 2,375.76	0.676	S/ 133.83	S/ 1,606.02
15	RT 06 IND ASA	0.1525	121.42	1,457.04	18.52	222.20	S/ 18.00	S/ 333.30	S/ 3,999.57	0.676	S/ 225.31	S/ 2,703.71
16	RT 6.1 IND ASA	0.1525	92.43	1,109.16	14.10	169.15	S/ 18.00	S/ 253.72	S/ 3,044.64	0.676	S/ 171.51	S/ 2,058.18
17	RT CO L01	0.1525	15.04	180.44	2.29	27.52	S/ 18.00	S/ 41.28	S/ 495.31	0.676	S/ 27.90	S/ 334.83
18	RT CO L02	0.1525	10.66	127.92	1.63	19.51	S/ 18.00	S/ 29.26	S/ 351.14	0.676	S/ 19.78	S/ 237.37
19	RT CO L03	0.1525	6.46	77.48	0.98	11.82	S/ 18.00	S/ 17.72	S/ 212.68	0.676	S/ 11.98	S/ 143.77
20	RT CO L/M	0.1525	4.33	52.00	0.66	7.93	S/ 18.00	S/ 11.90	S/ 142.74	0.676	S/ 8.04	S/ 96.49
21	RT CO Mar N1	0.1525	75.01	900.12	11.44	137.27	S/ 18.00	S/ 205.90	S/ 2,470.83	0.676	S/ 139.19	S/ 1,670.28
22	RT CO Mar N2	0.1525	6.41	76.96	0.98	11.74	S/ 18.00	S/ 17.60	S/ 211.26	0.676	S/ 11.90	S/ 142.81
23	RT CO Mie N1	0.1525	52.35	628.16	7.98	95.79	S/ 18.00	S/ 143.69	S/ 1,724.30	0.676	S/ 97.14	S/ 1,165.63
24	RT CO Mie N3	0.1525	7.24	86.84	1.10	13.24	S/ 18.00	S/ 19.86	S/ 238.38	0.676	S/ 13.43	S/ 161.14
25	RT CO Mie / Vie	0.1525	3.51	42.12	0.54	6.42	S/ 18.00	S/ 9.63	S/ 115.62	0.676	S/ 6.51	S/ 78.16
26	RT CO Jue N1	0.1525	17.07	204.88	2.60	31.24	S/ 18.00	S/ 46.87	S/ 562.40	0.676	S/ 31.68	S/ 380.18
27	RT CO Jue N2	0.1525	2.21	26.52	0.34	4.04	S/ 18.00	S/ 6.07	S/ 72.80	0.676	S/ 4.10	S/ 49.21
28	RT CO Vie N1	0.1525	144.04	1,728.48	21.97	263.59	S/ 18.00	S/ 395.39	S/ 4,744.68	0.676	S/ 267.28	S/ 3,207.40
29	RT CO Vie N2	0.1525	9.32	111.80	1.42	17.05	S/ 18.00	S/ 25.57	S/ 306.89	0.676	S/ 17.29	S/ 207.46
	TOTAL		2,800.67	33,608.02	427.10	5125.22		S/ 7,687.83	S/ 92,254.00		S/ 5,196.98	S/ 62,363.71

Nota: Elaboración propia.

Para estimar el consumo de combustible asociado al recorrido de los vehículos recolectores, se empleó un factor de 0.1525 gal/km. Como referencia, se consideró el rendimiento de 8 km/gal utilizado por Taquía Valdivia (2013) en su investigación sobre la optimización de rutas de recolección de residuos sólidos en el distrito de Los Olivos. Asimismo, como antecedente complementario, Rosero Obando et al. (2017), en el estudio se determinó que las intersecciones semaforizadas representaban el 22 % del consumo de combustible de los autobuses en la ciudad de Ibarra, Ecuador, evidenciando la influencia de las condiciones de circulación vehicular sobre dicho consumo. En este contexto, se adoptó el factor de 0.1525 gal/km como un supuesto de estimación, el cual se mantuvo constante tanto para el sistema actual como para el propuesto, con la finalidad de estimar las variaciones en el consumo de combustible en función de la distancia recorrida y garantizar una comparación homogénea entre ambos escenarios.

La investigación considera:

$$\frac{1}{8}\, x\, 1.22 \;= 0.1525\; gal/km$$

4.5.1.3 Costo de mano de obra actual.

Con la información proporcionada por la Sub Gerencia de Limpieza, el cuadro operativo de la mano de obra actual cuenta con 13 choferes y 26 operadores que maniobran los recolectores son los ejecutores de las rutas de recolección, tal como se encuentra el detalle en el Anexo 9 y 10.

A continuación, se presente la tabla de costos del personal, se realizó con el apoyo del Portal de Transparencia de la Entidad, se presenta 3 tablas de acuerdo con cada régimen (728, 276, CAS).

Tabla 10

Tabla Costo de Mano de Obra Actual – Régimen 728

Puesto de trabajo	Personal Estable	Sueldo Básico	Asig. Familiar	Essalud	Pago Mensual	Pago 12 meses	Gratificación (Julio)	Gratificación (Diciembre)	Bono Escolari.	CTS (Mayo)	CTS (Noviembre)	Total Anual
Chofer	Zevallos Rodriguez Jesus	S/ 1,624.00	S/ 112.50	S/ 146.16	S/ 1,882.66	S/ 22,591.92	S/ 1,882.66	S/ 1,882.66	S/ 400.00	S/ 968.89	S/ 968.89	S/ 28,695.02
Chofer	Fredy Calcina Ayamamani	S/ 2,391.00	S/ 112.50	S/ 215.19	S/ 2,718.69	S/ 32,624.28	S/ 2,718.69	S/ 2,718.69	S/ 400.00	S/ 1,422.06	S/ 1,422.06	S/ 41,305.78
Chofer	Zavala Salas Miguel	S/ 2,198.00	S/ 112.50	S/ 197.82	S/ 2,508.32	S/ 30,099.84	S/ 2,508.32	S/ 2,508.32	S/ 400.00	S/ 1,308.03	S/ 1,308.03	S/ 38,132.53
Chofer	Lopez Medina Oscar	S/ 1,915.00	S/ 112.50	S/ 172.35	S/ 2,199.85	S/ 26,398.20	S/ 2,199.85	S/ 2,199.85	S/ 400.00	S/ 1,140.82	S/ 1,140.82	S/ 33,479.54
Chofer	Vizcarra Medina Juan	S/ 2,198.00	S/ 112.50	S/ 197.82	S/ 2,508.32	S/ 30,099.84	S/ 2,508.32	S/ 2,508.32	S/ 400.00	S/ 1,308.03	S/ 1,308.03	S/ 38,132.53
Chofer	Gutierrez Carrion, Julio	S/ 2,372.91	S/ 112.50	S/ 213.56	S/ 2,698.97	S/ 32,387.66	S/ 2,698.97	S/ 2,698.97	S/ 400.00	S/ 1,411.37	S/ 1,411.37	S/ 41,008.35
Ayudante	Carrera Herrera, Diego	S/ 1,764.11	S/ 112.50	S/ 158.77	S/ 2,035.38	S/ 24,424.56	S/ 2,035.38	S/ 2,035.38	S/ 400.00	S/ 1,051.67	S/ 1,051.67	S/ 30,998.66
Ayudante	Castro Fernandez, Andres	S/ 1,548.61	S/ 112.50	S/ 139.37	S/ 1,800.48	S/ 21,605.82	S/ 1,800.48	S/ 1,800.48	S/ 400.00	S/ 924.35	S/ 924.35	S/ 27,455.48
Ayudante	Catacora Vilca Jacinto	S/ 1,622.50	S/ 112.50	S/ 146.03	S/ 1,881.03	S/ 22,572.30	S/ 1,881.03	S/ 1,881.03	S/ 400.00	S/ 968.00	S/ 968.00	S/ 28,670.35
Ayudante	Condori Ruelas, Rodolfo	S/ 955.08	S/ 112.50	S/ 85.96	S/ 1,153.54	S/ 13,842.45	S/ 1,153.54	S/ 1,153.54	S/ 400.00	S/ 573.67	S/ 573.67	S/ 17,696.86
Ayudante	Carrasco Vasquez Paulo	S/ 1,300.00	S/ 112.50	S/ 117.00	S/ 1,529.50	S/ 18,354.00	S/ 1,529.50	S/ 1,529.50	S/ 400.00	S/ 777.46	S/ 777.46	S/ 23,367.92
Ayudante	Hermoza Camacho, Luis	S/ 1,643.33	S/ 112.50	S/ 147.90	S/ 1,903.73	S/ 22,844.76	S/ 1,903.73	S/ 1,903.73	S/ 400.00	S/ 980.31	S/ 980.31	S/ 29,012.83
Ayudante	Huaracha Phuño, Jose	S/ 1,764.11	S/ 112.50	S/ 158.77	S/ 2,035.38	S/ 24,424.56	S/ 2,035.38	S/ 2,035.38	S/ 400.00	S/ 1,051.67	S/ 1,051.67	S/ 30,998.66
Ayudante	La Torre Condori, Percy	S/ 1,661.61	S/ 112.50	S/ 149.54	S/ 1,923.65	S/ 23,083.86	S/ 1,923.65	S/ 1,923.65	S/ 400.00	S/ 991.11	S/ 991.11	S/ 29,313.39
Ayudante	Lima Mallas, Rocio	S/ 941.56	S/ 112.50	S/ 84.74	S/ 1,138.80	S/ 13,665.60	S/ 1,138.80	S/ 1,138.80	S/ 400.00	S/ 565.68	S/ 565.68	S/ 17,474.57
Ayudante	Mamani Quispe, Marco	S/ 1,661.61	S/ 112.50	S/ 149.54	S/ 1,923.65	S/ 23,083.86	S/ 1,923.65	S/ 1,923.65	S/ 400.00	S/ 991.11	S/ 991.11	S/ 29,313.39
Ayudante	Quispe Chipana, Julio	S/ 1,461.11	S/ 112.50	S/ 131.50	S/ 1,705.11	S/ 20,461.32	S/ 1,705.11	S/ 1,705.11	S/ 400.00	S/ 872.65	S/ 872.65	S/ 26,016.83
Ayudante	Quispe Illatinco, Juan	S/ 1,661.61	S/ 112.50	S/ 149.54	S/ 1,923.65	S/ 23,083.86	S/ 1,923.65	S/ 1,923.65	S/ 400.00	S/ 991.11	S/ 991.11	S/ 29,313.39
Ayudante	Robles Quispe, Baltazar	S/ 1,661.61	S/ 112.50	S/ 149.54	S/ 1,923.65	S/ 23,083.86	S/ 1,923.65	S/ 1,923.65	S/ 400.00	S/ 991.11	S/ 991.11	S/ 29,313.39
Ayudante	Salluca Quispe Eulalia	S/ 1,764.11	S/ 112.50	S/ 158.77	S/ 2,035.38	S/ 24,424.56	S/ 2,035.38	S/ 2,035.38	S/ 400.00	S/ 1,051.67	S/ 1,051.67	S/ 30,998.66
Ayudante	Salas Churata, Oshin	S/ 1,378.61	S/ 112.50	S/ 124.07	S/ 1,615.18	S/ 19,382.22	S/ 1,615.18	S/ 1,615.18	S/ 400.00	S/ 823.90	S/ 823.90	S/ 24,660.40
Ayudante	Ticona Diaz Pedro Luis	S/ 1,327.50	S/ 112.50	S/ 119.48	S/ 1,559.48	S/ 18,713.70	S/ 1,559.48	S/ 1,559.48	S/ 400.00	S/ 793.71	S/ 793.71	S/ 23,820.06
Ayudante	Usnayo Alvarado Luisa	S/ 1,732.50	S/ 112.50	S/ 155.93	S/ 2,000.93	S/ 24,011.10	S/ 2,000.93	S/ 2,000.93	S/ 400.00	S/ 1,032.99	S/ 1,032.99	S/ 30,478.94
TOTAL			**S/ 112.50**		**S/ 44,605.34**	**S/ 535,264.12**	**S/ 44,605.34**	**S/ 44,605.34**	**S/ 9,200.00**	**S/ 22,991.35**	**S/ 22,991.35**	**S/ 679,657.51**

Nota: Elaboración propia.

Tabla 11

Tabla Costo de Mano de Obra Actual – Régimen 276

Puesto de trabajo	Personal	Sueldo Básico	Es salud	Pago Mensual	Pago 12 meses	Aguinaldo (Julio)	Aguinaldo (Diciembre)	Bono Escolaridad	Total Anual
Chofer	Rodolfo Arias Vera	S/ 1,892.82	S/ 170.35	S/ 2,063.17	S/ 24,758.09	S/ 300.00	S/ 300.00	S/ 400.00	S/ 25,758.09
Chofer	Jaime Ovalle Valdeiglesias	S/ 1,949.20	S/ 175.43	S/ 2,124.63	S/ 25,495.54	S/ 300.00	S/ 300.00	S/ 400.00	S/ 26,495.54
Chofer	Santiago Rimachi Cardenas	S/ 1,932.20	S/ 173.90	S/ 2,106.10	S/ 25,273.18	S/ 300.00	S/ 300.00	S/ 400.00	S/ 26,273.18
Chofer	Huanca Urquizo Jesus	S/ 1,934.82	S/ 174.13	S/ 2,108.95	S/ 25,307.45	S/ 300.00	S/ 300.00	S/ 400.00	S/ 26,307.45
Chofer	Abel Huayta	S/ 1,824.88	S/ 164.24	S/ 1,989.12	S/ 23,869.43	S/ 300.00	S/ 300.00	S/ 400.00	S/ 24,869.43
TOTAL				S/ 10,391.97	S/ 124,703.67	S/ 1,500.00	S/ 1,500.00	S/ 2,000.00	S/ 129,703.67

Nota: Elaboración propia.

Tabla 12

Costo de Mano de Obra Actual – CAS

Puesto de trabajo	Personal Estable	Sueldo Básico	Es salud	Pago Mensual	Pago 12 meses	Gratificación (Julio)	Gratificación (Diciembre)	Bono Escolaridad	CTS (Solo se paga al irse)	Total, Anual
CHOFER	LUIS CONTRERAS HUAMANI	S/ 1,850.00	S/ 166.50	S/ 2,016.50	S/ 24,198.00	S/ 300.00	S/ 300.00	S/ 400.00	S/ 2,016.50	S/ 27,214.50
CHOFER	BRAULIO GONZALES ARQUE	S/ 1,850.00	S/ 166.50	S/ 2,016.50	S/ 24,198.00	S/ 2,016.50	S/ 2,016.50	S/ 400.00	S/ 2,016.50	S/ 30,647.50
Ayudante	ENRIQUEZ TORRES ALCIDES	S/ 1,300.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 1,417.00	S/ 1,417.00	S/ 400.00	S/ 1,417.00	S/ 21,655.00
Ayudante	MAYORGA RAMIREZ EXALTACION DE LA CRUZ	S/ 1,300.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 1,417.00	S/ 1,417.00	S/ 400.00	S/ 1,417.00	S/ 21,655.00
Ayudante	ORTIZ HUANCA JHOSUA SERGIO	S/ 1,300.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 1,417.00	S/ 1,417.00	S/ 400.00	S/ 1,417.00	S/ 21,655.00
Ayudante	ORTIZ HUANCA KEVIN SERGIO	S/ 1,300.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 1,417.00	S/ 1,417.00	S/ 400.00	S/ 1,417.00	S/ 21,655.00
Ayudante	RICHARD MERCADO ALMONTE	S/ 1,300.00	S/ 117.00	S/ 1,417.00	S/ 17,004.00	S/ 1,417.00	S/ 1,417.00	S/ 400.00	S/ 1,417.00	S/ 21,655.00
TOTAL				S/ 11,118.00	S/ 133,416.00	S/ 9,401.50	S/ 9,401.50	S/ 2,800.00	S/ 11,118.00	S/ 166,137.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 13

Costo Total de la Mano de Obra Actual Consolidado Anual

Condición	Costo Total de Mano de Obra Anual (Actual)
728	S/ 679,657.51
276	S/ 129,703.67
CAS	S/ 166,137.00
TOTAL	S/ 975,498.18

Nota: Elaboración propia

4.5.2 *Análisis técnico y económico de la propuesta*

4.5.2.1 Distancia recorrida en la Distribución Propuesta.

Tabla 14

Distancia recorrida en la Distribución Propuesta.

RUTAS	DISTANCIA RECORRIDA Km/día	DISTANCIA RECORRIDA Km/semana (6 dias)	DISTANCIA RECORRIDA Km/mes	DISTANCIA RECORRIDA Km/año
Ruta 1	8.58	51.46	223.00	2,676.02
Ruta 2	9.66	57.93	251.03	3,012.36
Ruta 3	12.48	74.89	324.51	3,894.07
Ruta 4	7.87	47.24	204.70	2,456.38
Ruta 5	10.02	60.13	260.55	3,126.55
Ruta 6	8.91	53.47	231.71	2,780.54
Ruta 7	10.07	60.42	261.82	3,141.84
Ruta 8	9.99	59.92	259.66	3,115.94
Ruta 9	9.61	57.67	249.89	2,998.63
TOTAL	87.19	523.12	2,266.86	27,202.34

Nota: Elaboración propia

4.5.2.2 Costo de Combustible Propuesta.

Tabla 15

Costo de Combustible Propuesta.

RUTAS	gal/km	DISTANCIA RECORRIDA Km/mes	DISTANCIA RECORRIDA Km/año	gal/mes	gal/año	Precio	Costo Mensual Precio Mercado	Costo Anual Precio de Mercado	Factor de corrección Precio Social de Combustible	Costo Mensual Precio Social	Costo Anual Precio Social
Ruta 1	0.1525	223.00	2,676.02	34.007805	408.09366	S/ 18.00	S/ 612.14	S/ 7,345.69	0.676	S/ 413.81	S/ 4,965.68
Ruta 2	0.1525	251.03	3,012.36	38.282075	459.3849	S/ 18.00	S/ 689.08	S/ 8,268.93	0.676	S/ 465.82	S/ 5,589.80
Ruta 3	0.1525	324.51	3,894.07	49.487165	593.84598	S/ 18.00	S/ 890.77	S/ 10,689.23	0.676	S/ 602.16	S/ 7,225.92
Ruta 4	0.1525	204.70	2,456.38	31.216445	374.59734	S/ 18.00	S/ 561.90	S/ 6,742.75	0.676	S/ 379.84	S/ 4,558.10
Ruta 5	0.1525	260.55	3,126.55	39.733265	476.79918	S/ 18.00	S/ 715.20	S/ 8,582.39	0.676	S/ 483.47	S/ 5,801.69
Ruta 6	0.1525	231.71	2,780.54	35.33608	424.03296	S/ 18.00	S/ 636.05	S/ 7,632.59	0.676	S/ 429.97	S/ 5,159.63
Ruta 7	0.1525	261.82	3,141.84	39.92755	479.1306	S/ 18.00	S/ 718.70	S/ 8,624.35	0.676	S/ 485.84	S/ 5,830.06
Ruta 8	0.1525	259.66	3,115.94	39.598455	475.18146	S/ 18.00	S/ 712.77	S/ 8,553.27	0.676	S/ 481.83	S/ 5,782.01
Ruta 9	0.1525	249.89	2,998.63	38.107615	457.29138	S/ 18.00	S/ 685.94	S/ 8,231.24	0.676	S/ 463.69	S/ 5,564.32
TOTAL		2,266.86	27,202.34	345.696455	4148.35746		S/ 6,222.54	S/ 74,670.43		S/ 4,206.43	S/ 50,477.21

Nota: Elaboración propia

4.5.2.3 Costo de mano de obra propuesto.

Para la propuesta de la investigación se considera con 9 recolectores operativos; es por ello que se utilizarán 9 choferes y 18 ayudantes de recolección.

Asi mismo es importante que el personal encargado cuente con un seguro íntegro y que las remuneraciones sean estandarizadas, tomando como referencia la remuneración más alta actualmente percibida para cada puesto, con la finalidad de establecer condiciones salariales uniformes. De igual manera, en el caso de los ayudantes, solo se contará con personal bajo el régimen 728. Actualmente se cuenta con 6 choferes bajo dicho régimen, por lo que se deberá contratar a 3 más para completar el personal requerido y estandarizar con los 18 ayudantes. Se estandarizará los sueldos, a partir del más alto. En tal sentido, serán considerados en la evaluación económica de mano de obra propuesta.

Tabla 16

Costo de mano de obra propuesto.

Puesto de trabajo	**Chofer**	**Ayudante**	**TOTAL**
N° de Trabajadores	9	18	
Sueldo Básico	S/ 2,372.91	S/ 1,764.11	
Asig. Familiar	S/ 112.50	S/ 112.50	
Essalud	S/ 213.56	S/ 158.77	
Pago Mensual	S/ 24,290.75	S/ 36,636.84	S/ 60,927.59
Pago 12 meses	S/ 291,488.97	S/ 439,642.06	S/ 731,131.02
Gratificación (Julio)	S/ 2,698.97	S/ 2,035.38	S/ 4,734.35
Gratificación (Diciembre)	S/ 2,698.97	S/ 2,035.38	S/ 4,734.35
Bono Escolaridad	S/ 400.00	S/ 400.00	S/ 800.00
CTS (Mayo)	S/ 1,411.37	S/ 1,051.67	S/ 2,463.04
CTS (Noviembre)	S/ 1,411.37	S/ 1,051.67	S/ 2,463.04
Total Anual	**S/ 300,109.65**	**S/ 446,216.16**	**S/ 746,325.81**

Nota: Elaboración propia

El costo anual consolidado actual del personal asciende a S/ 975,498.18, mientras que la propuesta planteada presenta un costo anual de S/ 746,325.81. En tal sentido, la propuesta permitiría una reducción de costos de S/ 229,172.37 anuales, representando aproximadamente un 23.49% menos en comparación al costo actual del sistema.

Asimismo, es importante recalcar que la reducción de costos podría ser aún mayor; sin embargo, para la presente investigación se consideró la estandarización de remuneraciones tomando como referencia los sueldos más altos tanto de los choferes como de los ayudantes, la investigación no solo busca optimizar costos y rutas de recolección, sino también mejorar las condiciones laborales del personal operativo, quienes diariamente realizan labores de alto riesgo y exposición en la vía pública.

En muchos casos, el personal de recolección trabaja en horarios de alta circulación vehicular, expuestos constantemente a accidentes, atropellos, contaminación y esfuerzo físico continuo, sin contar muchas veces con condiciones laborales adecuadas o remuneraciones equitativas. Por ello, la propuesta plantea una mejora y estandarización salarial que permita reconocer la importancia del trabajo que realizan dentro del sistema de limpieza pública, buscando también generar mayor motivación, compromiso y eficiencia operativa en el desarrollo de sus funciones.

4.5.3 *Comparativa del sistema actual y propuesto*

4.5.3.1 Comparativa de la distancia Actual y Propuesto

A continuación, en la Tabla 17 se muestra las distancias mensuales y anuales del sistema actual de recolección y que propone la presente investigación.

Tabla 17

Comparativa de la distancia Actual y Propuesto

	Actual	Propuesto	Diferencia
Km / mes	2,800.67	2,266.86	533.81
km / año	33,608.02	27,202.34	6,405.68

Nota: Elaboración propia

El porcentaje reducido anual es de 19.06% bajo el modelo TSP, dejando de recorrer 6,405.68 km/año esto dejara de exigir el kilometraje, extendiendo el ciclo de vida de las unidades.

4.5.3.2 Comparativa de costos de combustibles Actual y Propuesto

La implementación del modelo de optimización propuesto genera un impacto económico determinante, logrando reducir el gasto anual en combustible de S/ 62,363.70 a S/ 50,477.21, lo que representa un ahorro superior al 19.05% siendo la disminución de S/ 11,886.49.

Tabla 18

Comparación del costo de Combustible

	Actual	Propuesto	Diferencia
Costo Comb. / mes	S/ 5,196.98	S/ 4,206.43	S/ 990.54
Costo Comb. / anual	S/ 62,363.71	S/ 50,477.21	S/ 11,886.49

Nota: Elaboración propia

4.5.3.3 Comparativa de costos de mano de obra Actual y Propuesto

La optimización del sistema de recolección proyecta una reducción significativa en los costos de mano de obra, logrando un ahorro anual de S/ 229,172.38, lo que representa una disminución del 23.5% respecto al gasto actual de S/ 975,498.18. Esta mejora en la eficiencia operativa, que se traduce en un ahorro mensual de S/ 5,187.73, sugiere que el nuevo diseño de rutas permite una ejecución más ágil y compacta de las tareas, minimizando tiempos improductivos o la necesidad de jornadas extendidas. En última instancia, este alivio presupuestario fortalece la viabilidad del proyecto, demostrando que la planificación técnica no solo optimiza recursos físicos como el combustible, sino que también maximiza el rendimiento del capital humano sin comprometer la calidad del servicio de limpieza.

Tabla 19

Comparativa de Costos de Mano de Obra

	Actual	Propuesto	Diferencia
Costo Mano de ob. / mes	S/ 66,115.32	S/ 60,927.59	S/ 5,187.73
Costo Mano de obr. / anual	S/ 975,498.18	S/ 746,325.81	S/ 229,172.38

Nota: Elaboración propia

4.5.3.4 Comparativa del costo de mantenimiento actual y propuesto

Los costos de mantenimiento considerados en la presente investigación fueron determinados tomando como referencia la IOARR denominada "Adquisición de Camión Compactador, en el Servicio de Limpieza Pública y Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito de Pucusana, Provincia Lima, Departamento Lima", con Código Único de Inversiones N.° 2716829, aprobada mediante Resolución Gerencial N.° 002-2026-GDU-MDP. El documento establece la adquisición de un camión compactador de 21 m^3 (14 tm) e incorpora dentro de su presupuesto cuatro (04) mantenimientos preventivos, valorizados en S/ 15,000.00 (precio por unidad). En ese sentido, dicho valor fue adoptado como referencia para la estimación de los costos de mantenimiento preventivo de las unidades vehiculares consideradas en la propuesta, al corresponder a información oficial y reciente de una inversión pública destinada específicamente al servicio de recolección y transporte de residuos sólidos, resolución ubicada en el Anexo 12.

Tabla 20
Costo del Mantenimiento Actual

NUMERO DE COMPACTADORAS UTILIZADAS	COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO POR COMPACTADORA	COSTO DE MANTENIMIENTO
17	S/ 15,000.00	S/ 255,000.00

Nota: Elaboración propia

Luego de aplicar la metodología TSP, en el punto 4.2.4 se determina los vehículos necesarios para la ejecución del servicio propuesto, por ello se considerará dos recolectores adicionales como reserva para garantizar la continuidad del servicio ante contingencias, la flota total será de 11 camiones recolectores.

Tabla 21
Costo del Mantenimiento Propuesto

NUMERO DE COMPACTADORAS UTILIZADAS	COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO POR COMPACTADORA	COSTO DE MANTENIMIENTO
11	S/ 15,000.00	S/ 165,000.00

Nota: Elaboración propia

Se propone la venta de 11 compactadoras, conservando 6 unidades y adquiriendo 5 nuevas, con lo cual se contará con una flota total de 11 compactadoras: 9 requeridas para la operación y 2

de reserva ante posibles imprevistos. Según el POI de la Subgerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental dispone un presupuesto anual de S/ 3,835,054.00 para actividades vinculadas a limpieza pública y gestión de residuos sólidos. Por ello, la Municipalidad podrá continuar con la renovación progresiva de las unidades existentes mediante su presupuesto institucional.

A continuación, en la Tabla 22, se muestra la optimización económica anual.

Tabla 22

Optimización Económica Anual

	ACTUAL	PROPUESTO	AHORRO
Costo de Mantenimiento	S/ 255,000.00	S/ 165,000.00	S/ 90,000.00
Costo de Mano de Obra	S/ 975,498.18	S/ 746,325.81	S/ 229,172.37
Costo del combustible	S/ 62,363.71	S/ 50,477.21	S/ 11,886.49

Nota: Elaboración propia

4.5.4 *Costos de implementación de la propuesta*

En las Tablas 23, 24, 25 y 26 se desglosa los costos a utilizar en relación al proyecto, priorizando el aprovechamiento de los recursos humanos, logísticos y operativos disponibles en la municipalidad, se considera costos adicionales atribuible a la optimización del sistema de recolección.

Tabla 23

Costo de la Implementación

Categoría / Concepto	Detalle	Importe
Pintura en Spray (Esmalte)	20 latas;S/15; Para marcar el número de contenedor y el código de zona	S/ 300.00
Movilidad Local y Supervisión		S/ 800.00
Combustible	Gasolina para 15 salidas	S/ 1,600.00
Costo total recursos		**S/ 2,700.00**

Nota: Elaboración propia

Tabla 24

Costo de Prueba Piloto

Categoría / Concepto	Detalle	Importe
Combustible Piloto	6 dias; S/ 600.00	S/ 3,600.00
Personal Operativo de Apoyo	6 dias; S/ 70.00	S/ 420.00
Costo de prueba		**S/ 4,020.00**

Nota: Elaboración propia

Se plantea en la prueba piloto, una evaluación focalizada utilizando los recursos disponibles de la municipalidad, es por ello que no se centrará personal adicional sino los costos incrementales.

Tabla 25

Costo de Reubicación de Contenedores

Categoría / Concepto	Detalle	Importe
Mano de Obra Directa	Cuadrilla: 1 Chofer (S/ 90) + 2 Ayudantes(S/ 55); 10 dias;	S/ 2,000.00
Combustible (Diésel)	S/ 60.00 / día ;10 dias	S/ 600.00
Implementos (EPP)	S/ 85 por persona; 10dias	S/ 255.00
Alquiler de camión brazo hidraulico	S/ 450 por dia; 10 dias	S/ 4,500.00
Costo de reubicación	(S/ 19.25 por contenedor); 320	**S/ 7,355.00**

Nota: Elaboración propia

No se contempla la modificación de los 340 contenedores existentes. Estos han sido considerados dentro de las rutas durante la planificación y el diseño de la propuesta, solo se intervendrá en lo necesario según conforme el diseño propuesto. En el Anexo 14 se encuentra a detalle las nuevas ubicaciones de los contenedores, que se modificó su lugar.

Tabla 26

Costos de Difusión y Capacitación

Categoría / Concepto	Detalle	Importe
Costo de difusión población		**S/ 7,000.00**
Costo de capacitación técnica	Codigo de Actividad AOI300332200110	**S/ 5,000.00**
Costo de difusión y capacitación		**S/ 12,000.00**

Nota: Elaboración propia

El componente más significativo dentro del costo de implementación, es la reposición de 5 compactadoras (S/ **3,757,500.00**), los beneficios económicos conjuntos derivados de la optimización, principalmente los ahorros en mano de obra, mantenimiento y combustible, además de los ingresos considerados en la línea de horizonte.

Tabla 27

Costo de Reposición de Maquinaria (Fase 1)

Categoría / Concepto	Detalle	Importe
Cantidad que reponer		5
Costo de compactador (20 m3)		S/ 751,500.00
Costo total reposición		S/ 3,757,500.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 28

Resumen de Inversión Total

Categoría / Concepto	Detalle	Importe
Costo de Recursos	Pintura, movilidad y gasolina	S/ 2,700.00
Costo de Prueba	Pilotaje de 6 días	S/ 4,020.00
Costo de Reubicación	Movimiento de 266 contenedores	S/ 7,355.00
Difusión y Capacitación	Población y personal técnico	S/ 12,000.00
Reposición de Compactadores	Adquisición de 5 unidades nuevas	**S/** 3,757,500.00
Gastos Generales e Imprevistos	Contingencias	S/ 5,000.00
Suma de Costos		S/3, 788, 575.00

Nota: Elaboración propia

El presupuesto consolidado del costo implementación asciende a S/ 3,788,575.00 , de los cuales el 99.18 % corresponde a la inversión de capital en maquinaria nueva en la reposición de 5 compactadoras (**S/** 3,757,500.00). Es fundamental resaltar que los costos operativos de implementación (recursos, pruebas y reubicación) representan menos del 1 % del total.

4.5.5 *Flujo económico del proyecto propuesto*

Con base en los datos previamente expuestos, se procedió a elaborar el flujo proyectado para un horizonte de evaluación de 10 años. Asimismo, considerando que el proyecto se encuentra dirigido al sector público, se utilizó una tasa social de descuento del 5% para efectuar la evaluación económica del proyecto.

Para el periodo 0, se consideró como ingreso la venta de 11 compactadoras a remplazar que la mayoría cumplió su ciclo de trabajo (10 años) detallado en el Anexo 11,para determinar el valor de venta se toma como referencia la Subasta Pública N.° 002-2020/MM de la Municipalidad Distrital de Miraflores detallada en el Anexo 13, obteniendo un valor promedio referencial de S/ 96,561.62, Finalmente, en el periodo 10 se incluyó el valor de rescate correspondiente a los 5 vehículos adquiridos durante los 10 años, es te dato se extrae por lo reportado por Acosta Catacora (2020), se considera un valor referencial de S/ 90 000,00 por unidad.

Tabla 29

Flujo económico del proyecto propuesto

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos											
Venta de Activo	S/ 1,062,177.82										
Ahorro en mantenimiento		S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00	S/ 90,000.00
Ahorro en Mano de Obra		S/ 229,172.37	S/ 229,172.37	S/ 229,172.37	S/ 229,172.37	S/ 229,172.37	S/ 229,172.37	S/ 229,172.37	S/ 229,172.37	S/ 229,172.37	S/ 229,172.37
Ahorro en combustible		S/ 11,886.49	S/ 11,886.49	S/ 11,886.49	S/ 11,886.49	S/ 11,886.49	S/ 11,886.49	S/ 11,886.49	S/ 11,886.49	S/ 11,886.49	S/ 11,886.49
Valor de Rescate de equipos											S/ 450,000.00
Total Ingresos	**S/ 1,062,177.82**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 781,058.86**
Costos											
Recursos utilizados											
Recursos utilizados	S/ 2,700.00										
Recorridos de prueba	S/ 4,020.00										
Reubicación de contenedores	S/ 7,355.00										
Difusión a la población	S/ 7,000.00										
Capacitaciones	S/ 5,000.00										
Costo de reposición de equipo	S/ 3,757,500.00										
Gastos generales e imprevistos	S/ 5,000.00										
Total Costos	**S/ 3,788,575.00**	**S/ 0.00**	**S/ 0.00**	**S/ 0.00**	**S/ 0.00**	**S/ 0.00**	**S/ 0.00**	**S/ 0.00**	**S/ 0.00**	**S/ 0.00**	**S/ 0.00**
Impuesto (No aplica)	-										
Total de Ingredos - Costos	**-S/ 2,726,397.18**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 781,058.86**
Flujo del proyecto	**-S/ 2,726,397.18**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 331,058.86**	**S/ 781,058.86**

Nota: Elaboración propia

El análisis económico-financiero evidencia que la principal inversión del proyecto corresponde a la renovación y reposición de las unidades compactadoras, con un desembolso de S/ 3,757,500.00 (5 unidades) en el periodo 0, equivalente al 99.18 % de los costos totales de implementación. Los beneficios económicos proyectados provienen principalmente de los ahorros anuales en costos de mantenimiento por S/ 90,000.00, mano de obra por S/ 229,172.37 y combustible por S/ 11,886.49, los cuales se mantienen durante el horizonte de evaluación de 10 años.

Asimismo, en el periodo 0 se considera un ingreso de S/ 1,062,177.82 por la venta de 11 camiones compactadores, mientras que en el periodo 10 se incorpora un valor de rescate de S/ 450,000.00, correspondiente a las 5 unidades compactadoras adquiridas. De esta manera, la propuesta genera beneficios económicos anuales de S/ 331,058.86, alcanzando en el periodo 10 un flujo de S/ 781,058.86, debido a la incorporación del valor de rescate.

En términos generales, los resultados muestran una recuperación progresiva de la inversión mediante los ahorros generados por la optimización del sistema de recolección de residuos sólidos. Asimismo, la renovación de la flota permite disponer de 11 unidades compactadoras, de las cuales 9 corresponden al requerimiento operativo determinado mediante la metodología aplicada y 2 se consideran unidades de reserva ante posibles contingencias operativas. A continuación, se realizará el análisis de los principales indicadores de evaluación económica del proyecto: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), relación Beneficio/Costo (B/C) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

4.5.5.1 Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+i)^t}$$

$$VAN = -2{,}726{,}397.18 + \frac{331{,}058.86}{(1.05)^1} + \frac{331{,}058.86}{(1.05)^2} + \frac{331{,}058.86}{(1.05)^3} + \frac{331{,}058.86}{(1.05)^4} + \frac{331{,}058.86}{(1.05)^5} + \frac{331{,}058.86}{(1.05)^6} + \frac{331{,}058.86}{(1.05)^7} + \frac{331{,}058.86}{(1.05)^8} + \frac{331{,}058.86}{(1.05)^9} + \frac{781{,}058.86}{(1.05)^{10}}$$

$$VAN_(5\backslash\%) \; = \; S/106{,}212.57$$

Considerando una Tasa Social de Descuento (TSD) del 5 %, el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto es aproximadamente S/ 106,212.57, obteniéndose un resultado positivo que indica que la propuesta mantiene su viabilidad económica. La evaluación considera una inversión directa de S/ 3,757,500.00 destinada a la adquisición de 5 camiones compactadores, así como los demás costos necesarios para la implementación de la propuesta. Los beneficios económicos generados por los ahorros en combustible, mantenimiento y mano de obra permiten recuperar la inversión dentro del horizonte de evaluación de 10 años y generar un beneficio económico adicional en términos de valor presente. En consecuencia, al obtenerse un VAN mayor a cero, la propuesta cumple con este criterio de indicador económico.

4.5.5.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Con base en los datos presentados en la Tabla 29, el flujo del proyecto presenta un valor negativo de -S/ 2,726,397.18 en el año 0, debido principalmente a la inversión requerida para la adquisición de las nuevas unidades compactadoras. A partir del año 1, se generan flujos económicos positivos y constantes de S/ 331,058.86 anuales hasta el año 9, producto de los ahorros en combustible, mano de obra y mantenimiento. En el año 10, el flujo asciende a S/ 781,058.86, debido a la incorporación del valor de rescate de los 5 recolectores. A partir de estos resultados, se procederá al cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR), con la finalidad de determinar la rentabilidad y viabilidad económica del proyecto.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+TIR)^t}$$

$$0 = -2{,}726{,}397.18 + \frac{331{,}058.86}{(1+TIR)^1} + \frac{331{,}058.86}{(1+TIR)^2} + \frac{331{,}058.86}{(1+TIR)^3} + \frac{331{,}058.86}{(1+TIR)^4} + \cdots$$

$$+ \frac{331{,}058.86}{(1+TIR)^9} + \frac{781{,}058.86}{(1+TIR)^{10}}$$

$$TIR = 5.73\ \%$$

La Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto se sitúa en 5.73 %, superando la Tasa Social de Descuento (TSD) del 5 % considerada para la evaluación. Este resultado es favorable, especialmente considerando que el flujo incorpora la inversión inicial correspondiente a la adquisición de cinco nuevas compactadoras por S/ 3,757,500.00. La TIR obtenida evidencia que los ahorros generados en mantenimiento, combustible y mano de obra, derivados de la optimización

del sistema de recolección, permiten recuperar la inversión realizada y alcanzar una rentabilidad superior a la tasa social de descuento, confirmando la viabilidad económica de la propuesta.

4.5.5.3 Relación Beneficio/Costo

$$\frac{\boldsymbol{Beneficio}}{\boldsymbol{Costo}} = \frac{Va\ Ingreso}{Va\ Costos}$$

$$\frac{\boldsymbol{Beneficio}}{\boldsymbol{Costo}} = \frac{3,894,707.55}{3,788,575.00}$$

$$\frac{\boldsymbol{B}}{\boldsymbol{C}} = \mathbf{1.03}$$

Al ser el ratio mayor a la unidad (B/C > 1) , se confirma que el proyecto es económicamente eficiente, logrando que los beneficios derivados de la reducción de costos de mantenimiento, mano de obra y combustible superen con creces la inversión inicial.

4.5.5.4 Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

$$PRI = a + \frac{Io - b}{Ft}$$

- a = último año antes de recuperar la inversión “8 años”
- Io = inversión inicial neta, S/ 2,726,397.18
- b = flujo acumulado hasta el año 8, S/ 2,648,470.88
- F_t = flujo del año siguiente, S/ 331,058.86

$$PRI = 8 + \frac{2{,}726{,}397.18 - 2{,}648{,}470.88}{331{,}058.86}$$

$$PRI = 8.24; 8\ años\ y\ 3\ meses$$

El análisis del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) determina que el capital invertido de S/ 2,726,397.18 se recupera íntegramente en 8.24 años, equivalente aproximadamente a 8 años y 3 meses. Este resultado demuestra que los beneficios económicos generados por la propuesta permiten recuperar la inversión dentro del horizonte de evaluación establecido en 10 años, quedando aproximadamente 1 año y 9 meses para continuar generando beneficios económicos.

Si bien el periodo de recuperación representa una parte considerable del horizonte de evaluación, se debe considerar que la propuesta contempla una renovación significativa de la flota de compactadoras, dimensionada de acuerdo con las necesidades determinadas mediante la optimización del sistema de recolección. De esta manera, la inversión permite recuperar el capital dentro del periodo evaluado y, a su vez, disponer de una flota acorde con los requerimientos

operativos del servicio, conformada por 9 unidades destinadas a la operación y 2 unidades de reserva ante posibles contingencias, sin comprometer el presupuesto anual destinado a las actividades regulares de la Subgerencia de Limpieza Pública y Gestión Ambiental.

4.5.6 *Análisis de sensibilidad de la propuesta*

Se analizará el comportamiento de la investigación frente a dos posibles escenarios: pesimista y optimista, con la finalidad de evaluar la solidez y los resultados económicos obtenidos. Para este análisis se aplicará una variación de ±10% en las principales variables económicas:

- Escenario pesimista: se proyecta una reducción del 10% en los beneficios económicos y un incremento del 10% en los costos de inversión.
- Escenario optimista: se considera un incremento del 10% en los beneficios económicos y una reducción del 10% en los costos de inversión.

El análisis se llevará a cabo bajo un horizonte de evaluación de 10 años, manteniendo la Tasa Social de Descuento (TSD) en un 5%. A continuación en la Tabla 30, se observa el análisis de los supuestos casos.

Tabla 30

Supuestos considerados para el análisis de sensibilidad

Variable	Escenario pesimista	Escenario base	Escenario optimista
Variación de los costos de inversión	10%	0%	−10 %
Variación de los beneficios económicos	−10 %	0%	10%
Inversión total (Total de Costos)	S/ 4,167,432.50	S/ 3,788,575.00	S/ 3,409,717.50
Venta inicial de activos	S/ 1,062,177.82	S/ 1,062,177.82	S/ 1,062,177.82
Inversión inicial neta (Inversión - Venta)	S/ 3,105,254.68	S/ 2,726,397.18	S/ 2,347,539.68
Beneficio económico anual	S/ 297,952.97	S/ 331,058.86	S/ 364,164.75
Valor de rescate	S/ 450,000.00	S/ 450,000.00	S/ 450,000.00
Tasa Social de Descuento	5%	5%	5%
Horizonte de evaluación	10 años	10 años	10 años
VAN	−S/ 528,279.83	S/ 106,212.57	S/ 740,704.92
TIR	1.67%	5.73%	10.58%
B/C	0.87	1.03	1.22
PRI	9.57 años	8.24 años	6.45 años
Resultado económico	No viable	Viable	Viable

Nota: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que la viabilidad económica de la propuesta depende principalmente del control de los costos de inversión y de la materialización de los ahorros proyectados. Por ello, resulta necesario realizar un adecuado control durante el proceso de adquisición de las unidades recolectoras de residuos, así como efectuar un seguimiento periódico

de los ahorros generados por la implementación de la propuesta, a fin de verificar el cumplimiento de los beneficios económicos estimados.

En el escenario pesimista, que representa la situación más crítica evaluada para la propuesta, se considera simultáneamente un incremento del 10 % en los costos de inversión y una reducción del 10 % en los beneficios económicos proyectados. Bajo estas condiciones, se obtiene un VAN negativo de −S/ 528,279.83, una TIR de 1.67 % y una relación B/C de 0.87. Estos resultados indican que, ante la ocurrencia conjunta de dichas variaciones desfavorables, la propuesta no alcanzaría los criterios establecidos de viabilidad económica. Por otro lado, en el escenario optimista, los resultados presentan un comportamiento económico más favorable, debido a la reducción del 10 % en los costos de inversión y al incremento del 10 % en los beneficios económicos proyectados. Bajo estas condiciones, se obtiene un VAN de S/ 740,704.92, una TIR de 10.58 % y una relación B/C de 1.22. Asimismo, el Periodo de Recuperación de la Inversión se reduce a aproximadamente 6.45 años, equivalente a 6 años y 5 meses, evidenciando una mayor rentabilidad y una recuperación más rápida del capital invertido.

En conjunto, el análisis de sensibilidad permite determinar que la propuesta presenta variaciones en su rentabilidad ante cambios en los costos de inversión y en los beneficios esperados. Mientras que el escenario optimista fortalece los indicadores económicos del proyecto, el escenario pesimista permite identificar el límite de riesgo económico de la propuesta, resaltando la importancia de controlar los costos de implementación y garantizar el cumplimiento de los ahorros proyectados.

4.6 Análisis del impacto ambiental estimado de la propuesta

Reduciendo el recorrido de los camiones recolectores se disminuirá directamente la emisión de gases, principalmente dióxido de carbono (CO_2). Para estimar el consumo de combustible del sistema actual se tomó como referencia la Tabla 9, correspondiente al costo de combustible de las 29 rutas evaluadas y para el sistema propuesto se emplearon los resultados de la Tabla 15 de las 9 rutas propuestas.

De acuerdo con la Tabla 9, el sistema actual registra una distancia total aproximada de 2,800.67 km/mes y 33,608.02 km/año. Considerando un factor de consumo de 0.1525 gal/km, se obtiene un consumo estimado de 427.10 galones mensuales y 5,125.22 galones anuales.

Asimismo, la Tabla 15, indica la propuesta con una distancia total de 2,266.86 km/mes y 27,202.34 km/año, manteniendo el factor de consumo de 0.1525 gal/km, se obtiene un consumo estimado de 345.70 galones mensuales y 4,148.36 galones anuales. En la Tabla N°31, se consolida los indicadores evaluados del sistema actual y de la propuesta optimizada.

Tabla 31
Resultados evaluados

ASPECTOS QUE EVALUAR	UNIDADES	ACTUAL	PROPUESTA
Tiempo de recolección	(h/año)	6,802.64	5,506.06
Distancia recorrida	(km/año)	33,608.02	27,202.34
Consumo de combustible	(gal/año)	5,125.22	4,148.36
Frecuencia de recolección	(días a la semana)	6.00	6.00

Nota: Elaboración propia.

4.6.1 *Estimación de la reducción de emisiones de CO_2*

La cuantificación de las emisiones de CO_2 se realizó empleando un factor de emisión estándar para diésel de 10.21 kg de CO_2 por galón consumido. A partir de este factor, se estimaron las emisiones correspondientes al sistema actual y al sistema propuesto.

La optimización de rutas permitió estimar una reducción del consumo de combustible de 5,125.22 a 4,148.36 galones por año, equivalente a 976.86 gal/año y a una disminución del 19.06 %. En consecuencia, se proyecta una reducción de las emisiones de CO_2, cuyos resultados se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32

Estimación de consumo de combustible y emisiones de CO2

INDICADOR	UNIDADES	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA PROPUESTO	REDUCCIÓN ABSOLUTA
Consumo de combustible	gal/año	5,125.22	4,148.36	976.86
Emisiones de CO_2	kg/año	52,328.50	42,354.76	9,973.74

Nota: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 32, la reducción del consumo de combustible genera una disminución estimada de aproximadamente 9,973.74 kg de CO_2 al año, equivalente a 9.97 toneladas de CO_2/año. Por tanto, la propuesta presenta un beneficio ambiental potencial asociado a la reducción de la distancia recorrida y al uso más eficiente del combustible en el servicio de recolección y transporte de residuos sólidos.

No obstante, debido a que la propuesta no ha sido implementada a escala operativa, los resultados ambientales corresponden a estimaciones matemáticas. En consecuencia, se recomienda su posterior validación mediante una prueba piloto y mediciones realizadas bajo condiciones reales de operación.

CONCLUSIONES

Se diseñó un modelo de optimización de rutas basado en el Problema del Agente Viajero (TSP), utilizando la formulación MTZ y la programación en Python, con la finalidad de mejorar la eficiencia del sistema de recolección de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre.

Respecto al diagnóstico situacional evidencio deficiencias operativas relacionadas con recorridos redundantes, altos tiempos de recolección, elevado consumo de combustible y limitada planificación técnica de rutas.

En relación con el modelamiento de la propuesta de optimización del ruteo, los resultados proyectados evidenciaron que la propuesta permitiría reducir la distancia recorrida semanal de 646.31 km a 523.12 km, equivalente a una disminución estimada del 19.06 %.

Respecto a la evaluación económica del modelo propuesto, el análisis costo-beneficio mostró indicadores financieros favorables, obteniendo un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 106,212.57, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 5.73 % y una relación Beneficio/Costo de 1.03, demostrando la viabilidad económica potencial frente al sistema actual.

En relación con el análisis del impacto ambiental, el modelo proyectó una reducción del consumo de combustible de 5,125.22 a 4,148.36 galones anuales, una disminución de 976.86 gal/año (19.06 %), equivalente a 9.97 toneladas de CO_2 al año, evidenciando que la optimización de rutas contribuiría potencialmente a reducir el impacto ambiental asociado al sistema de recolección y transporte de residuos sólidos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre evaluar la implementación progresiva del modelo de optimización de rutas propuesto, mediante pruebas piloto en los sectores evaluados, con la finalidad de validar en condiciones reales de operación los resultados obtenidos, considerando la reducción proyectada de la distancia recorrida, el tiempo de recolección y el consumo de combustible.

Se recomienda incorporar progresivamente herramientas tecnológicas de monitoreo y gestión, como Sistemas de Información Geográfica (SIG), dispositivos GPS y plataformas de seguimiento operativo, con el propósito de mejorar el control de las rutas, registrar información en tiempo real y facilitar futuras actualizaciones del modelo de optimización del sistema de recolección de residuos sólidos, los resultados obtenidos corresponden únicamente a un modelo matemático basado en el TSP.

Se recomienda actualizar periódicamente la información operativa utilizada para el diseño y optimización de las rutas, incluyendo tiempos de recorrido, distancias, generación de residuos, consumo de combustible, frecuencia de recolección y condiciones de la infraestructura vial, debido a que la precisión y aplicabilidad del modelo matemático dependen directamente de la calidad y vigencia de los datos empleados.

Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre evaluar la implementación de las nuevas ubicaciones de contenedores propuestas en la presente investigación, detalladas en el Anexo 14 correspondiente, previa validación técnica y operativa en campo, con la finalidad de complementar el modelo de optimización desarrollado y mejorar la distribución estratégica de los puntos de almacenamiento temporal de residuos sólidos en el distrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta Catacora, K. R. (2020). Propuesta de un modelo de optimización de rutas para mejorar la eficiencia de la recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Ilo, 2018 [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM. https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10175

Almansour, M., & Akrami, M. (2024). Towards zero waste: An in-depth analysis of national policies, strategies, and case studies in waste minimisation. Sustainability, 16(22), Article 10105. https://doi.org/10.3390/su162210105

Alvarado Prado, L. F., & Cabrera Tocas, J. B. (2020). Optimización de rutas de recolección de residuos sólidos mediante un sistema de información geográfica en la Caleta de Carquín, Huaura - 2020 [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional UNJFSC.

Antonio Calixto, O. A., & Cashpa Lajo, O. G. (2022). Mejora de la eficiencia de rutas de recolección de residuos sólidos empleando análisis de redes SIG en los sectores 01 y 03 del distrito de Ancón [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].

Calderón Contreras, M. B. (2019). Propuesta de implementación de puntos de acopio dentro de grupos residenciales para una correcta segregación de residuos sólidos municipales en Villa El Salvador [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio Institucional UNTELS. https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/752/1/CALDERON.pdf

Calderón, J. (2019). Propuesta de mejora en la gestión de recolección de residuos sólidos municipales para optimizar costos operativos en el distrito de Miraflores [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA.

Campuzano, G., Obreque, C., & Aguayo, M. M. (2020). Accelerating the Miller–Tucker–Zemlin model for the asymmetric traveling salesman problem. Expert Systems with Applications, 148, 113229. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113229

Castro Berrios, J., & Gonzales Pumacayo, L. (2022). Planificación de rutas de recolección de residuos sólidos considerando la densidad poblacional en el sector 4 del distrito de Cerro Colorado [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA.

Collantes Goyzueta, P. J. (2024). Propuesta de implementación del método problema del agente viajero (TSP) para mejorar la eficiencia en la recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Paucarpata, 2023 [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM. https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/e9cce60a-8078-462d-8a6e-77db0dbfbaa5

Cuadros Torreblanca, R. F. (2023). Análisis del manejo de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa, 2022 [Tesis de maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. https://hdl.handle.net/20.500.12773/16545

Cusco Tenesaca, J. W., & Picón Aguirre, K. E. (2015). Optimización de rutas de recolección de residuos sólidos mediante herramientas SIG en la ciudad de Cuenca [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional UC.

Dantzig, G., Fulkerson, R., & Johnson, S. (1954). Solution of a large-scale traveling-salesman problem. Journal of the Operations Research Society of America, 2(4), 393–410.

Decreto Legislativo N.º 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2016, 23 de diciembre). Diario Oficial El Peruano. https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Decretos/Legislativos/2016/01278.pdf

Decreto Supremo N.º 014-2017-MINAM, Decreto Supremo que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N.º 1278. (2017, 21 de diciembre). Diario Oficial El Peruano. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/decreto-decreto-supremo-n-014-2017-minam.pdf

Futuri Moscoso, O. L., & Medina Loaiza, J. A. (2018). Evaluación y análisis de la vulnerabilidad y peligros físicos de la torrentera de Miraflores en su paso por la Av. Venezuela [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA.

Ghiani, G., Laganà, D., Manni, E., Musmanno, R., & Vigo, D. (2014). Operations research in solid waste management: A survey of strategic and tactical issues. Computers & Operations Research, 44.

Giraldo Botero, S. (2021). Análisis y aplicaciones del problema del agente viajero en la logística urbana. Universidad Nacional de Colombia.

Gracia, M. D., Mar-Ortiz, J., & Laureano-Casanova, O. (2015). Análisis computacional de los problemas del vendedor viajero y patrones de corte. Ingeniería Investigación y Tecnología, 16(1), 59–70. https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)72107-4

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2026). Perú: PBI por departamentos 2007–2025. https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/8316953-peru-pbi-por-departamentos-2007-2025

Juan, A. A., Faulin, J., Grasman, S. E., Rabe, M., & Figueira, G. (2015). A review of simheuristics: Extending metaheuristics to deal with stochastic combinatorial optimization problems. Operations Research Perspectives, 2. https://doi.org/10.1016/j.orp.2015.03.001

Li, T., Deng, S., Lu, C., Wang, Y., & Liao, H. (2023). Optimization of green vehicle paths considering the impact of carbon emissions: A case study of municipal solid waste collection and transportation. Sustainability, 15(22), Article 16128. https://doi.org/10.3390/su152216128

Marroquín Ortega, D. P. (2023). Propuesta de un modelo de optimización de rutas para mejorar la eficiencia del servicio de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Mariano Melgar, Arequipa 2023 [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. https://hdl.handle.net/20.500.12920/13311

Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. Journal of the ACM, 7(4), 326–329.

Montalvo Hernández, M. (2021). Optimización de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos en Reynosa, Tamaulipas, mediante un modelo de programación entera [Tesis de maestría, El Colegio de la Frontera Norte]. Repositorio Institucional COLEF.

Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre. (2020). Ordenanza N.º 516-MDASA: Ordenanza que reglamenta la gestión y manejo de los residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre.

Municipalidad Provincial de Arequipa. (2025, 21 de octubre). Quebrada Honda procesa más de 28 mil toneladas de residuos al mes y garantiza una gestión ambiental segura para Arequipa. https://www.muniarequipa.gob.pe/2025/10/21/quebrada-honda-procesa-mas-de-28-mil-toneladas-de-residuos-al-mes-y-garantiza-una-gestion-ambiental-segura-para-arequipa/

Muñoz Garro, E. (2024, 14 de mayo). Desarrollo de modelos de simulación: Explorando el poder de la programación [Artículo en LinkedIn]. LinkedIn.

Murillo Quispe, E. R. (2023). Optimización de la logística de recolección de residuos sólidos para reducir el lead time en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA.

Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H., & Bräysy, O. (2006). Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. Expert Systems with Applications, 30(2), 223–232. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.07.009

Policroniades Chípuli, G., Rodríguez Vázquez, K., & Flores de la Mota, I. (2025). State of the art on the problem of vehicle routing and solid waste collection. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades. https://doi.org/10.56712/latam.v6i1.3528

Rivera Rodríguez, F. A. (2019). Propuesta de diseño de rutas de recolección de residuos sólidos mediante el problema del agente viajero en la ciudad de Jauja [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional UC.

Rosero Obando, F. A., León Cárdenas, C. E., Mera Rosero, Z. A., & Rosero Chandi, C. X. (2017). Análisis del consumo de combustible en autobuses urbanos por efecto de las intersecciones semaforizadas. Caso de estudio ciudad de Ibarra. Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible, 10(29). https://www.eumed.net/rev/delos/29/consumo-combustible-ibarra.html

Sherali, H. D., & Driscoll, P. J. (2002). On tightening the relaxations of Miller–Tucker–Zemlin formulations for asymmetric traveling salesman problems. Operations Research, 50(4), 656–669. https://doi.org/10.1287/opre.50.4.656.2865

Taquía Valdivia, J. A. (2013). Optimización de rutas en una empresa de recojo de residuos sólidos en el distrito de Los Olivos [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú].

Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. Waste Management, 29(3), 1176–1185. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.07.013

TMA Tecnología Medio Ambiente. (2024). Gestión eficiente de residuos: Una estrategia clave contra el cambio climático. https://tma.es/gestion-de-residuos-lucha-contra-el-cambio-climatico/

Torres Gurrola, M. A. (2015). Análisis del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos mediante sistemas de posicionamiento global (GPS) en el municipio de Querétaro [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio Institucional UAQ. https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/6201

Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2014). Vehicle routing: Problems, methods, and applications (2.ª ed.). Society for Industrial and Applied Mathematics.

Urbay Paz, S. C. (2023). Evaluación de la eficiencia técnica del servicio de limpieza pública en Lima Metropolitana. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Villegas, J. A., Zapata Grisales, C. J., & Gatica, G. (2017). Una aplicación del método MTZ a la solución del problema del agente viajero. Scientia et Technica, 22(4), 341–344. https://doi.org/10.22517/23447214.12751

Webtrack. (2024). Integración de sistemas de gestión de transporte (TMS) y tecnología de la información para una mejor gestión logística [Artículo en LinkedIn]. LinkedIn.

https://es.linkedin.com/pulse/integraci%C3%B3n-de-sistemas-gesti%C3%B3n-transporte-tms-y-tecnolog%C3%ADa-fqtoe.

ANEXOS

ANEXO 1 Ficha de Recolección Actual – MDASA

Ficha N°1 del trayecto actual de la recolección de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.									
Título	Trayecto actual de la recolección de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.								
Línea de Investigación	Gestión de Residuos Sólidos								
Asesor	Fredy Nicolás Molina Rodríguez					Fecha	Diciembre del 2025		
Responsable	Christopher John Gallegos Sanabria					Codigó	i - 2026- PROPUESTA		
Recorrido actual de la recolección de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.									
N°	DENOMINACIÓN	Horario	**Ubicación (punto de partida) Coordenadas Geográficas**		**Recorrido por turno**			**Ubicación (punto de llegada) Coordenadas Geográficas**	
			Latitud	Longitud	Distancia (km)	Tiempo (h)	Observación	Latitud	Longitud
1	RT 01 – ASA	5:00 am a 12:00 pm	-16.376684	-71.512722	10.51	1.9		-16.385553	-71.52592
2	RT 02 – ASA	5:00 am a 12:00 pm	-16.377030	-71.516810	10.672	1.91		-16.389363	-71.528339
3	RT 01 - IND	5:00 am a 12:00 pm	-16.363464	-71.514070	9.57	1.81		-16.376184	-71.529964
4	RT 1.2 - IND	5:00 am a 12:00 pm	-16.363890	-71.514429	8.64	1.72		-16.370460	-71.523224
5	RT 02 - IND	5:00 am a 12:00 pm	-16.362022	-71.513600	9.476	1.8		-16.376447	-71.530981
6	RT 03.1 - IND	5:00 am a 12:00 pm	-16.361421	-71.511512	16.94	2.41		-16.364498	-71.522051
7	RT 03 - IND	5:00 am a 12:00 pm	-16.361767	-71.511628	17.14	2.42		-16.368983	-71.530202
8	RT 03 ASA PAM LUM	5:00 am a 12:00 pm	-16.373300	-71.520239	6.91	1.54		-16.373961	-71.517058
9	RT 03 ASA PAM MAR	5:00 am a 12:00 pm	-16.373381	-71.520401	10.37	1.88		-16.385723	-71.533206
10	RT 03 ASA PAM MIE	5:00 am a 12:00 pm	-16.374059	-71.517851	5.94	1.43		-16.373381	-71.520401
11	RT 03 ASA PAM VIE	5:00 am a 12:00 pm	-16.370932	-71.518585	10.4	1.89		-16.382292	-71.531698
12	RT 04 ASA	5:00 am a 12:00 pm	-16.374797	-71.513659	8.362	1.69		-16.380187	-71.526203
13	RT 04-1 ASA	5:00 am a 12:00 pm	-16.374426	-71.513508	11.58	1.99		-16.380045	-71.526603
14	RT 05 ASA	5:00 am a 12:00 pm	-16.373463	-71.520588	5.548	1.38		-16.380208	-71.530322
15	RT 06 IND ASA	5:00 am a 12:00 pm	-16.370353	-71.513904	9.34	1.79		-16.370163	-71.51408
16	RT 6.1 IND ASA	5:00 am a 12:00 pm	-16.371730	-71.512928	7.11	1.56		-16.370157	-71.513294
17	RT CO L01	5:00 am a 12:00 pm	-16.355259	-71.523116	3.47	1.09		-16.355283	-71.523048
18	RT CO L02	5:00 am a 12:00 pm	-16.356455	-71.512978	2.46	0.92		-16.361959	-71.524309
19	RT CO L03	5:00 am a 12:00 pm	-16.377124	-71.512447	1.49	0.71		-16.377174	-71.512421
20	RT CO L/M	5:00 am a 12:00 pm	-16.379524	-71.529507	0.5	0.41		-16.380383	-71.530196
21	RT CO Mar N1	5:00 am a 12:00 pm	-16.359977	-71.509536	5.77	1.4		-16.364548	-71.503019
22	RT CO Mar N2	5:00 am a 12:00 pm	-16.371397	-71.504900	1.48	0.71		-16.373393	-71.508253
23	RT CO Mie N1	5:00 am a 12:00 pm	-16.359867	-71.516439	12.08	2.03		-16.357844	-71.526482
24	RT CO Mie N3	5:00 am a 12:00 pm	-16.376315	-71.530129	1.67	0.76		-16.376186	-71.529953
25	RT CO Mie / Vie	5:00 am a 12:00 pm	-16.371707	-71.505389	0.81	0.53		-16.372180	-71.506665
26	RT CO Jue N1	5:00 am a 12:00 pm	-16.359140	-71.524228	3.94	1.16		-16.358382	-71.523885
27	RT CO Jue N2	5:00 am a 12:00 pm	-16.359293	-71.509965	0.51	0.42		-16.359290	-71.509929
28	RT CO Vie N1	5:00 am a 12:00 pm	-16.359970	-71.509540	5.54	1.38		-16.364472	-71.503024
29	RT CO Vie N2	5:00 am a 12:00 pm	-16.366671	-71.499456	2.15	5.36		-16.366711	-71.499426

Fuente: Elaboración propia sustentada en la recolección de información y la supervisión del servicio de limpieza pública (2025).

ANEXO 2 Ficha de Evaluación del Servicio – MDASA

Ficha N°2 del Análisis del desempeño del servicio de recolección de residuos sólidos			
Título	Análisis del desempeño del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.		
Línea de Investigación	Gestión de Residuos Sólidos		
Responsable	Christopher John Gallegos Sanabria	Fecha	Diciembre del 2025
Análisis del desempeño del servicio de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.			
ASPECTOS A EVALUAR	UNIDADES	ACTUAL	PROPUESTA
Tiempo de recolección	(h/semana)	130.82	105.88
Distancia recorrida	(km/semana)	646.30	523.12
Galones	(gal/semana)	98.56	79.78
Frecuencia de recolección	(dias a la semana)	6	6

ANEXO 3 Ficha de Regularidad de Recolección por Ruta.

Ficha N°3 de datos sobre la regularidad del servicio de recolección de residuos por ruta.					
Título		Ficha de datos sobre la regularidad del servicio de recolección de residuos por ruta.			
Línea de Investigación		Gestión de Residuos Sólidos			
Asesor		Dr. Molina Rodríguez Fredy Nicolas		Fecha	Diciembre del 2025
Responsable		Christopher John Gallegos Sanabria		Código	iii - 2026- PROPUESTA
Zonas		Aspecto que evaluar	Unidad	Actual	Propuesta
1	T 01 – ASA	Tiempo de recolección	min/ruta	114	93.07
	T 01 – ASA	Distancia recorrida	km/ruta	10.51	8.58
	T 01 – ASA	Frecuencia de recolección	frecuencia	6	6
2	T 02 – ASA	Tiempo de recolección	min/ruta	114.6	103.73
	T 02 – ASA	Distancia recorrida	km/ruta	10.672	9.66
	T 02 – ASA	Frecuencia de recolección	frecuencia	6	6
3	T 01 - IND	Tiempo de recolección	min/ruta	108.6	141.62
	T 01 - IND	Distancia recorrida	km/ruta	9.57	12.48
	T 01 - IND	Frecuencia de recolección	frecuencia	3	6.00
4	T 1.2 - IND	Tiempo de recolección	min/ruta	103.2	94.00
	T 1.2 - IND	Distancia recorrida	km/ruta	8.64	7.87
	T 1.2 - IND	Frecuencia de recolección	frecuencia	3	6.00
5	T 02 - IND	Tiempo de recolección	min/ruta	108	114.20
	T 02 - IND	Distancia recorrida	km/ruta	9.476	10.02
	T 02 - IND	Frecuencia de recolección	frecuencia	6	6.00
6	T 03.1 - IND	Tiempo de recolección	min/ruta	144.6	76.06
	T 03.1 - IND	Distancia recorrida	km/ruta	16.94	8.91
	T 03.1 - IND	Frecuencia de recolección	frecuencia	3	6.00
7	T 03 - IND	Tiempo de recolección	min/ruta	145.2	84.88
	T 03 - IND	Distancia recorrida	km/ruta	17.14	10.02
	T 03 - IND	Frecuencia de recolección	frecuencia	3	6.00
8	T 03 ASA PAM LUM	Tiempo de recolección	min/ruta	92.4	119.14
	T 03 ASA PAM LUM	Distancia recorrida	km/ruta	6.91	8.91

	T 03 ASA PAM LUM	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	6.00
9	T 03 ASA PAM MAR	Tiempo de recolección	min/ruta	112.8	109.54
	T 03 ASA PAM MAR	Distancia recorrida	km/ruta	10.37	10.07
	T 03 ASA PAM MAR	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	6.00
10	T 03 ASA PAM MIE	Tiempo de recolección	min/ruta	85.8	144.30
	T 03 ASA PAM MIE	Distancia recorrida	km/ruta	5.94	9.99
	T 03 ASA PAM MIE	Frecuencia de recolección	frecuencia	6	6.00
11	T 03 ASA PAM VIE	Tiempo de recolección	min/ruta	113.4	104.79
	T 03 ASA PAM VIE	Distancia recorrida	km/ruta	10.4	9.61
	T 03 ASA PAM VIE	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	6
12	T 04 ASA	Tiempo de recolección	min/ruta	101.4	
	T 04 ASA	Distancia recorrida	km/ruta	8.362	
	T 04 ASA	Frecuencia de recolección	frecuencia	3	
13	T 04-1 ASA	Tiempo de recolección	min/ruta	119.4	
	T 04-1 ASA	Distancia recorrida	km/ruta	11.58	
	T 04-1 ASA	Frecuencia de recolección	frecuencia	6	
14	T 05 ASA	Tiempo de recolección	min/ruta	82.8	
	T 05 ASA	Distancia recorrida	km/ruta	5.548	
	T 05 ASA	Frecuencia de recolección	frecuencia	3	
15	T 06 IND ASA	Tiempo de recolección	min/ruta	107.4	
	T 06 IND ASA	Distancia recorrida	km/ruta	9.34	
	T 06 IND ASA	Frecuencia de recolección	frecuencia	3	
16	T 6.1 IND ASA	Tiempo de recolección	min/ruta	93.6	
	T 6.1 IND ASA	Distancia recorrida	km/ruta	7.11	
	T 6.1 IND ASA	Frecuencia de recolección	frecuencia	3	
17	T CO L01	Tiempo de recolección	min/ruta	65.4	
	T CO L01	Distancia recorrida	km/ruta	3.47	
	T CO L01	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	
18	T CO L02	Tiempo de recolección	min/ruta	55.2	
	T CO L02	Distancia recorrida	km/ruta	2.46	
	T CO L02	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	
19	T CO 03	Tiempo de recolección	min/ruta	42.6	
	T CO 03	Distancia recorrida	km/ruta	1.49	

	T CO 03	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	
20	T CO L/M	Tiempo de recolección	min/ruta	24.6	
	T CO L/M	Distancia recorrida	km/ruta	0.5	
	T CO L/M	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	
21	T CO Mar N1	Tiempo de recolección	min/ruta	84	
	T CO Mar N1	Distancia recorrida	km/ruta	5.77	
	T CO Mar N1	Frecuencia de recolección	frecuencia	3	
22	T CO Mar N2	Tiempo de recolección	min/ruta	42.6	
	T CO Mar N2	Distancia recorrida	km/ruta	1.48	
	T CO Mar N2	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	
23	T CO Mie N1	Tiempo de recolección	min/ruta	121.8	
	T CO Mie N1	Distancia recorrida	km/ruta	12.08	
	T CO Mie N1	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	
24	T CO Mie N3	Tiempo de recolección	min/ruta	45.6	
	T CO Mie N3	Distancia recorrida	km/ruta	1.67	
	T CO Mie N3	Frecuencia de recolección	frecuencia	2	
25	T CO Mie / Vie	Tiempo de recolección	min/ruta	31.8	
	T CO Mie / Vie	Distancia recorrida	km/ruta	0.81	
	T CO Mie / Vie	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	
26	T CO Jue N1	Tiempo de recolección	min/ruta	69.6	
	T CO Jue N1	Distancia recorrida	km/ruta	3.94	
	T CO Jue N1	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	
27	T CO Jue N2	Tiempo de recolección	min/ruta	25.2	
	T CO Jue N2	Distancia recorrida	km/ruta	0.51	
	T CO Jue N2	Frecuencia de recolección	frecuencia	1	
28	T CO Vie N1	Tiempo de recolección	min/ruta	82.8	
	T CO Vie N1	Distancia recorrida	km/ruta	5.54	
	T CO Vie N1	Frecuencia de recolección	frecuencia	6	
29	T CO Vie N2	Tiempo de recolección	min/ruta	321.6	
	T CO Vie N2	Distancia recorrida	km/ruta	84.06	
	T CO Vie N2	Frecuencia de recolección	frecuencia	2	

ANEXO 4 Matriz de programación operativa y periodicidad semanales.

N	CODIGO DE RUTA	FRECUENCIA	HORARIO
1	RT 01 ASA	Diario	5:00 am a 12:00 pm
2	RT 02 ASA	Diario	5:00 am a 12:00 pm
3	RT 01 IND	Lunes, miércoles, sábado	5:00 am a 12:00 pm
4	RT 1.2 IND	Martes, jueves, sábado	5:00 am a 12:00 pm
5	RT 02 IND	Diario	5:00 am a 12:00 pm
6	RT 03 IND	Lunes, miércoles y viernes	5:00 am a 12:00 pm
7	RT 03.1 IND	Martes, jueves, sábado	5:00 am a 12:00 pm
8	RT 03 ASA PAM LUN	Lunes	5:00 am a 12:00 pm
9	RT 03 ASA PAM MAR	Martes	5:00 am a 12:00 pm
10	RT 03 ASA PAM MIE	Diario	5:00 am a 12:00 pm
11	RT 03 ASA PAM VIE	Viernes	5:00 am a 12:00 pm
12	RT 04 ASA	Lun, Mie y Vie	5:00 am a 12:00 pm
13	RT 04-1 ASA	Diario	5:00 am a 12:00 pm
14	RT 05 ASA	Lun, Mie y Vie	5:00 am a 12:00 pm
15	RT 06 IND ASA	Mar, Juev y Sab	5:00 am a 12:00 pm
16	RT 6.1 IND ASA	Lunes, Miércoles, Viernes	5:00 am a 12:00 pm
17	RT CO L01	Lunes	5:00 am a 12:00 pm
18	RT CO L02	Lunes	5:00 am a 12:00 pm
19	RT CO L03	Martes	5:00 am a 12:00 pm
20	RT CO Mar N1	Martes	5:00 am a 12:00 pm
21	RT CO Mar N2	Martes, jueves, sábado	5:00 am a 12:00 pm
22	RT CO Mie N1	Miércoles	5:00 am a 12:00 pm
23	RT CO Mie N3	Miércoles	5:00 am a 12:00 pm
24	RT CO L/M	Lunes y Miércoles	5:00 am a 12:00 pm
25	RT CO JUE N1	Jueves	5:00 am a 12:00 pm

26	RT CO JUE N2	Jueves	5:00 am a 12:00 pm
27	RT CO Vie N1	Viernes	5:00 am a 12:00 pm
28	RT CO Vie N2	Diario	5:00 am a 12:00 pm
29	RT CO Mie/Vie	Miércoles y Viernes	5:00 am a 12:00 pm

ANEXO 5 Matriz de distancias por sectores propuestos

Sector 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
1		37	187																																																			
2	37			181	74																																																	
3	187			81		178																																																
4			81					123																																														
5		74								150																																											
6			178				103				154																																										
7						103							33																																								
8							75		42																																												
9					285			42					160																																									
10					150									262	145																																						
11						154						113																																									
12													195				144			136																																	
13							35					195										156																															
14									160	262												115	151																														
15										145						147							255																														
16															147									202	150																													
17												144						199	144																																		
18																	199		192																																		
19																	144	192		112						160																											
20												136							112		176									78																						
21																				176		93									75																					
22													156	115							93												177																		
23														151		255								200										173																
24																202							200												172															
25																150										180																					185				330			
26																			160						180		174		203																100	110						
27																										174		254														164				90		200					253	
28																											254			161																						
29																				78						203				117																						
30																					75						161	117		164	137	160					260														
31																														164		63				107		77													
32																														137	63			100																
33																						177								160																					
34																							173									100		143	194															
35																								172										143		230	334														
36																															107			194	230		81													
37																																			334	81		126			280										
38																														77						126		136					184							
39																														260									133					217						
40																											164	170												133					145						
41																																				280					113		137								
42																																									113		144								
43																																									144		116				100				
44																																						184			137		116		72						
45																										90														217				72						
46																										110	100																			123						
47																									185		200																		123				143		191		
48																																																		78	81			
49																																									277										78			235	
50																											253																		230		143	81					170
51																									330																									136	319	
52																																														191					136			107
53																																																		235					
54																																																			170		107			

Sector 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
1		165	134																																																													
2	165			152																																																														
3	134					156					314																																																										
4		152				74	60																																																													
5											111																																																								
6			155	74								260																																																								
7				60				196		156																																																										
8							196		78						173																																																							
9								78							135																																																						
10							156						120		108																																																							
11			314		111							99									299																																																
12						260					99									173																																																	
13										120										180																																																	
14															142		120																																																				
15								173	135	108				142															257																																									
16																	170											133																																							
17														120		170		136	142																																																			
18																	136										145	126																																								
19																	142			142				97																																												
20												173	180						142			181																																																
21											299											87																																													
22																				181	87			154	228	96																																											
23																										382																																								
24																			97			154					104																																									
25																						228																																												
26																						96	382																																											
27																		145						104																																									
28																		126											290																																				
29															257	133												290		148																																			
30																													146		268																																		60	
31																												176		268		194																															121					
32																															194		129																																	
33																																129			188																																
34																											150	162							137																																
35																																	188	137		132																															
36																																			132		74	154																													
37																																				74			152			228	225																									
38																									199		302									154				62																									
39																																					152	62		160																											
40																							85		145																160		148																							
41																																								148		234																							
42																																				228					234																									
43																																				225							83			178																					
44																																	127		192										83			174																		
45																																	142															121																		
46																																																174	121		75			113														
47																																																		75		228																	
48																																																			228		140																
49																																																				140		305															
50																																																					113			305													
51																																																						193												
52																																																							129		182								
53																																																							152		150	128						
54																																																								150			185			277			
55																																																									316	148		128						
56																																																											185			220				
57																																																												177							
58																																																														220			139			
59																																																														277				139			152	
60																														60																																				270						154	
61																																																																		152	154		

Sector 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
1		169					48																																																							
2	169		200					128																																																						
3		200		155					82																																																					
4			155																																																											
5						80						240																																																		
6					80						258																																																			
7	48							202						127																																																
8		128					202		215					218	148		162																																														
9			82					215		152					145																																															
10						243			152				239																																																	
11						258						95																																																		
12					240						95		88																																																
13										239		88				148													92																																
14							127	218										178																																												
15								148	145							70			232																																											
16													148		70																																																
17								162										238		104																																										
18														178			238						139																																						
19															232					133							144		180																															
20																	104		133			109			110																																				
21																						178	144		164	165																																		
22																				109	178					166	107																																	
23																		139			144			55																																				
24																							55		182																																			
25																					164			182																																				
26																				110	165	166																																					
27																			144			107						164																															
28																											164		193			180																											
29													92						180									193		125																												
30																													125		190	190			48																							
31																														190			170		160	277	156																				
32																												180		190			40																								
33																														170	40						111																					
34																																																											
35											104		201																	48	160																												
36											450																				277																												
37																															156		111																										
38																						112																																							
39																									218																																			
40																																																											
41																																																											
42																																																											
43																																																											
44																																																											
45																																																											
46																																																											
47																																																											
48																																																											
49																												94																															
50																																																											
51																																																											
52																																																											
53																																																											
54																																																											
55																																																											
56																																																											
57																																																											
58																																																											
59																																																											
60																																																											

Sector 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
1		298		124																																															
2	298		139						224																																									
3		139		303		72		209																																										
4	124		303		76																																													
5				76		222										170																																			
6			72		222													174	313																															
7								77			211	187						310	172	333																														
8			209				77		115		132																																							
9		229						115		135																																								
10									135		144			163																																				
11							211	132		144		120	52																																				
12							187				120		70						368	132																													
13											52	70			234																																		
14										163					83																																		
15													234	83																																			
16					170												115				146																												
17																115		110																															146	
18							310										110					147																											
19						313	172					368								186		343																												
20							333					132							186								59																						
21																146							139																									111	
22																		147	343						150					235																	104	
23																					139			108		105																						
24																							108		86	152																					143	
25																						150		86		120			278			336																
26																							105	152	120																							
27																				59								##144			62																
28																											144		90	156																	
29																						235			278			90		105		124															
30																												156	105		129		132														
31																											62			129				201		234										
32																									336				124				118													
33																														132		118		234												
34																															201		234							447						
35												128			204					197																	175	130									
36																															234				175		300			140						
37															125																				130	300		79		160						
38															147																						79		113								
39																																						113		207					460		
40																																		447			160		207				259				
41																																									230		114					
42																																									230		159					
43																																								259		159				1778			
44																																								114				143	84				
45																																									94		144			67				
46																																											84			101			633	
47																																												67	101			370		
48																																															55		
49																																							460						370	55		692	
50																																													633			692		
51																	146				111	104		143																								

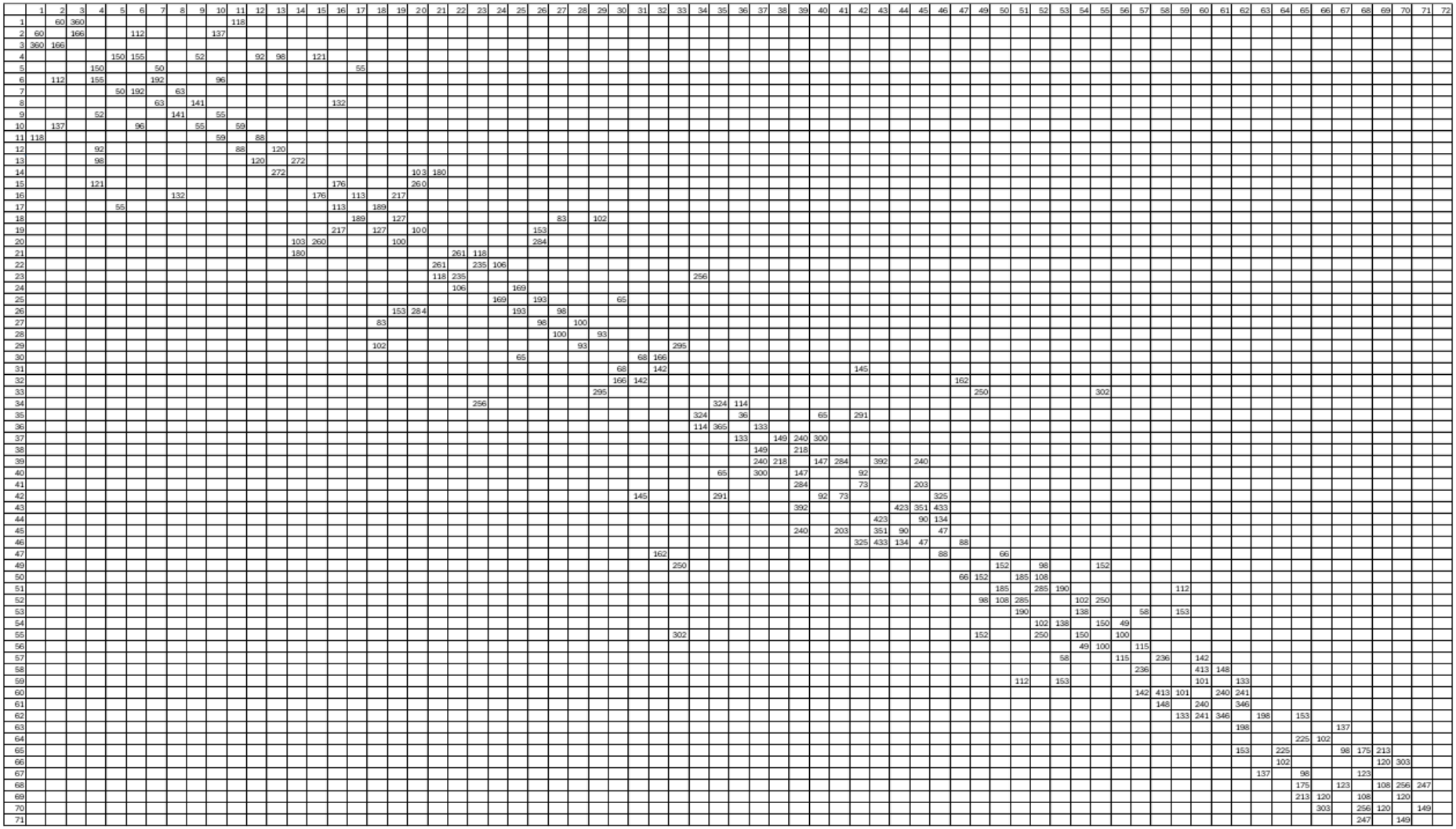
Sector 5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
1		623			160																																																			
2	623		398							147																																															
3		398						352																																																	
4					119		44																																					450														
5	160			119		287																																																		
6					287		180																																																		
7				44		180																																																			60
8			352						158																																															
9								158		136																																															
10		147							136		152		152																																												
11										152		142		173																																											
12											142				97																																									
13										152																																													
14											173				144	231	94																																							
15												97		144		146																																								
16														231	146		136	134		340																																			
17														94		136			109																																					
18																134				463	208																																		
19																	109			98								242																											
20																340		463	98		250	108	107				285	279																										
21																		208		250	108		341																																
22																							236		117																														
23																				107	341	236		111			276																											
24																							111		207	236																												
25																						117		207																														
26																								236			175				175																							
27																				285			276			175		162		201																							
28																			242	279							162		174												212	376	450										
29																												174		207		63					283	264														
30																											201		207		110	241	199																		
31																										175				110			250																		
32																													63	241				245		346	307														
33																														199	250																				
34																																245			335																
35																																		335		75										357					
36																																			75		70								330						
37																													283			307				70		60						332							
38																													264								60		170				344								
39																												212									170		78	64											
40																				446								376										78			170										
41													140	55						403								450										64													
42													125																											170			130									
43								177		160																																130										
44				450																																		344					125								
45																																				332						125		67		152					
46																																				330							67		161		150				
47																																			357								161				168				
48							214																																			152				64						
49																																											150		64		190				220	
50																																												168		190		88				
51																																															88		222	173			
52																																															222			173		
53																																															173			111	115	
54						257																																											173	111			
55							60																																												220				115		

Sector 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
1		193	50																																																	
2	193			50				407	219	336																																											
3	50			170	126	311																																														
4		50	170			120				225	333																																									
5			126			146	205																																												
6			311	120	146						220																																								
7					205								293	146																																				
8		407							97																																									
9		219						97		47										216																														
10		336		225					47		120								166	265																														
11				333		220				120		55						175																																
12							293				55		159	249										224																										
13												159		295	372	144								295	173																								
14							146					429	295		148																																		
15													372	148		284	113																														
16													144		284		334								202																							
17															113	334																																
18											175								130			98																										
19										166								130		101																												
20									216	265									101		160																												
21																				160		118																											
22																		98			118		85																										
23																						85		97																										
24												224	295										97		84																									184
25													173											84																									###
26																202										227		94																			135
27																									227		124																				
28																										124		232																			
29																									94		232		300																		
30																												300		163																	460		
31																													163		161																		364
32																								262							161		92															
33																							217									92		148														
34																							324										148			54												
35																					249															100	340												
36																						312												54	100														
37																																			340														
38																																							120	178				204	240						179	
39																																						120		119			143								
40																																						178	119		115	153									
41																																								115		100			280						
42																																								153	100				125						
43																																					204		143					55	56					
44																																					240						55			178				
45																																											56			90	183	251				
46																																										280	125			90		213				
47																																												178	183			112	142			
48																																													251	213	112		368			
49																																															142	368		300		
50																														595																				300			
51																																		250		179													
52																								184	138	135					364																			

Sector 7



Sector 8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
1		150				110																																																				
2	150		161		122																																																				
3	161			133																																																				
4			133		98						88	246																																													
5		122		98		109				91																																														
6	110				109		104																																																		
7						104		94		100																																															
8							94		98												228																																				
9								98			101																																														
10					91		100			101	102																																													
11				88						102		157																																													
12				246							157		391																																												
13												391		160	112																																										
14													160			130			142																																						
15													112			148																																									
16														130	148			170	194																																					
17																		134						231																																
18																170	134		163					181	148																															
19														142		194		163		249																																				
20																			249		138	156																																			
21								228												138		204			392																																
22																				156	204		168																																		
23																		182				168		133																																	
24																	231	148					133																																	
29																					392	324				150		158																												
30																									150		117																													
31																										117		110								357																			
32																									158		110		180					105																				
33																												180		283				255																				
34																													283					337																			
35																																60	297																				
36																															60				561																		
37																															297			135	172																		
38																												105	255	337			135																				
39																																561	172			210																	
40																											357										120																
41																																				120		315		132														
42																																					315		58														
43																																						58		320													
44																																					132		320		276		337									
45																																								276		190											
46																																									190		56	130		227							
47																																										337		56			283	224	234					
48																																											130		108								
49																																												108			58			338				
50																																											227	283		58		65			304				
51																																												224			65		92			314			
52																																												234				92							
53																																													338						216					
54																																														304			216		130			172		
55																																															314			130		172			
56																																																			172			122		236		
57																																																								
58																																																				172		122			248		223
59																																																					192				248			
60																																																							236				79
61																																																								223	352	79	

Sector 9

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
1		369	250				490																																																												
2	369		150		100																																																																
3	250	150		97																																																																	
4			97		168	185																																																															
5		100		168		450																																																															
6				185	450						203																																																											
7	490							300	98																																																												
8							300		200	280																																																												
9							98	200		90																																																												
10								280	90		337																																																												
11						203				337		387																																																											
12											387		380	490																																																									
13												380		283	320		394														606																																						
14												490	283		###																																																											
15													320	###		149	336																																																										
16															149			236		87																																																		
17													394		336			82										239	238		484																																							
18																236	82		100									207																																								
19																		100		223	98					196																																												
20																87			223			102																																															
21																			98		225	101				196																																											
22																				102	225		261																																														
23																					101	261		303	202																																											
24																							303		97																																											
25																							202	97		102																																										
26																					196				102		97																																								
27																			196							97		105																																						
28																	239	207									105		97																																					
29																	238											97		105																																				
30																													105		98				197																														
31																	484													998		95		238																																
32													606																		95		358	246																																
33																																358		164																																
34																															238	246	164		146																															140
35																														197				146		107																								169					
36																													192					107		85																							80					
37																												185						85		99																				197						
38																										188								99		103																												
39																									190								103		101																												
40																								209											101		100	121																									
41																							213												100		237																									
42																																				121	237		96																								
43																																				98		96		187																							
44																																				192			187		104																						
45																																								104		151																					
46																																									151																					
47																																																																					
48																																																																					
49																																																																					
50																																																																					
51																																																																					
52																																																																					
53																																																																					
54																																																																					
55																																																																					
56																																																																					
57																																																																					
58																																																																					
59																																																																					
60																																																																					
61																																																																					
62																																																																					
63																																		140																																					

ANEXO 6 Modelo TSP con Restricciones MTZ en Python.

```
import pandas as pd
import pulp
import time


# --- CARGA DE DATOS ---
# El archivo debe contener la matriz de distancias (nodos en filas y columnas)
try:
    # Se especifica el archivo de la ruta correspondiente
    df_dist = pd.read_excel("Ruta3.xlsx", index_col=0)
    nodos = list(df_dist.index)
    n = len(nodos)
    print(f"Instancia cargada con éxito: {n} nodos detectados.")
except FileNotFoundError:
    print("Error: No se encontró el archivo de datos Excel.")
    exit()


# --- INICIO DEL TIMER ---
# Registro del tiempo computacional para el reporte de desempeño
start_time = time.time()


# --- DEFINICIÓN DEL MODELO ---
modelo = pulp.LpProblem("TSP_MTZ", pulp.LpMinimize)
```

```
# 1. Variables de decisión Xij (Binarias)
# x[i,j] = 1 si el arco entre el nodo i y j es parte de la ruta, 0 de lo contrario
x = pulp.LpVariable.dicts("x", ((i, j) for i in nodos for j in nodos if i != j),
                          cat="Binary")

# 2. Variables de orden u[i] (Miller-Tucker-Zemlin)
# Estas variables evitan la formación de ciclos cerrados menores (subtours)
u = pulp.LpVariable.dicts("u", (i for i in nodos), lowBound=1, upBound=n)

# 3. Función Objetivo
# Minimizar la distancia total recorrida
modelo += pulp.lpSum(df_dist.loc[i, j] * x[i, j] for i in nodos for j in nodos if i != j)

# --- RESTRICCIONES ---

# Restricciones de Grado (Entrada y Salida)
for k in nodos:
    # Cada nodo debe tener exactamente un arco de salida
    modelo += pulp.lpSum(x[k, j] for j in nodos if k != j) == 1
    # Cada nodo debe tener exactamente un arco de entrada
    modelo += pulp.lpSum(x[i, k] for i in nodos if i != k) == 1
```

```
# Restricciones de Eliminación de Subtours (MTZ)
# Se aplican para todos los nodos excepto el punto de partida (nodos[0])
for i in nodos[1:]:
    for j in nodos[1:]:
        if i != j:
            modelo += u[i] - u[j] + n * x[i, j] <= n - 1

# --- RESOLUCIÓN DEL MODELO ---
print("Ejecutando el solver (PULP_CBC_CMD)...")
# Se establece un límite de tiempo de 5400 segundos (1.5 horas)
modelo.solve(pulp.PULP_CBC_CMD(msg=0, timeLimit=5400))

# --- PROCESAMIENTO DE RESULTADOS ---
end_time = time.time()
duracion = end_time - start_time
status = pulp.LpStatus[modelo.status]

if status in ['Optimal', 'Not Solved']:
    distancia_total = pulp.value(modelo.objective)
    print("-" * 30)
    print(f"Estado del Modelo: {status}")
    print(f"Distancia Total Óptima: {round(distancia_total, 2)}")
    print(f"Tiempo de Ejecución: {round(duracion, 2)} segundos")
```

```
# --- RECONSTRUCCIÓN SECUENCIAL DE LA RUTA ---
ruta = [nodos[0]]
actual = nodos[0]
while len(ruta) < n:
    for siguiente in nodos:
        if actual != siguiente and pulp.value(x[actual, siguiente]) > 0.9:
            ruta.append(siguiente)
            actual = siguiente
            break
ruta.append(nodos[0]) # Regreso al origen

print(f"\nSecuencia de la Ruta:\n{' -> '.join(map(str, ruta))}")

# --- EXPORTACIÓN DE RESULTADOS A EXCEL ---
datos_reporte = []
distancia_acumulada = 0

for i in range(len(ruta) - 1):
    u_nodo = ruta[i]
    v_nodo = ruta[i+1]
    dist_tramo = df_dist.loc[u_nodo, v_nodo]
    distancia_acumulada += dist_tramo
```

```
            datos_reporte.append({
                'Paso': i + 1,
                'Desde': u_nodo,
                'Hacia': v_nodo,
                'Distancia Tramo': round(dist_tramo, 2),
                'Distancia Acumulada': round(distancia_acumulada, 2)
            })

        df_resultado = pd.DataFrame(datos_reporte)
        nombre_archivo = "Solucion_TSP_MTZ.xlsx"
        df_resultado.to_excel(nombre_archivo, index=False)

        print(f"\nReporte generado con éxito: {nombre_archivo}")
    else:
        print(f"Atención: El solver terminó con estado {status}. No se generó la ruta.")
```

ANEXO 7 Estructura Presupuestal de la Subgerencia encargada EP-LPRS.

Código de Actividad	Descripción de la Actividad Operativa	Presupuesto Asignado (S/.)
AOI30033200108	Gestión Documentaria de la Subgerencia de Limpieza Pública	358,092.00
AOI30033200110	Ejecución y Procedimientos de la Limpieza Pública en el Distrito	940,401.00
AOI30033200112	Capacitación al Personal de Limpieza Pública	5,000.00
AOI30033200114	Seguimiento Técnico de Limpieza Pública	105,000.00
AOI30033200283	Residuos Sólidos Municipales Dispuestos con Criterios Técnicos Mínimos de Operación en Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Municipales	23,740.00
AOI30033200369	Gestión Documentaria de la Subgerencia de Gestión Ambiental	1,098,619.00
AOI30033200371	Disposición de Residuos Sólidos Quebrada Honda	261,140.00
AOI30033200379	Ejecución y Procedimientos de Residuos Sólidos en el Distrito	846,300.00
AOI30033200426	Capacitación al Personal Residuos Sólidos	10,000.00
AOI30033200427	Seguimiento Técnico de Residuos Sólidos	186,762.00
TOTAL	**Presupuesto Institucional Modificado / Asignado**	**3,835,054.00**

ANEXO 8 Plano de Trazado de Alto Selva Alegre.



Nota: Información extraída de la Municipalidad de Alto Selva Alegre.

ANEXO 9 Tabla de relación de conductores.

ITEM	PLACA	CONDUCTOR	REGIMEN	MARCA	MODELO	AÑO DE FABRICACIÓN
1	EAO-396	RODOLFO ARIAS VERA	276	MERCEDES BENZ	ATEGO 1730/36	2024
2	EAO - 491	JAIME OVALLE VALDIGLESIAS	276	MERCEDES BENZ	AXOR3131/48	2025
3	EAO-447	ZEVALLOS RODRIGUEZ JESUS	728	MERCEDES BENZ	AXOR3131/48	2025
4	EAJ-747	LUIS CONTRERAS HUAMANI	CAS	MERCEDES BENZ	AXOR3131/48	2023
5	EAJ-763	FREDY CALCINA AYAMAMANI	728	MERCEDES BENZ	AXOR3131/48	2023
6	EAJ-742	ZAVALA SALAS MIGUEL	728	MERCEDES BENZ	AXOR3131/48	2023
7	EAJ-760	BRAULIO GONZALES ARQUE	CAS	MERCEDES BENZ	AXOR3131/48	2023
8	EAJ-757	SANTIAGO RIMACHI CARDENAS	276	MERCEDES BENZ	AXOR3131/48	2023
9	EAH-208	OSCAR LOPEZ MEDINA	728	IZUSU	FVZ34UL-TDPES	----
10	EGX-605	VIZCARRA MEDINA JUAN	728	MERCEDES BENZ	AXOR2628154	2016
11	EAA-148	HUANCA URQUIZO JESUS	276	INTERNACIONAL	4400SBA4X2	2016
13	EGI-921	CONTENEDORES SOTERRADOS	-------	INTERNACIONAL	4400SBA 6X4	2012
17	EGJ-793	ABEL HUAYTA	276	MITSUBISHI	CANTER EURO 3-5 TON	2012

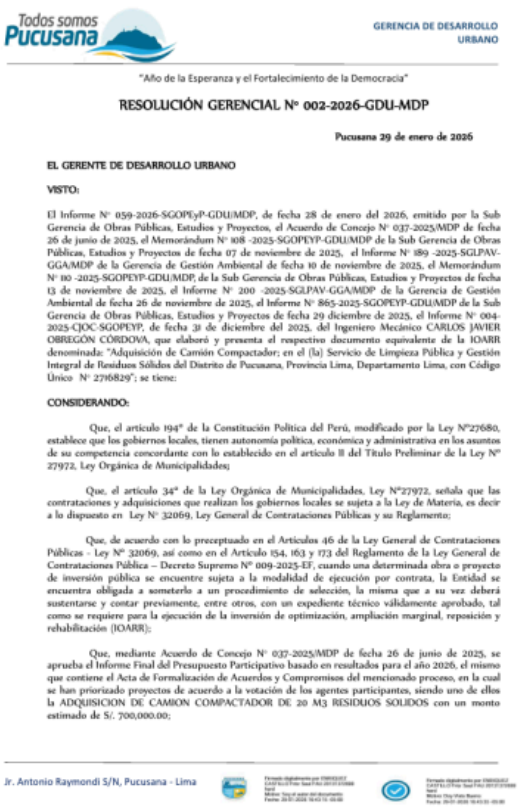
ANEXO 10 Tabla de Operadores de Recolección 2025.

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CARGO	REGIMEN
1	CARRERA HERRERA, DIEGO ENRIQUE	AYUDANTE-OPERADOR	728
2	CASTRO FERNANDEZ, ANDRES	AYUDANTE-OPERADOR	728
3	CATACORA VILCA JACINTO	AYUDANTE-OPERADOR	728
4	CONDORI RUELAS, RODOLFO ALBERTO	AYUDANTE-OPERADOR	728
5	CARRASCO VASQUEZ PAULO CESAR	AYUDANTE-OPERADOR	728
6	ENRIQUEZ TORRES ALCIDES	AYUDANTE-OPERADOR	CAS
7	GUTIERREZ CARRION, JULIO ENRIQUE	AYUDANTE-OPERADOR	728
8	HERMOSA CAMACHO, LUIS FERNANDO	AYUDANTE-OPERADOR	728
9	HUARACHA PHUÑO, JOSE LUIS	AYUDANTE-OPERADOR	728
10	LA TORRE CONDORI, PERCY	AYUDANTE-OPERADOR	728
11	LIMA MALLAS, ROCIO PAMELA	AYUDANTE-OPERADOR	728
13	MAMANI QUISPE, MARCO ANTONIO	AYUDANTE-OPERADOR	728
14	MAYORGA RAMIREZ EXALTACION DE LA CRUZ	AYUDANTE-OPERADOR	CAS
15	ORTIZ HUANCA JHOSUA SERGIO	AYUDANTE-OPERADOR	CAS
16	ORTIZ HUANCA KEVIN SERGIO	AYUDANTE-OPERADOR	CAS
17	QUISPE CHIPANA, JULIO GERARDO	AYUDANTE-OPERADOR	728
18	QUISPE ILLATINCO, JUAN GUALBERTO	AYUDANTE-OPERADOR	728
19	ROBLES QUISPE, BALTAZAR	AYUDANTE-OPERADOR	728
20	SALLUCA QUISPE EULALIA	AYUDANTE-OPERADOR	728
21	SALAS CHURATA, OSHIN	AYUDANTE-OPERADOR	728
22	TICONA DIAZ PEDRO LUIS	AYUDANTE-OPERADOR	728
23	RICHARD MERCADO ALMONTE	AYUDANTE-OPERADOR	CAS
24	USNAYO ALVARADO LUISA	AYUDANDE-OPERADOR	728

ANEXO 11 Situación Operativa de los camiones recolectores.

PLACA DE COMPACTADOR	MARCA	MODELO	CAPACIDAD EN T	CAPACIDAD EN M3	ESTADO OPERATICO	AÑO DE FABRICACIÓN
EGI-921	Inter	Durastar	10 T	19 m3	ACTIVO	2012
EAJ-742	Mercedez	AXOR 3131 6X4 4800 EURO V	14T	20 m3	ACTIVO	2023
EAJ-747	Mercedez	AXOR 3131 6X4 4800 EURO V	14T	20m3	ACTIVO	2023
EOA-396	Mercedez	AXOR 3131/40	14T	20m3	ACTIVO	2024
EGJ-793	Mitsubishi	CANTER	3.5 T	17.93 m 3	ACTIVO	2012
EGI-882	INTER	Durastar	10T	19 m3	ACTIVO	2016
EAJ-757	Mercedez	AXOR 3131 6X4 4800 EURO V	14T	20 m3	ACTIVO	2023
EAH-208	IZUSU	FVZ234UL	12T	21 m3	ACTIVO	2015
EAJ-760	Mercedez	AXOR 3131 6X4 4800 EURO V	14T	20 m3	ACTIVO	2023
EGX-605	Mercedez	AXOR 2628	14T	21 m3	ACTIVO	2016
EGA-517	Volkswagen	Worker 17.220	08T	15 m3	ACTIVO	2015
EAA-148	INTER	Durastar	10T	19 m3	ACTIVO	2016
EAJ-763	Mercedez	AXOR 3131 6X4 4800 EURO V	14T	20 m3	ACTIVO	2023
EAO-491	Mercedez	AXOR 3131/40	14T	20 m3	INACTIVO	2023
EAO-447	Mercedez	AXOR 3131/40	14T	20 m3	INACTIVO	2023
EGB-236	Volkswagen	Wolker 17.220	08 T	15 m3	INACTIVO	2015

ANEXO 12 Resolución de Gerencia de Desarrollo Urbano N.° 002-2026-GDU/MDP.



Todos somos Pucusana

GERENCIA DE DESARROLLO URBANO

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

RESOLUCIÓN GERENCIAL N° 002-2026-GDU-MDP

Pucusana 29 de enero de 2026

EL GERENTE DE DESARROLLO URBANO

VISTO:

El Informe N° 059-2026-SGOPEyP-GDU/MDP, de fecha 28 de enero del 2026, emitido por la Sub Gerencia de Obras Públicas, Estudios y Proyectos, el Acuerdo de Concejo N° 037-2025/MDP de fecha 26 de junio de 2025, el Memorándum N° 108 -2025-SGOPEYP-GDU/MDP de la Sub Gerencia de Obras Públicas, Estudios y Proyectos de fecha 07 de noviembre de 2025, el Informe N° 189 -2025-SGLPAV-GGA/MDP de la Gerencia de Gestión Ambiental de fecha 10 de noviembre de 2025, el Memorándum N° 110 -2025-SGOPEYP-GDU/MDP, de la Sub Gerencia de Obras Públicas, Estudios y Proyectos de fecha 13 de noviembre de 2025, el Informe N° 200 -2025-SGLPAV-GGA/MDP de la Gerencia de Gestión Ambiental de fecha 26 de noviembre de 2025, el Informe N° 865-2025-SGOPEYP-GDU/MDP de la Sub Gerencia de Obras Públicas, Estudios y Proyectos de fecha 29 diciembre de 2025, el Informe N° 004-2025-CJOC-SGOPEYP, de fecha 31 de diciembre del 2025, del Ingeniero Mecánico CARLOS JAVIER OBREGÓN CÓRDOVA, que elaboró y presenta el respectivo documento equivalente de la IOARR denominada: "Adquisición de Camión Compactador; en el (la) Servicio de Limpieza Pública y Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito de Pucusana, Provincia Lima, Departamento Lima, con Código Único N° 2716829"; se tiene:

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 194° de la Constitución Política del Perú, modificado por la Ley N°27680, establece que los gobiernos locales, tienen autonomía política, económica y administrativa en los asuntos de su competencia concordante con lo establecido en el artículo II del Título Preliminar de la Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades;

Que, el artículo 34° de la Ley Orgánica de Municipalidades, Ley N°27972, señala que las contrataciones y adquisiciones que realizan los gobiernos locales se sujeta a la Ley de Materia, es decir a lo dispuesto en Ley N° 32069, Ley General de Contrataciones Públicas y su Reglamento;

Que, de acuerdo con lo preceptuado en el Artículos 46 de la Ley General de Contrataciones Públicas - Ley N° 32069, así como en el Artículo 154, 163 y 173 del Reglamento de la Ley General de Contrataciones Pública – Decreto Supremo N° 009-2025-EF, cuando una determinada obra o proyecto de inversión pública se encuentre sujeta a la modalidad de ejecución por contrata, la Entidad se encuentra obligada a someterlo a un procedimiento de selección, la misma que a su vez deberá sustentarse y contar previamente, entre otros, con un expediente técnico válidamente aprobado, tal como se requiere para la ejecución de la inversión de optimización, ampliación marginal, reposición y rehabilitación (IOARR);

Que, mediante Acuerdo de Concejo N° 037-2025/MDP de fecha 26 de junio de 2025, se aprueba el Informe Final del Presupuesto Participativo basado en resultados para el año 2026, el mismo que contiene el Acta de Formalización de Acuerdos y Compromisos del mencionado proceso, en la cual se han priorizado proyectos de acuerdo a la votación de los agentes participantes, siendo uno de ellos la ADQUISICION DE CAMION COMPACTADOR DE 20 M3 RESIDUOS SOLIDOS con un monto estimado de S/. 700,000.00;

Jr. Antonio Raymondi S/N, Pucusana - Lima

Que, el Expediente Técnico de la IOARR denominada: "Adquisición de Camión Compactador; en el (la) Servicio de Limpieza Pública y Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito de Pucusana, Provincia Lima, Departamento Lima, con Código Único N°2716829", tiene como valor referencial para la ejecución de la inversión que se desagrega de la siguiente manera:

RESUMEN DE PRESUPUESTO						
ITEM	**DENOMINACION**	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**VALOR VENTA UNITAIO**	**IGV**	**PRECIO UNITARIO**
1	COMPACTADORA DE 21 M3	UND	01	636,864.41	114,635.59	751,500.00
2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	UND	04	12,711.86	2,288,14	15,000.00
PRESUPUESTO TOTAL						**766,500.00**

Que, estando a los informes expuestos y a las facultades establecidas en el Reglamento de Organización y Funciones de la Municipalidad Distrital de Pucusana establecida en el artículo 53, literales l), y), z), en cuanto a la APROBACIÓN DE LOS EXPEDIENTES TÉCNICOS DE OBRA respecto a la Gerencia de Desarrollo Urbano;

ANEXO 13 Subasta Pública N° 002-2020/MM de la MD de Miraflores

SUBASTA PÚBLICA N° 002-2020/CUARTA CONVOCATORIA

VENTA DE OCHO (8) BIENES MUEBLES VEHICULOS: CAMIONES COMPACTADORES DE RESIDUOS SOLIDOS

ANEXO A

"LOTES DE BIENES MUEBLES A VENDERSE"

LOTE	DESCRIPCION DEL BIEN	DETALLES Y CARACTERISTICAS												
		MARCA	MODELO	PLACA ANTERIOR	PLACA ACTUAL	MOTOR	CHASIS	AÑO DE FABRICACION	ESTADO	EJES	TRACCION	PESO NETO KG	CARGA UTIL KG	KILOMETRAJE KMS	PRECIO BASE S/.
1	CAMION COMPACTADOR	VOLKSWAGEN	17.250 worker	F1A-747	EAE-262	36423888	9533N82TXDR327748	2013	R	3	6 X 2	13,410	3,690	232,807	100.625.50
2	CAMION COMPACTADOR	VOLKSWAGEN	17.250 worker	F1F-909	EAE-263	36423887	9533N82T7DR327254	2013	R	3	6 X 2	13,380	3,720	225,872	101.809.31
3	CAMION COMPACTADOR	VOLKSWAGEN	17.250 worker	F1A-738	EAE-264	36423799	9533N82T4DR327938	2013	R	3	6 X 2	13,460	3,640	231,381	100.625.50
4	CAMION COMPACTADOR	VOLKSWAGEN	17.250 worker	F1A-775	EAE-265	36423798	9533N82T7DR327948	2013	R	3	6 X 2	13,400	3,700	245,120	99.441.66
5	CAMION COMPACTADOR	VOLKSWAGEN	17.250 worker	F1A-850	EAE-266	36423886	9533N82T1DR331669	2013	R	3	4 X 2	11,640	5,460	255,339	87.513.45
6	CAMION COMPACTADOR	VOLKSWAGEN	17.250 worker	D0Z-854	EAE-267	36423889	9533N82T1DR327265	2013	R	3	6 X 2	13,380	3,720	231,938	106.544.65
7	CAMION COMPACTADOR	VOLKSWAGEN	17.250 worker	F1B-915	EAE-274	36423797	9533N82T8DR331586	2013	R	3	4 X 2	11,640	5,450	335,024	80.042.79
8	CAMION COMPACTADOR	VOLKSWAGEN	17.250 worker	F1C-820	EAE-275	36423133	9533N82T6DR327259	2013	R	3	6 X 2	13,350	3,750	257,323	95.890.17

PREGUNTA DE LA EMPRESA INVERSIONES Y TRANSPORTES RICARDITO SAC

3.- La placa F1A775 cuando se consulta por sunarp sale FUERA DE CIRCULACION a que se debe.

La placa F1A775, corresponda a una placa fuera de circulación, la placa actual del vehiculo en consulta es EAE -265, la Municipalidad de Miraflores tramito el cambio de placas de rodaje.

4.- TIENEN TARJETA DE CIRCULACION LAS UNIDADES

Las unidades vehiculares en venta no tienen tarjeta de circulación

ANEXO 14 Coordenadas Geográficas de los contenedores propuestos.

N°	RUTA	Coordenada geográfica	N°	RUTA	Coordenada geográfica
1	N°1	-16.381604, -71.516018	134	N°5	-16.377184, -71.514736
2	N°1	-16.384129, -71.519363	135	N°5	-16.376750, -71.514010
3	N°1	-16.384431, -71.519788	136	N°5	-16.375779, -71.512173
4	N°1	-16.384828, -71.520626	137	N°5	-16.375548, -71.511777
5	N°1	-16.385459, -71.521467	138	N°5	-16.375174, -71.511323
6	N°1	-16.385815, -71.521864	139	N°5	-16.374211, -71.511048
7	N°1	-16.386438, -71.522696	140	N°5	-16.375330, -71.512691
8	N°1	-16.387096, -71.523509	141	N°5	-16.375747, -71.513258
9	N°1	-16.387728, -71.524322	142	N°5	-16.375988, -71.513579
10	N°1	-16.388448, -71.525295	143	N°5	-16.376512, -71.514315
11	N°1	-16.389718, -71.527117	144	N°5	-16.376785, -71.514843
12	N°1	-16.390366, -71.528061	145	N°5	-16.377252, -71.515869
13	N°1	-16.389997, -71.526400	146	N°6	-16.377228, -71.517075
14	N°1	-16.389645, -71.526414	147	N°6	-16.376970, -71.516745
15	N°1	-16.389301, -71.525680	148	N°6	-16.376171, -71.515649
16	N°1	-16.388950, -71.524852	149	N°6	-16.375646, -71.514912
17	N°1	-16.388248, -71.523842	150	N°6	-16.375099, -71.513839
18	N°1	-16.387295, -71.522772	151	N°6	-16.374589, -71.513467
19	N°1	-16.388212, -71.523149	152	N°6	-16.374189, -71.512929
20	N°1	-16.389016, -71.523880	153	N°6	-16.373682, -71.512277

N°	RUTA	Coordenada geográfica	N°	RUTA	Coordenada geográfica
21	N°1	-16.389336, -71.524277	154	N°6	-16.373438, -71.513050
22	N°1	-16.387543, -71.522373	155	N°6	-16.373979, -71.513834
23	N°1	-16.387772, -71.522161	156	N°6	-16.372804, -71.514679
24	N°1	-16.386492, -71.521190	157	N°6	-16.372074, -71.515260
25	N°1	-16.385943, -71.520977	158	N°6	-16.371254, -71.515876
26	N°1	-16.387660, -71.521729	159	N°6	-16.370790, -71.515411
27	N°1	-16.386338, -71.520486	160	N°6	-16.370472, -71.514781
28	N°1	-16.386052, -71.520183	161	N°6	-16.371457, -71.514045
29	N°1	-16.385515, -71.519820	162	N°6	-16.372076, -71.513575
30	N°2	-16.384696, -71.518799	163	N°6	-16.372678, -71.513134
31	N°2	-16.384080, -71.518202	164	N°6	-16.371812, -71.513048
32	N°2	-16.383359, -71.517276	165	N°6	-16.370392, -71.513947
33	N°2	-16.383992, -71.517190	166	N°6	-16.375582, -71.515735
34	N°2	-16.382328, -71.515859	167	N°6	-16.375895, -71.516001
35	N°2	-16.382143, -71.515501	168	N°6	-16.376397, -71.517065
36	N°2	-16.381715, -71.515018	169	N°6	-16.376654, -71.517489
37	N°2	-16.383318, -71.516199	170	N°6	-16.374591, -71.509538
38	N°2	-16.384095, -71.516902	171	N°6	-16.373096, -71.507647
39	N°2	-16.385184, -71.518731	172	N°6	-16.371369, -71.505510
40	N°2	-16.385407, -71.518977	173	N°6	-16.371101, -71.505217
41	N°2	-16.380986, -71.515589	174	N°6	-16.373031, -71.506963
42	N°2	-16.381356, -71.516314	175	N°7	-16.371066, -71.505872
43	N°2	-16.383856, -71.520258	176	N°7	-16.370790, -71.505541

N°	RUTA	Coordenada geográfica	N°	RUTA	Coordenada geográfica
44	N°2	-16.384355, -71.520854	177	N°7	-16.370479, -71.505125
45	N°2	-16.385217, -71.522072	178	N°7	-16.371382, -71.507447
46	N°2	-16.386113, -71.523365	179	N°7	-16.370889, -71.507834
47	N°2	-16.386064, -71.523720	180	N°7	-16.370508, -71.507277
48	N°2	-16.387287, -71.524934	181	N°7	-16.370296, -71.506835
49	N°2	-16.389294, -71.527813	182	N°7	-16.369686, -71.507248
50	N°2	-16.388646, -71.526841	183	N°7	-16.370471, -71.508867
51	N°2	-16.387846, -71.526475	184	N°7	-16.368957, -71.509288
52	N°2	-16.387517, -71.526078	185	N°7	-16.369060, -71.510515
53	N°2	-16.386948, -71.525350	186	N°7	-16.369868, -71.510179
54	N°2	-16.386328, -71.525062	187	N°7	-16.369805, -71.512386
55	N°2	-16.385952, -71.524795	188	N°7	-16.369647, -71.512796
56	N°2	-16.385425, -71.524245	189	N°7	-16.370356, -71.513179
57	N°2	-16.385284, -71.523261	190	N°7	-16.369326, -71.511650
58	N°2	-16.384807, -71.522310	191	N°7	-16.367756, -71.510021
59	N°3	-16.384306, -71.521929	192	N°7	-16.367438, -71.509381
60	N°3	-16.383671, -71.521406	193	N°7	-16.366677, -71.508070
61	N°3	-16.384985, -71.523351	194	N°7	-16.366441, -71.507422
62	N°3	-16.385129, -71.524082	195	N°7	-16.367579, -71.508175
63	N°3	-16.385310, -71.524824	196	N°7	-16.367724, -71.508954
64	N°3	-16.385551, -71.525108	197	N°7	-16.368874, -71.507930
65	N°3	-16.383046, -71.520762	198	N°7	-16.368440, -71.507195
66	N°3	-16.381197, -71.517547	199	N°7	-16.369095, -71.507568

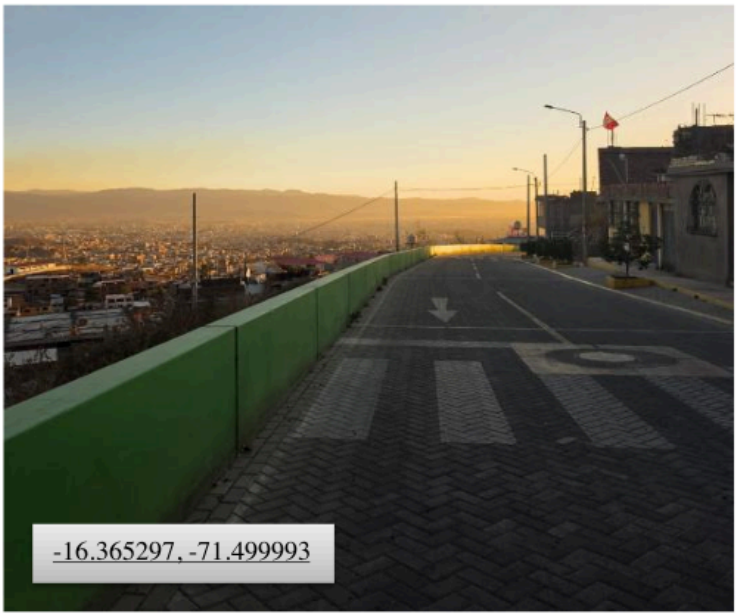
N°	RUTA	Coordenada geográfica	N°	RUTA	Coordenada geográfica
67	N°3	-16.380675, -71.516642	200	N°7	-16.368296, -71.506360
68	N°3	-16.380260, -71.515093	201	N°7	-16.368298, -71.506267
69	N°3	-16.379913, -71.515369	202	N°7	-16.369078, -71.506688
70	N°3	-16.379482, -71.517451	203	N°7	-16.369303, -71.505297
71	N°3	-16.381820, -71.518332	204	N°7	-16.369179, -71.505090
72	N°3	-16.380600, -71.519149	205	N°7	-16.369291, -71.503987
73	N°3	-16.382045, -71.521385	206	N°7	-16.368212, -71.503608
74	N°3	-16.382774, -71.522386	207	N°7	-16.364498, -71.504459
75	N°3	-16.382921, -71.522940	208	N°7	-16.369346, -71.502378
76	N°3	-16.382639, -71.523854	209	N°7	-16.367095, -71.499533
77	N°3	-16.383278, -71.524798	210	N°7	-16.366822, -71.501944
78	N°3	-16.384470, -71.526301	211	N°7	-16.365860, -71.503840
79	N°3	-16.385008, -71.526626	212	N°7	-16.366231, -71.504622
80	N°3	-16.385535, -71.527185	213	N°7	-16.367102, -71.503510
81	N°3	-16.385902, -71.527442	214	N°7	-16.367406, -71.502241
82	N°3	-16.386314, -71.527747	215	N°7	-16.367433, -71.502270
83	N°3	-16.386843, -71.528081	216	N°7	-16.365995, -71.502410
84	N°3	-16.388133, -71.528977	217	N°7	-16.365824, -71.501566
85	N°3	-16.389413, -71.528404	218	N°7	-16.365246, -71.499276
86	N°3	-16.388698, -71.527806	219	N°7	-16.364039, -71.498287
87	N°3	-16.388272, -71.528624	220	N°7	-16.373504, -71.515025
88	N°4	-16.387311, -71.527460	221	N°7	-16.374653, -71.516378
89	N°4	-16.386692, -71.527078	222	N°7	-16.376035, -71.517930

N°	RUTA	Coordenada geográfica	N°	RUTA	Coordenada geográfica
90	N°4	-16.384623, -71.525657	223	N°7	-16.374143, -71.516792
91	N°4	-16.383996, -71.525162	224	N°7	-16.372601, -71.515762
92	N°4	-16.383682, -71.523521	225	N°7	-16.373545, -71.516944
93	N°4	-16.383596, -71.522388	226	N°7	-16.373986, -71.517052
94	N°4	-16.383341, -71.521776	227	N°7	-16.375241, -71.518631
95	N°4	-16.382835, -71.521059	228	N°7	-16.372527, -71.516669
96	N°4	-16.380757, -71.518094	229	N°7	-16.372883, -71.517141
97	N°4	-16.380164, -71.517066	230	N°7	-16.373257, -71.517586
98	N°4	-16.379819, -71.516463	231	N°7	-16.373853, -71.518333
99	N°4	-16.378228, -71.516611	232	N°8	-16.374024, -71.519149
100	N°4	-16.378884, -71.517639	233	N°8	-16.373792, -71.518940
101	N°4	-16.379079, -71.517894	234	N°8	-16.373426, -71.518570
102	N°4	-16.379485, -71.518732	235	N°8	-16.372928, -71.517937
103	N°4	-16.381029, -71.521026	236	N°8	-16.372811, -71.520097
104	N°4	-16.381413, -71.521368	237	N°8	-16.372663, -71.518879
105	N°4	-16.384283, -71.523136	238	N°8	-16.372435, -71.518324
106	N°4	-16.384330, -71.523735	239	N°8	-16.372126, -71.517758
107	N°4	-16.384407, -71.524073	240	N°8	-16.371825, -71.517221
108	N°4	-16.384658, -71.525003	241	N°8	-16.377419, -71.520044
109	N°4	-16.385518, -71.525556	242	N°8	-16.377901, -71.520499
110	N°4	-16.386772, -71.526424	243	N°8	-16.380759, -71.523203
111	N°4	-16.387382, -71.526806	244	N°8	-16.380421, -71.523507
112	N°4	-16.377736, -71.517690	245	N°8	-16.380129, -71.523728

N°	RUTA	Coordenada geográfica	N°	RUTA	Coordenada geográfica
113	N°4	-16.378306, -71.518362	246	N°8	-16.379355, -71.524307
114	N°4	-16.379011, -71.519082	247	N°8	-16.377993, -71.521127
115	N°4	-16.378411, -71.519402	248	N°8	-16.376555, -71.519761
116	N°4	-16.377715, -71.518672	249	N°8	-16.375941, -71.519735
117	N°5	-16.377216, -71.518095	250	N°8	-16.377702, -71.521255
118	N°5	-16.376160, -71.518063	251	N°8	-16.375658, -71.519965
119	N°5	-16.377142, -71.519039	252	N°8	-16.375311, -71.519502
120	N°5	-16.377945, -71.519807	253	N°8	-16.374422, -71.519116
121	N°5	-16.380144, -71.520968	254	N°8	-16.375579, -71.520582
122	N°5	-16.380740, -71.521790	255	N°9	-16.376387, -71.521677
123	N°5	-16.381637, -71.523046	256	N°9	-16.375508, -71.521170
124	N°5	-16.382034, -71.523827	257	N°9	-16.375295, -71.520877
125	N°5	-16.382577, -71.524471	258	N°9	-16.374304, -71.519938
126	N°5	-16.379341, -71.515680	259	N°9	-16.374675, -71.520607
127	N°5	-16.378843, -71.514963	260	N°9	-16.375198, -71.521428
128	N°5	-16.378307, -71.513000	261	N°9	-16.375843, -71.522672
129	N°5	-16.375907, -71.510471	262	N°9	-16.376374, -71.523511
130	N°5	-16.374994, -71.510535	263	N°9	-16.377997, -71.524580
131	N°5	-16.376649, -71.512633	264	N°9	-16.378651, -71.524981
132	N°5	-16.378154, -71.515197	265	N°9	-16.378963, -71.524564
133	N°5	-16.377627, -71.515490	266	N°9	-16.378758, -71.524318

ANEXO 15 Fotografías de la validación en campo de las rutas de recolección.

Figura A15.1 Verificación en campo de la Ruta 04, sector Asentamiento Humano Javier Heraud, tramo con vía sin pavimentar. Fecha: [12/04/2025].





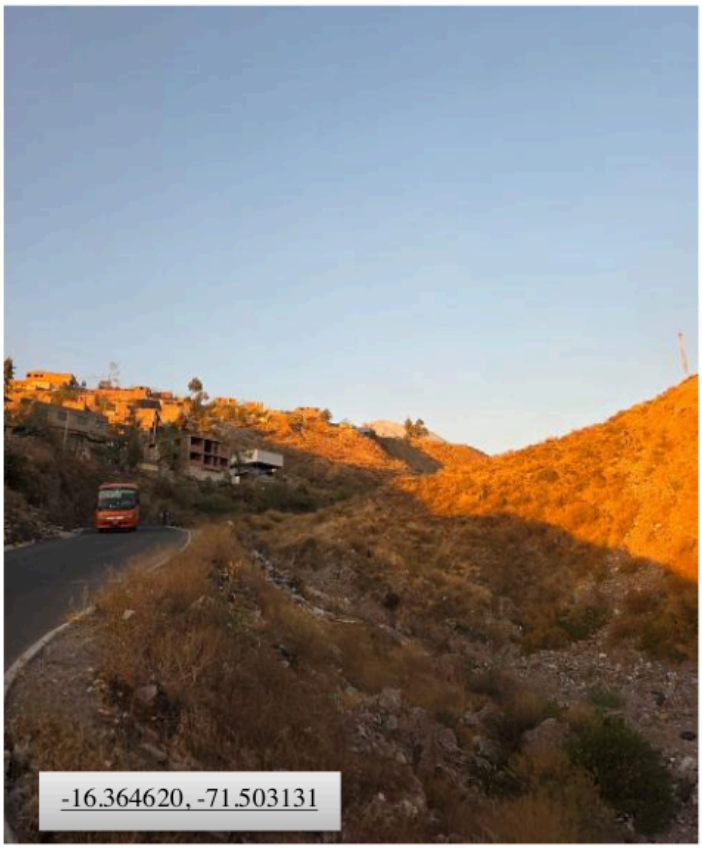

271
-16.371089, -71.505952


248
-16.366650, -71.507979


-16.367073, -71.499545


-16.368213, -71.503625

Figura A15.2. Verificación en campo de la Ruta 06, sector Asentamiento Humano Villa Asunción, tramo con vía irregulares. Fecha: [12/04/2025].







TALLER MUNICIPAL



-16.362068, -71.511751

ANEXO 16 Fichas de Validación de los instrumentos de investigación.

Validación del Registro de Recorridos (Anexo #1).

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO N° 1

DATOS GENERALES

- **Apellidos y Nombres:** Fernando Díaz Zea
- **Cargo:** Jefe del Departamento de Distribución de Sedapar S.A.
- **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha del trayecto actual de la recolección de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre.
- **Autor de Instrumento:** Christopher John Gallegos Sanabria

		INACEPTABLE (40 - 65)					MINIMAMENTE ACEPTABLE (70 - 80)				ACEPTABLE (85 - 100)			
CRITERIOS	INDICADORES	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X

OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- **[SI]** El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- **[ ]** El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 96 puntos

FERNANDO DÍAZ
41450214

Validación del Desempeño del Servicio de recolección (Anexo #2).

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO N°2

DATOS GENERALES

- **Apellidos y Nombres:** Fernando Díaz Zea
- **Cargo:** Jefe del Departamento de Distribución de Sedapar S.A.
- **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha del Análisis del desempeño del servicio de recolección de residuos sólidos.
- **Autor de Instrumento:** Christopher John Gallegos Sanabria

		INACEPTABLE (40 - 60)					MINIMAMENTE ACEPTABLE (70 - 80)				ACEPTABLE (85 - 100)			
CRITERIOS	INDICADORES	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.												X	
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- **[SI]** El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- **[ ]** El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 96.5 puntos

FERNANDO DIAZ
41950214

Validación de registro por Ruta (Anexo #3).

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO N °3

DATOS GENERALES

- **Apellidos y Nombres:** Fernando Díaz Zea
- **Cargo:** Jefe del Departamento de Distribución de Sedapar S.A.
- **Nombre del instrumento motivo de evaluación:** Ficha de datos sobre la regularidad del servicio de recolección de residuos por ruta.
- **Autor de Instrumento:** Christopher John Gallegos Sanabria

		INACEPTABLE (40 - 60)					REGULARMENTE ACEPTABLE (70 - 80)				ACEPTABLE (85 - 100)			
CRITERIOS	INDICADORES	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.													X
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.													X
6. INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X

OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- **[SI]** El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- **[ ]** El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

PROMEDIO DE VALORACIÓN: 98 puntos

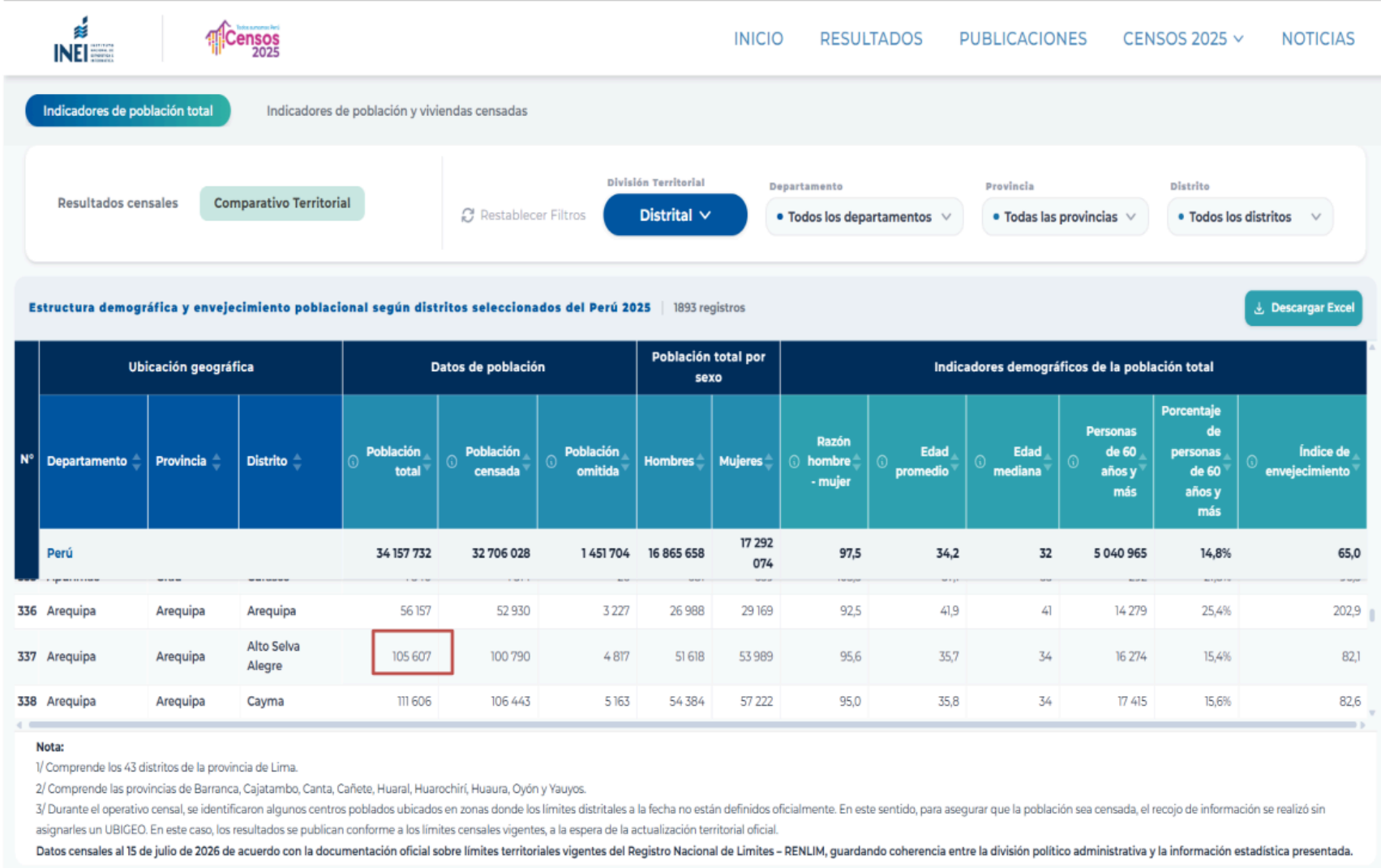
FERNANDO DÍAZ
41950214

ANEXO 17 Censo Nacional 2017, información del distrito de Alto Selva Alegre

Instituto Nacional de Estadística e Informática

UBIGEO	DEPARTAMENTO, PROVINCIA Y DISTRITO	POBLACIÓN CENSADA	POBLACIÓN TOTAL
030601	CHINCHEROS	5 293	5 535
030602	ANCO-HUALLO	10 388	10 746
030603	COCHARCAS	1 728	1 824
030604	HUACCANA	6 634	6 979
030605	OCOBAMBA	6 759	7 208
030606	ONGOY	2 344	2 479
030607	URANMARCA	2 650	2 820
030608	RANRACANCHA	4 046	4 256
030609	ROCCHACC	2 689	2 822
030610	EL PORVENIR	1 728	1 802
030611	LOS CHANKAS	988	1 051
030700	**GRAU**	**21 242**	**22 395**
030701	CHUQUIBAMBILLA	5 023	5 314
030702	CURPAHUASI	1 936	2 043
030703	GAMARRA	2 782	2 927
030704	HUAYLLATI	1 368	1 437
030705	MAMARA	858	904
030706	MICAELA BASTIDAS	935	971
030707	PATAYPAMPA	798	838
030708	PROGRESO	2 945	3 119
030709	SAN ANTONIO	272	288
030710	SANTA ROSA	560	593
030711	TURPAY	628	667
030712	VILCABAMBA	1 233	1 302
030713	VIRUNDO	675	705
030714	CURASCO	1 229	1 287
040000	**AREQUIPA**	**1 382 730**	**1 460 433**
040100	**AREQUIPA**	**1 080 635**	**1 137 087**
040101	AREQUIPA	55 437	57 847
040102	ALTO SELVA ALEGRE	85 870	88 056
040103	CAYMA	91 935	99 968
040104	CERRO COLORADO	197 954	207 114
040105	CHARACATO	12 949	14 047
040106	CHIGUATA	2 939	3 128
040107	JACOBO HUNTER	50 164	52 426
040108	LA JOYA	32 019	35 943
040109	MARIANO MELGAR	59 918	63 899
040110	MIRAFLORES	60 589	62 895
040111	MOLLEBAYA	4 756	5 208
040112	PAUCARPATA	131 346	135 923
040113	POCSI	445	493
040114	POLOBAYA	837	931
040115	QUEQUEÑA	4 784	5 043
040116	SABANDIA	4 368	4 511
040117	SACHACA	24 225	25 612
040118	SAN JUAN DE SIGUAS	611	691
040119	SAN JUAN DE TARUCANI	1 377	1 490
040120	SANTA ISABEL DE SIGUAS	682	771
040121	SANTA RITA DE SIGUAS	6 318	6 962
040122	SOCABAYA	75 351	78 762

ANEXO 18 Censo Nacional 2025, información del distrito de Alto Selva Alegre



INEI | Censos 2025

INICIO RESULTADOS PUBLICACIONES CENSOS 2025 NOTICIAS

Indicadores de población total | Indicadores de población y viviendas censadas

Resultados censales | Comparativo Territorial

Restablecer Filtros | División Territorial: Distrital | Departamento: Todos los departamentos | Provincia: Todas las provincias | Distrito: Todos los distritos

Estructura demográfica y envejecimiento poblacional según distritos seleccionados del Perú 2025 | 1893 registros

Descargar Excel

N°	Ubicación geográfica			Datos de población			Población total por sexo		Indicadores demográficos de la población total					
	Departamento	Provincia	Distrito	Población total	Población censada	Población omitida	Hombres	Mujeres	Razón hombre - mujer	Edad promedio	Edad mediana	Personas de 60 años y más	Porcentaje de personas de 60 años y más	Índice de envejecimiento
	Perú			**34 157 732**	**32 706 028**	**1 451 704**	**16 865 658**	**17 292 074**	**97,5**	**34,2**	**32**	**5 040 965**	**14,8%**	**65,0**
336	Arequipa	Arequipa	Arequipa	56 157	52 930	3 227	26 988	29 169	92,5	41,9	41	14 279	25,4%	202,9
337	Arequipa	Arequipa	Alto Selva Alegre	105 607	100 790	4 817	51 618	53 989	95,6	35,7	34	16 274	15,4%	82,1
338	Arequipa	Arequipa	Cayma	111 606	106 443	5 163	54 384	57 222	95,0	35,8	34	17 415	15,6%	82,6

Nota:

1/ Comprende los 43 distritos de la provincia de Lima.

2/ Comprende las provincias de Barranca, Cajatambo, Canta, Cañete, Huaral, Huarochirí, Huaura, Oyón y Yauyos.

3/ Durante el operativo censal, se identificaron algunos centros poblados ubicados en zonas donde los límites distritales a la fecha no están definidos oficialmente. En este sentido, para asegurar que la población sea censada, el recojo de información se realizó sin asignarles un UBIGEO. En este caso, los resultados se publican conforme a los límites censales vigentes, a la espera de la actualización territorial oficial.

Datos censales al 15 de julio de 2026 de acuerdo con la documentación oficial sobre límites territoriales vigentes del Registro Nacional de Límites – RENLIM, guardando coherencia entre la división político administrativa y la información estadística presentada.

Aplicación del Problema del Agente Viajero (TSP) para el diseño de rutas de recolección y transporte de residuos sólidos en el distrito de Alto Selva Alegre, Arequipa, 2025.

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	7%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	3%
2	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1%
4	metropolis.metrouni.us Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unaj.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	munialtoselvaalegre.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1%
10	Submitted to Docentes Trabajo del estudiante	<1%
11	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
12	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
13	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1%
14	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
	dspace.espoch.edu.ec	

15	Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Francisco de Paula Santander Trabajo del estudiante	<1 %
17	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	www.repositorio.una.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
19	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
20	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
21	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
22	CONSORCIO ORIENTAL CONSULTANTS-CESEL-GEA. "DIA del Proyecto Ampliación y Mejoramiento de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales en los Centros Poblados Urbanos de las Localidades de Pedro Ruiz Gallo, Shipasbamba, San Carlos, Cuispes, Churuja y San Pablo de Valera y los Centros Rurales de Suyubamba, Chosgón, San Gerónimo y Cocachimba, Provincia de Bongará - Amazonas-IGA0000863", R.A. Nº 160-2016-MPB, 2021 Publicación	<1 %
23	Submitted to Universidad Nacional San Agustin Trabajo del estudiante	<1 %
24	Submitted to unapiquitos Trabajo del estudiante	<1 %
25	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
27	Submitted to Universidad La Salle Oaxaca A.C. Trabajo del estudiante	<1 %
28	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	spotidoc.com Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to Universidad Privada de Tacna Trabajo del estudiante	

		<1 %
31	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1 %
34	Submitted to Universidad de Xalapa A. C. Trabajo del estudiante	<1 %
35	repositorio.uvm.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
36	www.colibri.udelar.edu.uy Fuente de Internet	<1 %
37	www.iingen.unam.mx Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey Trabajo del estudiante	<1 %
39	Muñoz Villamizar, Andrés Felipe. "Solución de los problemas de localización y dimensionamiento de centros urbanos de distribución y enrutamiento de sus vehículos.", Universidad de La Sabana (Colombia) Publicación	<1 %
40	Submitted to Universidad Autonoma De Guadalajara A.C. Trabajo del estudiante	<1 %
41	VERA ALARCON ROSSANA. "PMR del Distrito de Sachaca 2019-IGA0006665", R.A. N° 499-2019-MDS, 2020 Publicación	<1 %
42	Juan Pablo Orrego Cardozo, Daniela Ospina Toro, Eliana Mirledy Toro Ocampo. "Solución al Problema de Ruteo de Vehículos con Capacidad Limitada (CVRP) usando una técnica metaheurística", Scientia et technica, 2016 Publicación	<1 %
43	Submitted to Universidad Nacional de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %
44	moam.info Fuente de Internet	<1 %
45	Submitted to Corporación Universitaria Iberoamericana Trabajo del estudiante	<1 %

46	Mourao, Maria Candida Vergueiro monteiro Cisase. "Optimizacao de Rotas na Recolha de Residuos Urbanos : Modelos e Algoritmos", Universidade Tecnica de Lisboa (Portugal), 2021 Publicación	<1 %
47	Submitted to Universidad Industrial de Santander UIS Trabajo del estudiante	<1 %
48	pingpdf.com Fuente de Internet	<1 %
49	Submitted to Uniminuto Virtual Trabajo del estudiante	<1 %
50	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
51	tangara.uis.edu.co Fuente de Internet	<1 %
52	Conza Ancaypuro, Crisólogo. "Impacto de la intensidad de segregación de residuos sólidos sobre el consumo de combustible y los costos de recolección", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru) Publicación	<1 %
53	Perez, Hipolito Hernandez. "Procedimientos Exactos Y Heuristicos Para Resolver Problemas de Rutas Con Recogida Y Entrega de Mercancia", Universidad de La Laguna (Canary Islands, Spain), 2022 Publicación	<1 %
54	RUIZ KASSAY RITTER. "Actualización del PIGARS de la Municipalidad Provincial de Coronel Portillo 2018-IGA0009667", O.M. N° 015-2018-MPCP, 2020 Publicación	<1 %
55	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
57	1library.co Fuente de Internet	<1 %
58	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
59	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
60	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	<1 %

61	www.campustudionline.com Fuente de Internet	<1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 18 words
Excluir bibliografía	Activo		