



**Optimización de rutas de recolección de residuos aprovechables en los
barrios: Centenario, Providencia y Boston de la ciudad de Pereira,
Risaralda.**

Carlos Albeiro Cuesta Losada

Natalia Henao Barrero

Gloria Mercedes Losada Salazar

Asesor: Catalina Guevara Giraldo Magíster (MSc) en Tecnologías de la Información
Geográfica

Asesores de recursos académicos: Luz Andrea Sepúlveda Escobar (asesora bibliográfica)

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Sistemas de
Información Geográfica

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Especialización en Sistemas de Información Geográfica
Manizales, Caldas, Colombia

2026

Cita	(Cuesta Losada et al., 2025)
Referencia	(Cuesta Losada et al., 2025). <i>Optimización de rutas de recolección de residuos aprovechables en los barrios: Centenario, Providencia y Boston de la ciudad de Pereira, Risaralda</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Manizales. RIDUM: Repositorio Institucional Universidad de Manizales.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Sistemas de Información Geográfica , XXXI

Declaración de inteligencia artificial: el o los autores de este trabajo de grado declaran que han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), tales como [mencionar herramientas utilizadas, por ejemplo, ChatGPT, de manera ética y responsable, tal como se establece en el Acuerdo UManizales 002 (julio 26 de 2023) sobre propiedad intelectual e IA. Estas herramientas son empleadas como apoyo en la redacción, revisión gramatical y generación de ideas, pero en ningún caso sustituyen el análisis crítico, la argumentación académica ni la originalidad del trabajo. Asimismo, cualquier contenido generado con asistencia de IA está citado y referenciado adecuadamente, garantizando la integridad académica y el cumplimiento de los principios éticos de la investigación.

Biblioteca y Centro de Recursos: <https://biblioteca.umanizales.edu.co/>

Repositorio Institucional: <http://ridum.umanizales.edu.co/>

Universidad de Manizales: www.umanizales.edu.co

Revistas: <http://revistasum.umanizales.edu.co/>

Fondo Editorial: <https://editorialum.umanizales.edu.co/>

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Manizales ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexo

Dedicatoria|

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, quienes con su amor, comprensión y apoyo incondicional nos acompañaron durante todo este proceso académico. Su confianza en nosotros fue el motor que impulsó cada esfuerzo y cada logro alcanzado.

A nuestros amigos, por su compañía, ánimo y palabras de aliento en los momentos de mayor exigencia.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, aportaron a nuestro crecimiento personal y profesional, les dedicamos este logro que representa no solo el cierre de una etapa académica, sino también el fruto del compromiso, la perseverancia y el trabajo en equipo

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la culminación de este trabajo de grado y de nuestra formación en la especialización.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, paciencia y comprensión a lo largo de este proceso. Su respaldo fue fundamental para mantener nuestra motivación y compromiso.

A los **docentes del programa**, quienes con su dedicación, conocimiento y orientación contribuyeron de manera significativa a nuestro crecimiento académico y profesional. Agradecemos especialmente el esfuerzo y la calidad humana con la que compartieron sus experiencias, fomentando en nosotros el pensamiento crítico y el deseo de aprender.

Tabla de Contenido

Resumen	9
Abstract.....	11
1. Introducción	13
2. Planteamiento del problema	15
3. Antecedentes	18
4. Justificación.....	20
5. Objetivos	22
5.1 Objetivo general	22
5.2 Objetivos específicos.....	22
6. Hipótesis.....	23
6.1 Hipótesis de trabajo	23
6.2 Hipótesis nula	23
6.3 Hipótesis alterna.	23
7. Marco Teórico	24
8. Metodología	28
8.1 Enfoque metodológico.....	28
8.2 Diseño.....	29
8.3 Tipo de estudio	29
8.4 Tipo.....	29
8.5 Población	29
8.6 Recolección De Información	30
9. Procedimiento.....	31
10. Resultados.....	35

Procedimiento ArcGIS Pro.....	46
11. Discusión	68
12. Conclusiones.....	71
13. Recomendaciones	73
14. Referencias	75

Lista de tablas

<i>Tabla 1 Información actual de zonas de estudio</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2 Actores involucrados</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 3 Puntos críticos en las zonas de prestación</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4 Matriz Comparativa</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 5 Resultados y productos esperados de la investigación</i>	<i>65</i>

Lista de Figura

<i>Figura 1 Número de usuarios georreferenciados en los barrios, Centenario, Boston y Providencia</i>	<i>35</i>
<i>Figura 2 Direcciones registradas de los usuarios en los barrios, Centenario, Boston y Providencia</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3 Registro de nombre de usuarios</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4 Registro de documento de identidad</i>	<i>37</i>
<i>Figura 5 Registro de número telefónico.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 6 Frecuencia de recolección barrio Providencia.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 7 Frecuencia de recolección barrio Boston</i>	<i>39</i>
<i>Figura 8 Frecuencia de recolección barrio Centenario</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9 Mapa de ubicación de barrios de ruta de aprovechamiento en Pereira, Risaralda.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 11 Contenido de mapas</i>	<i>46</i>
<i>Figura 12 Acceso tabla de atributos</i>	<i>47</i>
<i>Figura 13 Tabla de atributos con datos</i>	<i>48</i>
<i>Figura 14 Aplicación de filtro</i>	<i>49</i>
<i>Figura 15 Selección de herramientas.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 16 Configuración de herramienta</i>	<i>51</i>
<i>Figura 17 Importacion de ordenes.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 18 Capa “survey”</i>	<i>53</i>
<i>Figura 19 Ubicación de punto o estacion de recuperación</i>	<i>54</i>
<i>Figura 20 Creación de clase o shape de puntos</i>	<i>54</i>
<i>Figura 21 Agregar ECA a tabla de contenido</i>	<i>55</i>
<i>Figura 22 Creación de atributos.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 23 Agrega atributos a capa ECA</i>	<i>56</i>
<i>Figura 24 Agregar deposito a la ruta</i>	<i>56</i>
<i>Figura 25 Ruta optimizada.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 26 Generar rutas</i>	<i>59</i>
<i>Figura 27 Revisión de rutas</i>	<i>59</i>

Figura 28 Valores generados.....60

Resumen

La adecuada gestión de los residuos sólidos aprovechables es un componente esencial para promover la sostenibilidad ambiental, reducir la presión sobre los rellenos sanitarios y fomentar la economía circular. En este contexto, el uso de **herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG)** se convierte en un recurso estratégico para planificar, analizar y optimizar procesos logísticos asociados a la recolección de materiales reciclables, permitiendo mayor eficiencia en la toma de decisiones.

El presente proyecto tiene como propósito **optimizar la recolección de residuos aprovechables en la ciudad de Pereira** a partir de tres objetivos específicos. En primer lugar, se realiza la **recolección y sistematización de información espacial** sobre los puntos de generación de residuos, las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento (ECA) y las zonas de cobertura existentes, generando una base de datos confiable y georreferenciada.

En segunda instancia, se lleva a cabo un **diagnóstico de la situación actual en los barrios Boston, Centenario y Providencia**, donde se identifican rutas de recolección, frecuencia de servicio, volúmenes de residuos, actores involucrados y puntos críticos. Esto permite reconocer los principales retos y oportunidades de mejora en el sistema actual.

Finalmente, se diseña un **modelo de optimización logística utilizando herramientas basadas en la optimización o utilización de sistemas de información geográficas**, integrando variables como: el tipo y número de vehículos recolectores, horarios, tiempos de recorrido, distancias, cobertura, frecuencia de atención y restricciones territoriales. Este modelo busca generar rutas más eficientes, reducir costos y tiempos de operación, mejorar la cobertura de usuarios y fortalecer las prácticas de reciclaje en la ciudad.

Palabras clave:

ECA: Estación de Clasificación de Aprovechamiento

Sostenibilidad: Se basa en asegurar las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras

Residuos aprovechables: Producto resultante de una actividad, que se pueden volver a reincorporar en la cadena productiva.

Economía circular: modelo de producción y consumo que busca mantener los productos, componentes y materiales en uso durante el mayor tiempo posible, minimizando la generación de residuos y maximizando su valor

Información espacial: aquella que incluye datos sobre la ubicación, las características y las relaciones de los objetos o fenómenos en un espacio geográfico

(RSU): Residuos Sólidos Urbanos

Abstract

The proper management of recyclable solid waste is an essential component for promoting environmental sustainability, reducing the pressure on landfills, and fostering the circular economy. In this context, the use of Geographic Information Systems (GIS) becomes a strategic resource to plan, analyze, and optimize the logistical processes associated with the collection of recyclable materials, thus enabling greater efficiency in decision-making.

This project aims to optimize the collection of recyclable waste in the city of Pereira based on three specific objectives. First, the collection and systematization of spatial information is carried out regarding the generation points of recyclable waste, the Estación de Classification de Preachment (ECA), and the current coverage areas, producing a reliable and georeferenced database.

Second, a diagnosis of the current situation in the neighborhoods of Boston, Centenario, and Providencia, where is it identified collection routes, service frequency, waste volumes, key stakeholders involved, and critical points. This diagnostic process highlights the main challenges and opportunities for improvement within the current system.

Finally, a logistical optimization model using GIS tools is designed, integrating key variables such as the type and number of collection vehicles, schedules, travel times, distances, coverage, service frequency, and territorial constraints. This model seeks to generate more efficient routes, reduce operating costs and travel times, expand user coverage, and strengthen recycling practices within the city.

Keywords:

ECA: Classification and Utilization Station

Sustainability: Based on meeting the needs of the present without compromising the needs of future generations.

Recyclable waste: By-products resulting from an activity that can be reintegrated into the production chain.

Circular economy: A production and consumption model that seeks to keep products, components, and materials in use for as long as possible, minimizing waste generation and maximizing their value.

Spatial information: Data that includes the location, characteristics, and relationships of objects or phenomena within a geographic space.

(RSU): Residuos Sólidos Urbanos

1. Introducción

La gestión adecuada de los residuos sólidos aprovechables se ha convertido en una necesidad prioritaria dentro de los procesos de planificación urbana sostenible. Las ciudades, cada vez más densamente pobladas, enfrentan dificultades para garantizar una disposición final responsable, mientras crece la demanda de estrategias que integren sostenibilidad ambiental, eficiencia logística y participación ciudadana, se genera mayor presión a los rellenos sanitarios como es el caso de El relleno sanitario La Glorita en Pereira, Risaralda según (Correa, 2022) cuenta con una vida útil proyectada para culminar en el año 2028. Las áreas asignadas para su ampliación (9,9 Hectáreas) no son suficientes para garantizar la vida útil mínima de 25 años definida en la Resolución 938 de 2019.

En efecto, una de las principales problemáticas que se presentan en este contexto corresponde a la ineficiencia en las rutas de recolección selectiva, lo cual genera recorridos prolongados, costos elevados, baja cobertura y pérdida de materiales con potencial de aprovechamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia que la ciudad de Pereira enfrenta retos considerables en la organización de sus rutas de recolección de residuos reciclables, ya que dispone al relleno sanitario el 53,44% de residuos reciclables y el 41,55% en compostaje, teniendo una tasa de aprovechamiento regional de solo el 2,28% (Correa, 2022).

En los barrios de estudio ubicados en la ciudad de Pereira, los cuales son: Boston, Centenario y Providencia. En estas zonas, la dispersión de los puntos de generación, la falta de planificación técnica y la ausencia de herramientas geoespaciales han limitado la eficiencia operativa del servicio, ocasionando mayores costos de operación, tiempos de traslado innecesarios y una escasa articulación con las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento (ECA).

Dado que los rellenos sanitarios han alcanzado límites de capacidad preocupantes, resulta indispensable fortalecer los sistemas de recolección selectiva para reducir la presión sobre ellos y prolongar su vida útil. Así, se requiere la implementación de metodologías basadas en evidencia espacial que optimicen las rutas y promuevan una economía circular efectiva.

Por consiguiente, este trabajo tiene como propósito optimizar las rutas de recolección de residuos aprovechables en los barrios mencionados mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de mejorar la eficiencia logística, además de disminuir los costos operativos y contribuir al desarrollo sostenible del municipio, conocer la movilidad de la ciudad, mejorar el nivel del servicio al cliente (García Á. Y.) A partir de esta finalidad, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo optimizar las rutas de recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia del municipio de Pereira, integrando criterios espaciales, logísticos y ambientales a través del uso de herramientas SIG?

Para dar respuesta a esta pregunta, se plantea como objetivo general diseñar un modelo de optimización logística utilizando herramientas SIG, que considere variables como la ubicación de los puntos de generación, la capacidad de los vehículos recolectores, las distancias de recorrido, los tiempos de servicio y las restricciones territoriales.

Simultáneamente, se formulan objetivos específicos orientados a recolectar y sistematizar información geoespacial de los usuarios, diagnosticar la situación actual de las rutas y proponer escenarios logísticos más eficientes, basados en el análisis de redes y la modelación espacial.

La justificación de este estudio radica en la necesidad de adoptar estrategias técnicas y sostenibles que garanticen una gestión más racional de los recursos. Los Sistemas de Información Geográfica permiten integrar datos georreferenciados con parámetros logísticos para construir modelos replicables ((HERNANDEZ, 2021), lo cual favorece la planeación de servicios públicos eficientes, reduce la huella ambiental y promueve prácticas alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 11 sobre ciudades sostenibles, el ODS 12 sobre producción y consumo responsables y el ODS 13 sobre acción por el clima.

En síntesis, este trabajo de grado se fundamenta en el aprovechamiento de herramientas tecnológicas para abordar una problemática ambiental y operativa relevante. Su desarrollo permitirá disponer de un modelo de gestión adaptable a otros contextos urbanos, consolidando la articulación entre innovación tecnológica, sostenibilidad ambiental y eficiencia institucional. De esta manera, se contribuye a fortalecer los procesos de planeación territorial, mejorar la calidad del

servicio de recolección selectiva y fomentar una cultura de aprovechamiento responsable de los residuos sólidos en la ciudad de Pereira.

2. Planteamiento del problema

En la actualidad la cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) generados por las actividades cotidianas de la sociedad se están volviendo un problema difícil de controlar, debido a que cada año se están generando más de dos mil millones de toneladas de estos en el mundo (ONU 2024), haciendo una similitud, esto sería transitar una distancia mayor que la de un viaje a la luna ida y regreso. Se pueden referir las causas de este fenómeno como el crecimiento de la población mundial, los avances tecnológicos, la migración, la cultura del consumismo que han sido un obstáculo para el adecuado manejo de ellos.

Colombia es un país en donde la gestión de residuos sólidos representa una problemática actual de alta complejidad, arraigada en estructuras socioeconómicas desiguales, marcos institucionales fragmentados y una ciudadanía que aún no ha sido plenamente incorporada en el debate ecológico (Caballero, 2021). Teniendo en cuenta el Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos para el año 2023, se dispusieron en promedio 11.803.407,29 toneladas de residuos sólidos en el marco del servicio público de aseo a nivel nacional, de los cuales el 97.95% han sido dispuestos en sistemas autorizados, sean estos denominados rellenos sanitarios y celdas de contingencias, los cuales cuentan con los permisos ambientales y licencias necesarias para su operación, estos se encuentran concentrados en el centro del país y corresponden al 64.47%. Los sistemas no autorizados se encuentran en su mayoría en las regiones Caribe (Bolívar, Sucre y Magdalena) y Pacífica (Nariño, Cauca y Chocó), estos corresponden al 32.53%.

Teniendo en cuenta lo anterior, los sistemas autorizados para la disposición final de residuos en Colombia son 249 de los cuales se identificaron 29 con vida útil vencida, 48 con vida útil entre 0 y 3 años, lo que significa que el 30.92% de los sitios autorizados para la disposición final de residuos están próximos a vencer su vida útil, dentro de estas estadísticas se encuentra el relleno sanitario “La Glorita”, localizado en el corregimiento de Combia en el municipio de Pereira.

Este relleno es uno de las más grandes de Colombia y cuenta con una planta de tratamiento de lixiviados, que permite recuperar y reutilizar el agua residual para uso propio del relleno, limpieza de parques y plazas de la ciudad.

El panorama expuesto deja claro que al relleno sanitario llegan cada día toneladas de plástico, cartón y otros materiales que pueden ser aprovechables como fuente de materia prima en diversas compañías, pero que al llegar al vertedero es imposible realizar la separación insitu debido a que ya presentan contaminación. Se hace necesario que la sociedad en general realice la separación en la fuente de estos residuos, lo que permitiría activar la economía circular reutilizando los productos aprovechables como el cartón, vidrio, plástico, metal, entre otros, con el fin de contribuir al cuidado del medio ambiente, dar cumplimiento a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente al ODS 12 producción y consumo responsable puesto que se enfoca en la generación de residuos y el uso adecuado de los recursos, también se relaciona con el ODS 8 Trabajo decente y crecimiento económico y el ODS 13 Acción por el clima.

En los rellenos sanitarios no se debe realizar la separación de los residuos sólidos, pero hay que potencializar un sistema que realice la recolección de los residuos sólidos aprovechables ya separados en la fuente, es decir, en los hogares, empresas, cafeterías, restaurantes, centros comerciales, etc., con el fin de que estos sean llevados a estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECA) evitando así que terminen en los vertederos, en Silvania (Cundinamarca) mostró que incluso en zonas rurales es viable implementar recolección aprovechable separada mediante rutas optimizadas (David)

El cierre del relleno sanitario La Glorita no solo afectaría a la ciudad de Pereira, sino que también a los 24 municipios del departamento de Risaralda, Norte del Valle del Cauca y Caldas quienes disponen sus residuos en este sitio. Por lo tanto, para lograr un aprovechamiento óptimo de los residuos y evita que estos terminen en los vertederos, se debe considerar varios parámetros como que a menor distancia es mayor la eficiencia logística, para esto se hace necesario apoyarse en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que son una herramienta fundamental en la planificación de rutas, en este caso las rutas de recolección de residuos aprovechables, ya que permite integrar y analizar de manera espacial y operativa toda la información relacionada con el territorio, la generación de residuos y la capacidad logística disponible.

En primer lugar, los SIG posibilitan la optimización de rutas, ya que mediante el análisis de redes se pueden identificar los trayectos más cortos y eficientes, disminuyendo los tiempos de recorrido y, en consecuencia, los costos de combustible, mantenimiento vehicular y horas laborales. Además, permiten evaluar restricciones reales del entorno urbano, tales como sentidos viales, intersecciones críticas, topografía, accesibilidad a barrios o calles estrechas. De acuerdo a lo anterior se hace necesario la implementación y optimización de rutas de recolección de residuos sólidos aprovechables para contribuir a la disminución de los residuos llevados al relleno; existen diferentes herramientas que permiten reducir tiempo y costos de operatividad, analizando redes, priorizando trayectos dependiendo del vehículo que se use, aspectos que una planificación manual difícilmente considera de manera integral, debido a que la recolección y el transporte son las actividades más costosas del servicio de aseo urbano, en la mayoría de los casos representa entre el 80% y 90% del costo total del servicio (Sánchez, 2025)

Otro aspecto clave es que los SIG facilitan la gestión dinámica de la información. Es decir, no solo se diseña una ruta estática, sino que se pueden simular diferentes escenarios: variaciones en la cantidad de residuos recolectados, cambios en la cobertura de usuarios, crecimiento urbano o alteraciones en la infraestructura vial. Esto hace que la planificación sea adaptativa y sostenible en el tiempo.

Asimismo, la aplicación de SIG en este contexto fortalece la toma de decisiones basadas en datos objetivos. Se pueden cruzar variables socioeconómicas, ambientales y logísticas para priorizar zonas de atención, mejorar la equidad en la prestación del servicio y garantizar una mayor cobertura. Esto no solo repercute en la eficiencia operativa, sino también en la reducción del impacto ambiental, al minimizar las emisiones contaminantes derivadas de recorridos innecesarios.

En términos de productividad, los SIG demuestran ser herramientas transferibles a cualquier entorno, ya que su capacidad de análisis espacial y de modelamiento logístico puede aplicarse tanto en la recolección de residuos aprovechables como en otros procesos de distribución de bienes y servicios, consolidándose como un recurso estratégico para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad urbana.

3. Antecedentes

La administración de desechos sólidos reutilizables ha adquirido una gran relevancia en las políticas urbanas, no solo por sus efectos en el medio ambiente, sino también por su influencia en la inclusión social y la eficacia logística. Varios estudios previos han explorado la mejora de rutas y la organización del sistema de recolección utilizando herramientas informáticas, especialmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que ofrecen un respaldo metodológico y práctico para este análisis.

A nivel local, Román Ramírez y Sinisterra Buitrago (2023) llevaron a cabo una investigación pionera en Pereira, centrada en el diseño de rutas para la recolección de desechos sólidos reutilizables hacia las Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento (ECA), mediante análisis espacial usando SIG. Su investigación demostró que la adopción de herramientas geográficas permite una asignación más eficaz de las rutas, una reducción en los tiempos de desplazamiento y una mejor cobertura del servicio, estableciendo así un precedente importante para este estudio.

En adición a este enfoque técnico, Trujillo Muñoz (2018) centró su análisis en la inclusión de recicladores en Pereira, aplicando un enfoque de sistemas blandos para comprender las dinámicas sociales y operativas que inciden en la eficacia del sistema de aprovechamiento.

Este trabajo destaca la necesidad de considerar el papel de los actores sociales en la planificación logística, especialmente al buscar mejorar rutas sin excluir a aquellos que tradicionalmente han realizado la recolección manual.

Un antecedente significativo es la propuesta de Vásquez Gómez (2011), quien formuló una estrategia logística para la gestión de desechos peligrosos en Pereira y Dosquebradas, utilizando un modelo basado en SIG. Aunque los tipos de desechos son distintos, su metodología evidenció la viabilidad del SIG en procesos complejos de recolección y transporte, que pueden adaptarse a diferentes tipos de residuos y escalas de intervención.

En el ámbito privado, Arcila Holguín (2020) desarrolló un plan de gestión ambiental para el Club Campestre de Pereira, empleando el análisis SIG para crear rutas internas de recolección de desechos. Este estudio demuestra cómo estas herramientas pueden ser útiles también en escalas reducidas, mejorando los recorridos y facilitando la correcta disposición de los desechos.

A nivel nacional e internacional, se han llevado a cabo significativas investigaciones que destacan la importancia del Sistema de Información Geográfica (SIG) en la administración de residuos. Por ejemplo, Benítez Bravo (2021), en Monterrey, México, estableció rutas efectivas de recolección mediante análisis espacial, mostrando cómo el SIG facilita la combinación de factores como la capacidad de los vehículos, el tráfico y la distribución de la población. De manera similar, Castro Berrios y Gonzales Pumacayo (2023) crearon un modelo para optimizar rutas usando SIG en Huarín, Perú, logrando resultados favorables en ciudades de tamaño y complejidad similares a Pereira. Desde un enfoque más técnico, Montalbán Farroñan (2018) presentó un planificador de rutas usando algoritmos genéticos en Chiclayo, lo que evidenció la eficacia de método.

4. Justificación

El tema fue seleccionado porque responde a una necesidad real que se ha evidenciado en la operación de los sistemas de recolección selectiva. Actualmente, se presentan rutas ineficientes, recorridos más largos de lo necesario y escasa coordinación entre los actores involucrados, (Avendaño Sánchez & González García, 201) Esto produce mayores costos, pérdidas de materiales reciclables y menor cobertura en el servicio. Por tal motivo, se hace necesario aplicar herramientas tecnológicas que permitan analizar los recorridos (PATIÑO CHIRVA & Daza Cruz) y proponer rutas más lógicas y económicas. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) surgen como una alternativa adecuada, ya que facilitan la organización espacial de los puntos de recolección y ayudan a optimizar las operaciones.

El interés por desarrollar este proyecto combina tanto la parte académica como la práctica. Desde lo académico, representa una oportunidad para aplicar conocimientos de logística, gestión ambiental y análisis espacial; mientras que, desde lo práctico, ofrece la posibilidad de mejorar un servicio público que impacta de forma directa la calidad de vida urbana. Así mismo, estudios previos, como los de Rossit (2018) y Benítez Bravo (2021), también (Aguas Gómez & Rivera Berrio) han demostrado que el uso de SIG en la gestión de residuos permite reducir tiempos y distancias, mejorando la eficiencia del sistema, lo cual respalda la pertinencia de la propuesta.

A nivel institucional, el trabajo se alinea con las metas del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Pereira, que busca aumentar las tasas de aprovechamiento y optimizar los recursos logísticos. También responde a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente al 11 y 12 (Chavarro, Vélez, Montenegro, & Hernández, 2017), que promueven ciudades más sostenibles y una producción responsable (Ardila Lara, Gutiérrez Gil, & Herrera Téllez). De esta forma, los resultados podrán beneficiar tanto a las organizaciones de recicladores, que contarán con rutas más claras y ordenadas, como a las entidades encargadas de la planificación, que dispondrán de información precisa para la toma de decisiones.

El aporte a la ciencia radica en que este estudio combina herramientas geoespaciales con criterios técnicos y sociales para generar un modelo de optimización aplicable a diferentes contextos urbanos. Además, contribuye a generar conocimiento práctico que puede ser utilizado

para formular políticas públicas, fortalecer las instituciones y guiar futuras investigaciones. En otras palabras, no se trata solo de una propuesta operativa, sino de un trabajo que deja una base conceptual y metodológica útil para la gestión sostenible de los residuos.

En conclusión, el proyecto es relevante porque aborda un problema real que afecta tanto al ambiente como a la organización del servicio público de aseo. Su enfoque innovador basado en SIG aporta soluciones técnicas, fortalece la economía circular y contribuye a la construcción de una ciudad más eficiente, moderna y comprometida con la sostenibilidad.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Optimizar las rutas de recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia de la ciudad de Pereira mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de mejorar la eficiencia logística del servicio, reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental asociado.

5.2 Objetivos específicos

- Recolectar y sistematizar información espacial sobre los puntos de generación de residuos aprovechables, estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECA) y zonas de cobertura actuales.
- Diagnosticar la situación actual de la recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia del municipio de Pereira, identificando rutas, frecuencia, volumen de residuos, actores involucrados y puntos críticos.
- Aplicar herramientas geoinformáticas que integre variables como: tipo y cantidad de vehículos recolectores, horarios, tiempos de recorrido, distancias, cobertura, frecuencia y restricciones personalizadas.

6. Hipótesis

En este estudio, la hipótesis se plantea con el propósito de contrastar si la aplicación de herramientas geoespaciales, como los Sistemas de Información Geográfica, puede mejorar la eficiencia logística en la recolección de residuos aprovechables en los barrios seleccionados del municipio de Pereira.

6.1 Hipótesis de trabajo

El uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica para el diseño y análisis de rutas permitirá optimizar la recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia del municipio de Pereira, mejorando los tiempos de recorrido, disminuyendo los costos operativos y aumentando la cobertura del servicio.

6.2 Hipótesis nula

La aplicación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica no genera diferencias significativas en la eficiencia logística de las rutas de recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia de Pereira, en comparación con el sistema actual.

6.3 Hipótesis alterna.

La implementación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica permite una mejora significativa en la eficiencia logística del sistema de recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia de Pereira, reflejada en la reducción de distancias, tiempos y costos operativos.

Variables independientes: Aplicación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el diseño de rutas de recolección.

dependiente: Eficiencia logística del sistema de recolección de residuos aprovechables (medida por tiempo de recorrido, distancia y costos operativos).

De control: Características territoriales, frecuencia de recolección, cantidad de usuarios y capacidad de los vehículos recolectores.

7. Marco Teórico

El fundamento teórico de este estudio se basa en tres elementos clave:

1. La administración completa de desechos sólidos reutilizables,
2. La mejora de la logística y la planificación de trayectorias,
3. La implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como recurso esencial para la organización del territorio, la toma de decisiones y la efectividad operativa en los sistemas urbanos de recolección.

1. Manejo de desechos sólidos reutilizables

La producción de residuos o desechos va creciendo en correlación con el crecimiento y desarrollo de las grandes ciudades, y su manejo inadecuado se ha convertido en una problemática ambiental que afecta gravemente el desarrollo de los países. En Colombia son pocas las ciudades que presentan una gestión integral de los residuos sólidos, debido a que las industrias y en especial los hogares no realizan la disposición adecuada de los mismos (BETANCOURT, 2017)

El país se acogió en 2015 a los Objetivos de Desarrollo Sostenible como marco estratégico para lograr el desarrollo sostenible y resiliente a 2030. En general, se pretende fomentar el reciclaje, reducir el impacto ambiental negativo de los residuos, apoyar la responsabilidad extendida del productor y mejorar la política integral de residuos sólidos mediante la mejora en las condiciones sanitarias y de seguridad de la infraestructura sectorial y la reutilización y la valorización de los residuos. (Bula, Giraldo castaño, Guerra de los rios, & Morales, 2022)

El manejo de desechos sólidos reutilizables (como papel, cartón, plásticos, metales y vidrio, entre otros) es fundamental en el marco de la economía circular y la sostenibilidad ambiental en áreas urbanas. En Colombia, este procedimiento ha ido avanzando hacia la formalización de rutas de recolección selectiva y la integración de recicladores como protagonistas en el sistema de reciclaje (Trujillo Muñoz, 2018).

La separación en el origen, la sensibilización ambiental, la colaboración con estaciones de clasificación (ECA) y la efectividad logística son elementos interrelacionados que influyen en el

éxito del sistema (Román Ramírez & Sinisterra Buitrago, 2023). No obstante, en numerosas ciudades intermedias como Pereira, aún existen obstáculos logísticos, sociales y tecnológicos que impactan la efectividad del proceso de reciclaje.

El estudio de Gallego Duque (2025) explora cómo se pueden fortalecer los modelos operativos mediante la implementación de herramientas digitales y Sistemas de Información

Geográfica (SIG), lo que facilita la asignación equitativa y funcional de rutas, sectores y áreas de trabajo a los recicladores.

2. Mejora logística y planificación de rutas de recolección

La logística urbana comprende aquellos movimientos y planeación que debe tener los operadores del servicio para cumplir con las actividades de acuerdo con su área de prestación, (García M. C., 2022). La planificación de rutas efectivas para la recolección de residuos es vital para reducir los costos operativos, el tiempo de viaje, el uso de combustible y las emisiones contaminantes. Para alcanzar este objetivo, se han creado varios modelos matemáticos y heurísticos, siendo el Vehicle Routing Problem (VRP) y el Capacitated Arc Routing Problem (CARP) los más comunes en entornos urbanos (Rossit, 2018).

Modelos como los algoritmos genéticos han probado ser útiles para abordar problemas logísticos complicados, adaptándose a restricciones variables como el volumen de desechos, la capacidad de los vehículos, el tiempo disponible y las condiciones de la infraestructura vial (Montalbán Farroñan, 2018). Estas metodologías heurísticas son consideradas altamente replicables en ciudades intermedias, como se demuestra en el estudio de Valdiviezo Zevallos y Estrella Basilio (2025) aplicado al distrito de Chaupimarca, Perú.

Por otro lado, Benítez Bravo (2021) implementó rutas eficaces para la recolección de residuos en Monterrey, comprobando que los modelos logísticos bien organizados pueden mejorar la cobertura y disminuir recorridos innecesarios, incluso en áreas metropolitanas complejas.

En entornos rurales o en zonas con población dispersa, como se observa en Castro Berrios & Gonzales Pumacayo (2023) en Huarín, la optimización logística también ha sido aplicable de forma exitosa a través de SIG, lo que evidencia la adaptabilidad de estos métodos en diferentes tipos de áreas.

(Garcia Urrea & Mendoza Mejia , 2018), justifica en su estudio de optimización de rutas para distribución de gas, la importancia de usar un sistema de optimización de rutas por medio de software, así como la observación y análisis.

3. Implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica se han vuelto una herramienta fundamental en la organización de rutas para la recolección de basura, dado que posibilitan la representación, el análisis y la modelación de datos espaciales considerando aspectos logísticos, ambientales y sociales. Esta tecnología ofrece beneficios tales como:

- Modelización de redes viales con diferentes limitaciones (direcciones, pendientes, categorías de vías)
- Análisis espacial para determinar áreas prioritarias
- Simulación de diferentes escenarios de rutas
- Combinación con tecnologías móviles, sensores y sistemas de seguimiento.

En la ciudad de Pereira, la investigación realizada por Román Ramírez y Sinisterra Buitrago en 2023 fue pionera en la utilización de análisis SIG para crear rutas efectivas hacia estaciones de clasificación y reciclaje, evidenciando un incremento en la eficacia operativa. De igual manera, Vásquez Gómez (2011) ya había sugerido un modelo logístico basado en SIG destinado a residuos peligrosos, lo que respalda su utilidad para varios tipos de residuos en el mismo contexto urbano.

Desde una perspectiva más práctica, Arcila Holguín (2020) implementó SIG para la administración de residuos en el Club Campestre de Pereira, mostrando que el análisis espacial también beneficia la planificación en entornos privados. también (Aguas Gomez, Rivera Berrio , & Posada Cuaba, 2024) abordaron los desafíos en la recolección de residuos sólidos en el municipio de San Juan de Betulia, cuyo objetivo fue la utilización de herramientas de investigación de operaciones para obtener una solución, que ayude a minimizar la distancia recorrida por los vehículos y se adapte a las condiciones locales

A nivel internacional, la implementación de SIG ha sido extensa y efectiva. Corrales Hidalgo y Velásquez Roque (2024) mejoraron la eficacia en la recolección de desechos sólidos en

San Martín de Porres aplicando técnicas SIG que unieron datos geográficos, capacidades logísticas y prioridades en el servicio. En Ica, Perú, Rosas Garibay (2024) indicó que un sistema SIG bien diseñado mejora la gestión de residuos municipales, facilitando la toma de decisiones en el territorio.

Incluso en áreas rurales y agrícolas, se ha utilizado el SIG para planificar rutas y gestionar desechos orgánicos, como lo reportaron Masaguer y otros (2020) en Oaxaca, México, centrándose en desechos agrícolas y forestales.

Adicionalmente, el potencial del SIG crece cuando se combina con tecnologías adicionales. Sierra (2023) subraya la importancia de sistemas de teledetección y sensores para mejorar la gestión de desechos bajo un enfoque más inteligente. En esta misma línea, Campo (s.f.) desarrolló una aplicación móvil que, utilizando datos georreferenciados, facilitaba la recolección de materiales reciclables en áreas urbanas.

Por último, Sánchez Gómez (2021) y Suárez Ramírez et al. (2023) presentaron propuestas implementadas en municipios colombianos y en áreas de infraestructura vial, respectivamente, en las que se integran sistemas SIG con servicios de recolección diferenciados, destacando la adaptabilidad de estas herramientas a diversos tipos de redes y áreas de intervención.

8. Metodología

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2006), la metodología de una investigación describe el enfoque adoptado, el diseño del estudio, la población o muestra, así como las técnicas e instrumentos utilizados para recolectar y analizar los datos. Esta sección establece el camino sistemático que se sigue para dar respuesta al problema de investigación, y alcanzar los objetivos planteados.

En el presente estudio, titulado “Optimización logística de rutas de recolección de residuos aprovechables en los barrios Centenario, Boston y Providencia del municipio de Pereira mediante el uso de sistemas de información geográfica”, se adopta un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, con un diseño no experimental, transeccional y descriptivo-correlacional, (Paz, s.f.) ya que se pretende analizar y modelar datos geográficos y logísticos con el fin de proponer rutas óptimas para la recolección de residuos aprovechables en sectores específicos de la ciudad.

La metodología, por tanto, articula herramientas tecnológicas, datos espaciales y criterios logísticos para generar una propuesta de mejora en la gestión de residuos aprovechables, contribuyendo a la eficiencia operativa del sistema de recolección y a la sostenibilidad urbana del municipio de Pereira.

8.1 Enfoque metodológico

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2006), el enfoque de una investigación puede ser cuantitativo, cualitativo o mixto. En este caso, se opta por un:

Enfoque cuantitativo, ya que se pretende medir, modelar y optimizar rutas logísticas a partir de datos geoespaciales, buscando obtener resultados precisos y generalizables mediante el análisis estadístico y el uso de herramientas SIG.

Este enfoque permite una recolección sistemática de datos y el procesamiento mediante herramientas como ArcGIS Pro, Network Analyst y Survey123, que facilitan la obtención de rutas óptimas basadas en variables medibles como tiempo, distancia y frecuencia.

8.2 Diseño

Teniendo en cuenta a Hernández et al., el diseño se refiere al plan o estrategia para responder a las preguntas de investigación. Para este caso en particular se ha definido que el plan para resolver la pregunta de investigación es:

Diseño no experimental, transeccional y correlacional-descriptivo.

Es no experimental, porque no se manipulan variables independientes, sino que se observan y analizan los datos en su contexto natural. Transeccional (o transversal), ya que los datos se recolectan en un único momento del tiempo. Correlacional-descriptivo, pues se busca describir el estado actual de las rutas y su relación con factores como la ubicación, frecuencia de recolección, cantidad de residuos y eficiencia operativa.

8.3 Tipo de estudio

En concordancia con el objetivo general, el diseño investigativo a implementar será la de un estudio aplicado y tecnológico, con fines prácticos.

Este estudio busca aplicar conocimientos geográficos y tecnológicos para resolver un problema real en la gestión de residuos aprovechables, mejorando procesos logísticos y aportando soluciones sostenibles mediante el uso de SIG.

8.4 Tipo

El tipo de investigación a utilizar corresponde al estudio aplicado, en el cual se tiene como objetivo resolver problemas concretos de la vida real, utilizando el conocimiento científico adquirido, por ende, se busca mejorar la eficiencia operativa por medio de la optimización de las rutas de recolección de residuos aprovechables de las zonas de estudio.

8.5 Población

La población objeto de estudio, en la presente investigación corresponde a las comunidades que realizan separación en la fuente de los residuos sólidos en los barrios Centenario, Boston y Providencia en la territorialidad del municipio de Pereira departamento de Risaralda.

8.6 Recolección De Información

La información requerida para el desarrollo de la presente investigación será recopilada a través de aplicación de encuestas en campo (Survey123), en los puntos de generación que hacen parte del programa de reciclaje (hogares en su gran mayoría), los cuales han sido previamente definidos.

9. Procedimiento

A continuación, se describen las actividades que se ejecutaron para dar cumplimiento a los objetivos específicos, agrupadas en fases

- Fase 1: Recolectar y sistematizar información espacial sobre los puntos de generación de residuos aprovechables, estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECA) y zonas de cobertura actuales.

Recolección de información de 53 usuarios mediante encuestas. Para el levantamiento de la información de los puntos de generación de residuos, se hizo acompañamiento a la ruta de recolección para poder identificar todos aquellos usuarios que entregan aprovechamiento a la empresa.

Georreferenciación de usuarios con coordenadas: Para la recolección de información se usó el programa Survey123 que hace parte del mosaico de aplicaciones de ArcGIS Online, conocido como Lanzador de aplicaciones (App Launcher), constituye el panel central de acceso a mapas, capas, escenas y tableros. Su función es integrar en un solo entorno las herramientas de gestión y análisis geoespacial, facilitando la planificación y el seguimiento de procesos. En el marco del proyecto de optimización de rutas de recolección de residuos aprovechables, este recurso permite acceder de manera ágil a aplicaciones clave para el análisis de redes, la generación de rutas eficientes y la visualización de resultados y para esta primera fase, se usó para la georeferenciación de los usuarios y toma de datos.

Se creó en el programa, un formulario que se llamó “Ubicación de usuarios ruta selectiva”, y se crearon campos como: Fecha y hora de registro, nombre, cedula, teléfono, dirección, frecuencia de recolección y ubicación.

Así mismo, para la localización de la estación de clasificación de aprovechamiento (ECA) se tomó el punto de coordenada en el programa Survey123.

Para la delimitación de las zonas de cobertura, se empleó la herramienta ArcGIS Pro donde se creó un polígono que abarcó la macro ruta de recolección, es decir, un polígono de cada uno de los barrios, los cuales son Centenario, Boston y Providencia, en la ciudad de Pereira.

Fase 2: Diagnosticar la situación actual de la recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia del municipio de Pereira, identificando rutas, frecuencia, volumen de residuos, actores involucrados y puntos críticos.

Se identificó las micro rutas actuales, es decir, los recorridos que realiza el vehículo en cada uno de los barrios, también se midió en kilómetros la cantidad recorrida, se identificó el día de recolección, el horario, para determinar los tiempos de desplazamiento en cada barrio, el volumen de residuos recogidos, el gasto en combustibles y el gasto en mantenimiento.

Así mismo, se realizó un mapa de actores involucrados, donde se identificó cada una de las organizaciones que tienen injerencia en la actividad de recolección de aprovechamiento, se realizó una clasificación por: Actor / Institución, Rol en el proyecto, Interés, Nivel de influencia, Participación esperada.

Los puntos críticos se identificaron según la información arrojada del programa Survey123, donde se logró visualizar en un mapa las zonas de mayor concentración de usuarios.

Fase 3: Diseñar un modelo de optimización logística usando herramientas de SIG que integre variables como: tipo y cantidad de vehículos recolectores, horarios, tiempos de recorrido, distancias, cobertura, frecuencia y restricciones personalizadas.

El enfoque se centra en diseñar un modelo de optimización logística para la recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia de Pereira, considerando una serie de variables que recolectamos en la fase de diagnóstico. Entre estas variables, destacamos las rutas actuales, los costos operativos, las frecuencias de recolección y las zonas de mayor concentración de usuarios. Lo que se busca con este modelo no solo es hacer el proceso más eficiente, sino también realista y completamente adaptado a las condiciones locales de cada barrio. Así, tomamos en cuenta factores operativos que van más allá de los números, asegurándonos de que el modelo sea funcional y viable para la empresa.

Empezamos con las rutas actuales, es decir, los recorridos que los vehículos de recolección seguían hasta ese momento. A través de Network Analyst de ArcGIS Pro, se generaron rutas óptimas al identificar áreas donde existían ineficiencias o donde la cobertura era deficiente. La herramienta no solo permitió ajustar las rutas en función de la densidad de usuarios, sino que

también ayudó a simplificar los recorridos, haciéndolos más rápidos y menos costosos. Al optimizar estos caminos, los vehículos pueden hacer más con menos tiempo, lo que mejora la productividad y, en consecuencia, reduce los costos operativos. Además, este ajuste contribuye a mejorar la eficiencia global de las operaciones, permitiendo que la recolección se haga de manera más fluida.

Una vez que las rutas fueron optimizadas, el siguiente paso es considerar los tiempos de parada en cada punto de recolección, así como los tiempos de desplazamiento entre los diferentes barrios. Durante la fase de diagnóstico, ya se había medido los tiempos de recolección por parada, lo que permitió utilizar Network Analyst para ajustar la duración total de cada recorrido. El objetivo no es simplemente reducir el tiempo, sino asegurar que cada parada y cada kilómetro recorrido se aprovechara de manera óptima. Este enfoque asegura que la recolección se realice de manera eficiente, sin perder tiempo en recorridos innecesarios, lo cual tiene un impacto directo en la reducción de costos y en la mejora de la calidad del servicio.

Entender los costos operativos es otro de los aspectos clave en el diseño del modelo. Aunque Network Analyst no mide directamente el gasto de combustible, se utiliza la herramienta para calcular los costos fijos de operación, que incluyen mantenimiento de vehículos, salarios y otros gastos generales. Además, se estima el costo por hora de operación de cada vehículo, lo que es crucial para hacer ajustes financieros en el modelo. Por ejemplo, al optimizar las rutas y ajustar los tiempos de recolección, los vehículos no solo ahorran combustible, sino que también reducen el desgaste y los gastos de mantenimiento. Este enfoque permite prever con mayor exactitud los costos operativos, lo que facilita la toma de decisiones para ajustar los recursos según sea necesario.

En el diseño del modelo, no se tuvo que considerar restricciones locales o prohibiciones en las calles, ya que en la ciudad de Pereira no existen restricciones específicas para los vehículos encargados de la recolección de residuos. Esto facilitó el diseño de las rutas, ya que no hubo que tener en cuenta restricciones de accesibilidad o horarios limitados en las vías para este tipo de vehículo. De todos modos, este punto es importante, ya que en algunas ciudades podría ser necesario adaptar las rutas a estos factores, pero en este caso, las rutas optimizadas se ajustan únicamente a la geografía y las condiciones urbanas de Pereira.

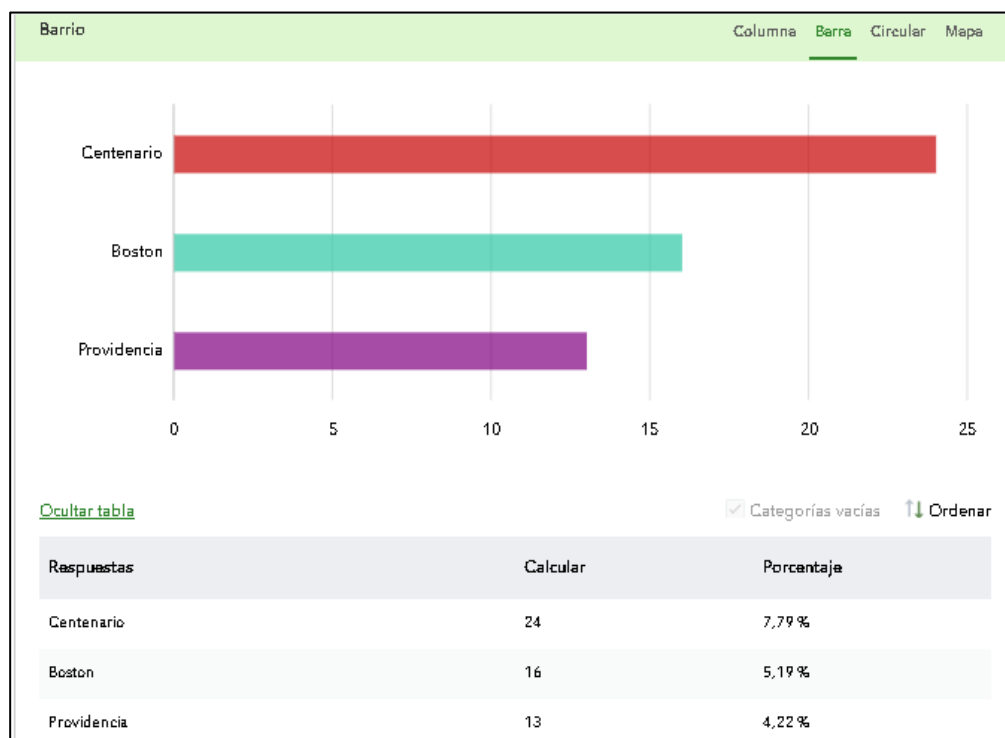
Las nuevas rutas optimizadas no solo mejoraron la eficiencia en términos de tiempos de recorrido, sino que también lograron reducir los costos operativos y mejorar la cobertura de recolección. Con los ajustes en la frecuencia de recolección y la optimización de tiempos de recorrido, los vehículos pueden hacer más con menos. Esto se traduce directamente en menos combustible gastado, menos tiempo en carretera y, en última instancia, un mejor servicio para los usuarios. Al incorporar tanto la optimización de rutas como los ajustes en frecuencias y costos, logramos no solo una mejora en la eficiencia operativa, sino también una reducción significativa en los costos a largo plazo.

10. Resultados

Para dar respuesta a la fase 1, sobre recolección y sistematización de información espacial de los puntos de generación de residuos aprovechables, estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECA) y zonas de cobertura actuales, se realizó la toma de datos de los usuarios, en el recorrido de la ruta de aprovechamiento, los resultados se muestran a continuación:

Se genero una nueva encuesta en el programa Survey123 cuyo nombre fue “Ubicación de usuarios ruta selectiva”, con el objetivo de obtener datos de ubicación, identificación, contacto y frecuencia en la que necesitan el servicio, para así, determinar rutas optimas de recolección mediante georreferenciación, canales de difusión directos con los usuarios y caracterización de estos. En esta encuesta se crearon los campos a llenar como: Fecha y hora de registro, municipio, barrio, nombre y apellido, cedula, teléfono, dirección y frecuencia de recolección. A continuación, se evidencia los resultados de este levantamiento de información:

FIGURA 1 *NÚMERO DE USUARIOS GEORREFERENCIADOS EN LOS BARRIOS, CENTENARIO, BOSTON Y PROVIDENCIA*



Número de usuarios georreferenciados en los barrios, Centenario, Boston y Providencia¹¹
La grafica anterior nos muestra la cantidad de usuarios que entregan reciclaje a la ruta de

recolección, los cuales quedaron registrados en cada barrio, en Centenario se registraron 24, en Boston 16 y en Providencia 13, para un total de 53 usuarios, y unos porcentajes de participación de 7,79%, 5,19% y 4,22% respectivamente.

FIGURA 2 DIRECCIONES REGISTRADAS DE LOS USUARIOS EN LOS BARRIOS, CENTENARIO, BOSTON Y PROVIDENCIA

Dirección *

Nube de términos Mapa

Para la nube de términos es necesario mostrar al menos 20 respuestas.

Ocultar tabla

Mostrar términos

Respuesta	Calcular
Cra 20 #21b-23	1
Cra 20 #20b-09	1
Cra 19b # 22-07	1
Calle 23 #20-19	1
Calle 22 #19b-21	1
Calle 21 #19b-24	1
Calle 21 # 21-02	1
Calle 20bis #21-32	1
Calle 20bis #21-15	1
Calle 20bis #20b-17	1

FIGURA 3 REGISTRO DE NOMBRE DE USUARIOS

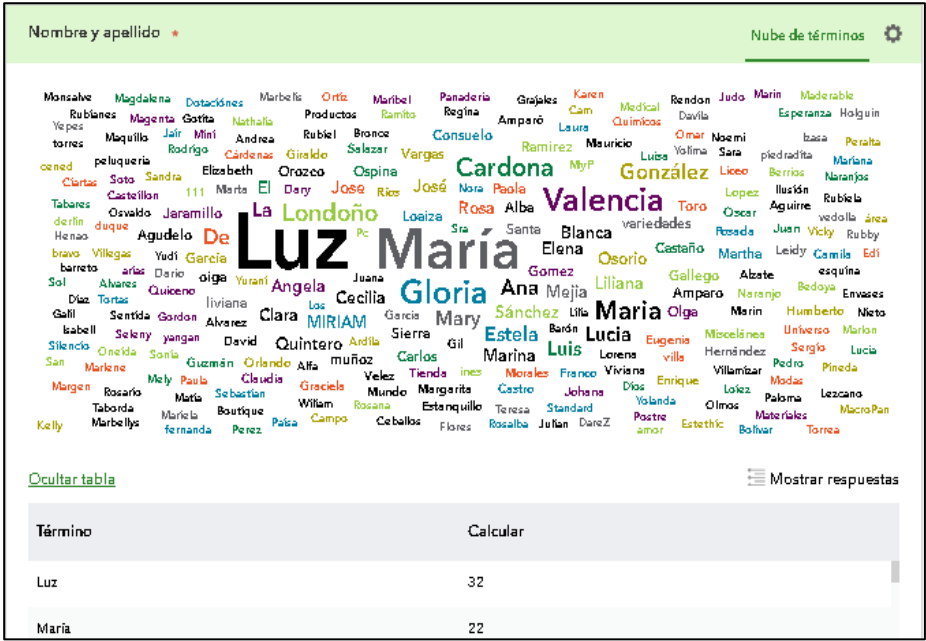


FIGURA 4 REGISTRO DE DOCUMENTO DE IDENTIDAD

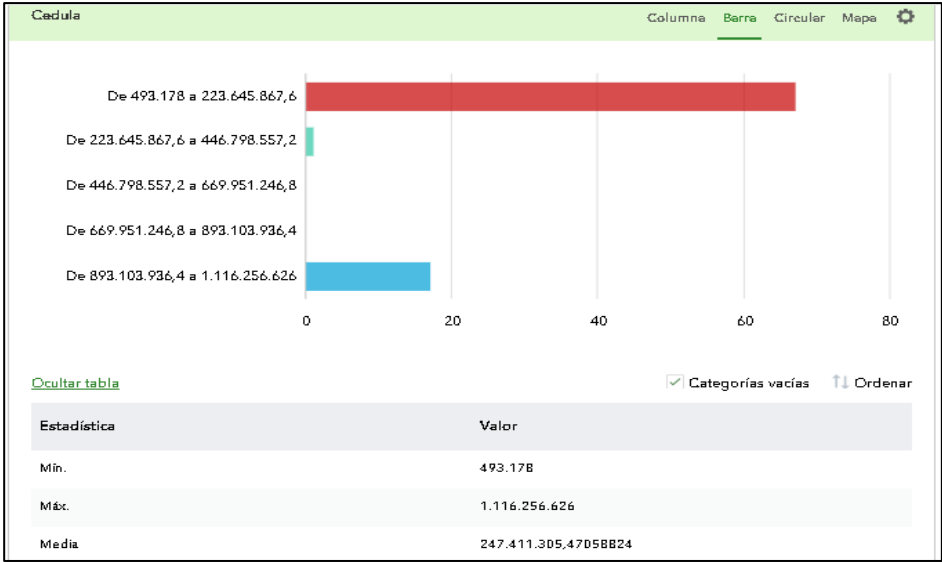
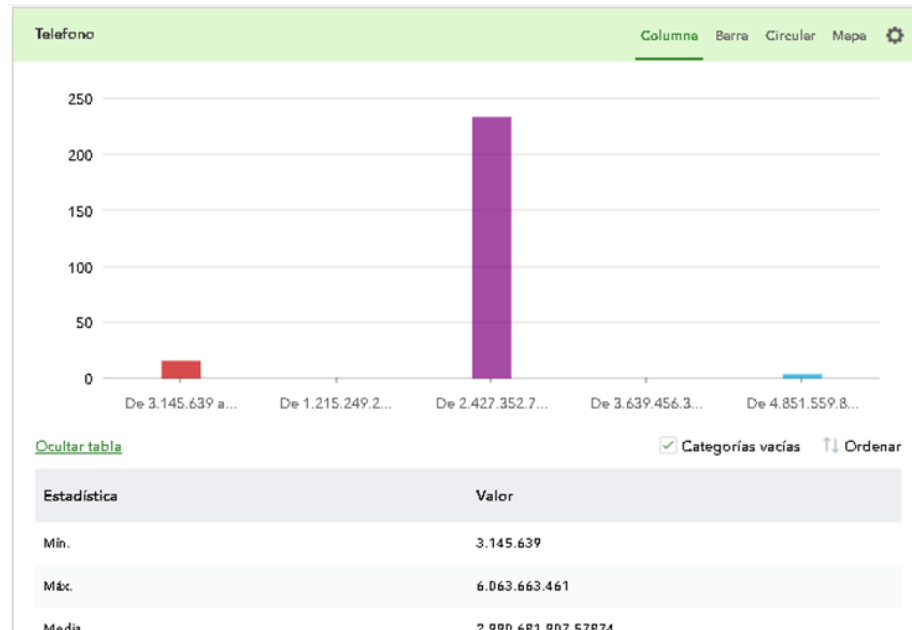
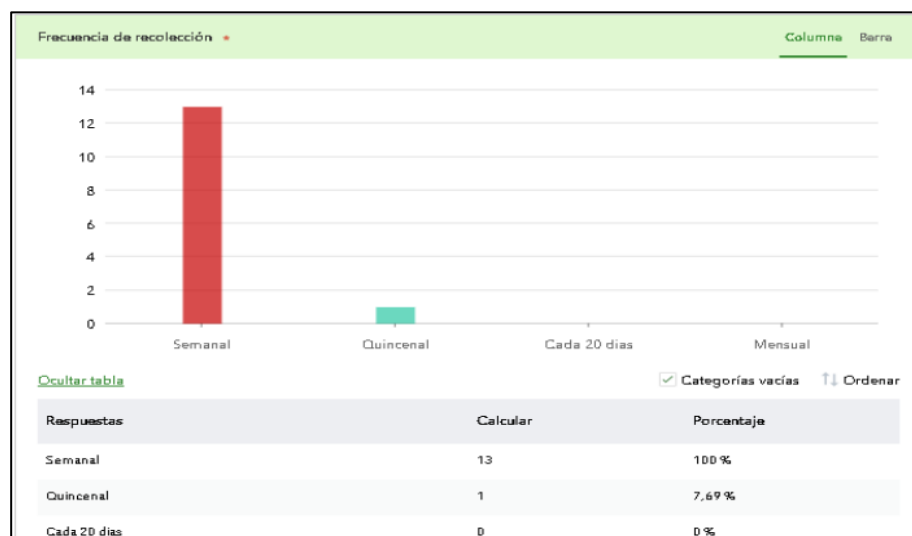


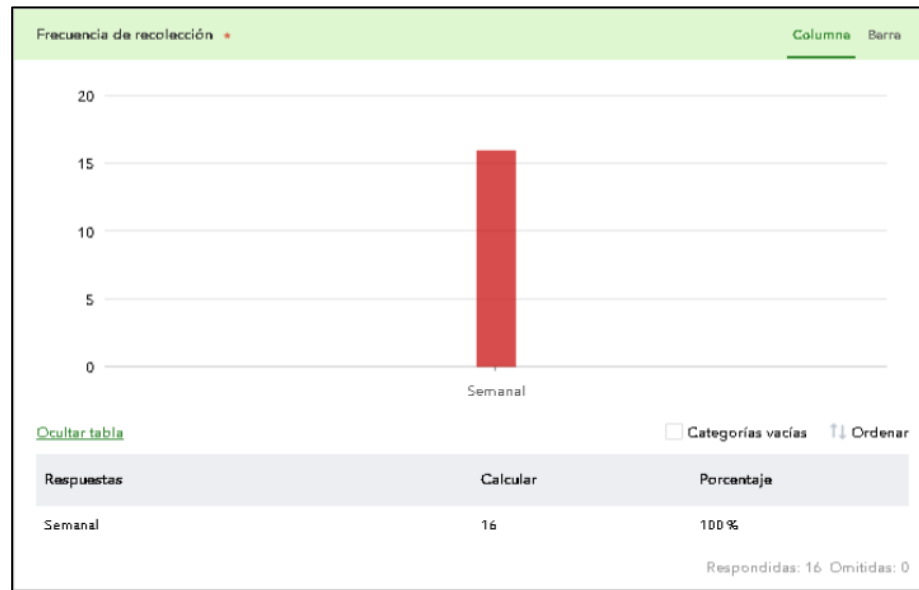
FIGURA 5 REGISTRO DE NÚMERO TELEFÓNICO

El número telefónico permite la creación de grupos de WhatsApp para elaboración de campañas de sensibilización ambiental.

FIGURA 6 FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN BARRIO PROVIDENCIA

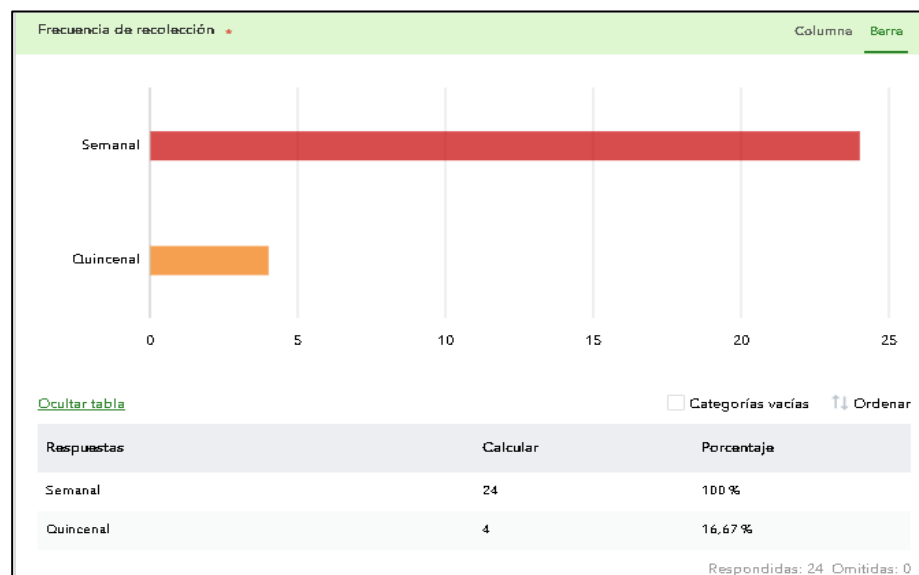
Se evidencia que de las 14 personas censadas solo el 7,69% respondieron que prefieren una recolección quincenal, mientras que el 92,85% prefieren una recolección semanal.

FIGURA 7 *FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN BARRIO BOSTON*



En el barrio Boston el 100% de los usuarios prefiere una recolección semanal

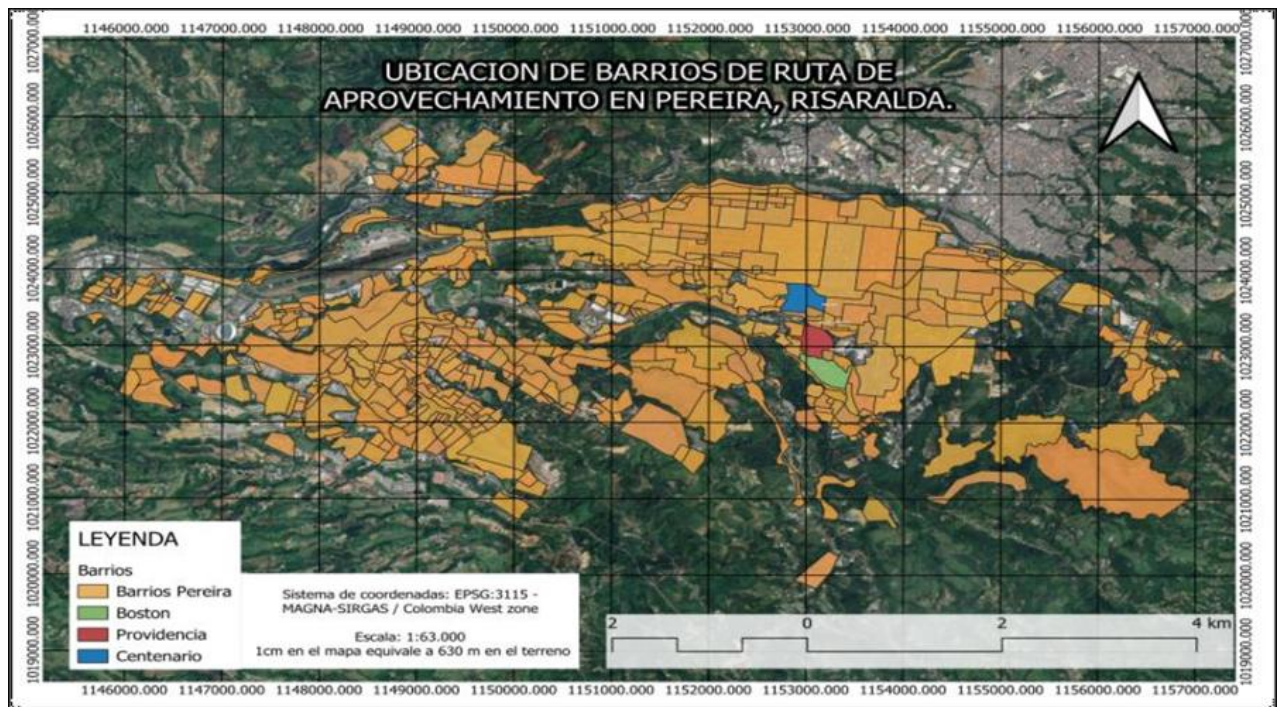
FIGURA 8 *FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN BARRIO CENTENARIO*



En el barrio Centenario el 85% de los habitantes prefiere una frecuencia de recolección semanal, mientras que el 14,2 % prefiere una frecuencia de recolección quincenal.

Las zonas de cobertura actuales, donde se presta el servicio de recolección son los barrios; Centenario, Providencia y Boston.

FIGURA 9 *MAPA DE UBICACIÓN DE BARRIOS DE RUTA DE APROVECHAMIENTO EN PEREIRA, RISARALDA.*



La Estación de Clasificación ECA se encuentra ubicada en el barrio Valher del municipio de Dosquebradas, con coordenadas geográficas 4.822695, -75.680821.

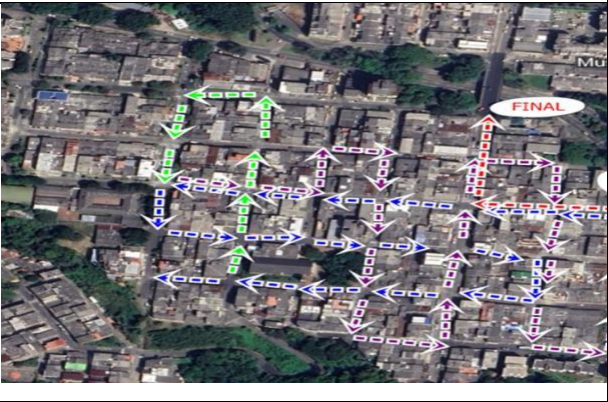
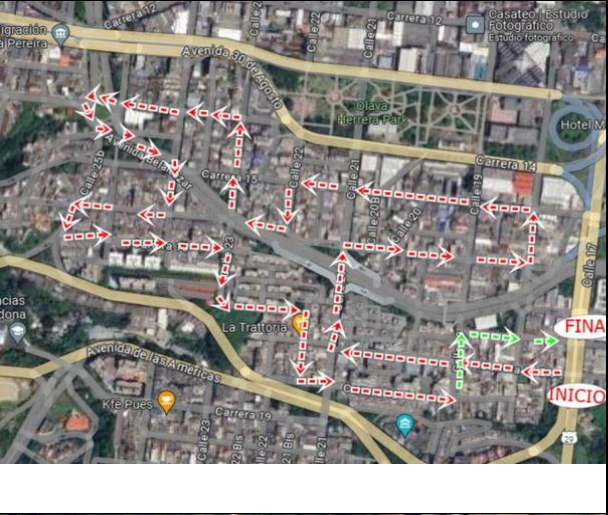
FIGURA 10 *MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIÓN DE CLASIFICACIÓN DE APROVECHAMIENTO*

Fase 2: Diagnosticar la situación actual de la recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia del municipio de Pereira, identificando rutas, frecuencia, volumen de residuos, actores involucrados y puntos críticos.

Actualmente se tienen asignadas micro rutas de recolección para cada uno de los barrios, estas fueron elaboradas de manera manual, sin tener en cuenta distancias entre usuarios, rutas más cortas de recolección, frecuencia y puntos críticos.

A continuación, se muestran los actuales recorridos en cada barrio y las distancias desde el punto de inicio al punto final de la ruta.

TABLA 1 INFORMACIÓN ACTUAL DE ZONAS DE ESTUDIO

Imagen Barrio	Información
	Barrio: Providencia Recorrido: 4.9 KILÓMETROS Dia de recolección: viernes Horario: de 8:30 am a 11:00 am Volumen de residuos: 40 kg
	Barrio: Centenario Recorrido: 4.3 KILÓMETROS Dia de recolección: viernes Horario: de 11:30 am a 12:30 pm y 1:30 pm a 2:30 pm Volumen de residuos: 75 kg
	Barrio: Boston Recorrido: 3.8 KILÓMETROS Dia de recolección: viernes Horario: de 2:30 am a 5:00 pm Volumen de residuos: 85 kg

- Actores involucrados

TABLA 2 *ACTORES INVOLUCRADOS*

Actor /Institución	Rol en el proyecto	Interés	Nivel de influencia	Participación esperada
Comunidad que entrega reciclaje	Proveedor principal del material aprovechable	Mejorar la eficiencia de la recolección y tener un servicio confiable	Medio	Participación en la separación y entrega de residuos
Secretaría de Desarrollo Rural Encargada del PGIRS (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos)	Institución articuladora de programas ambientales Supervisión y planificación de la gestión de residuos en la ciudad	Cumplir de políticas de desarrollo sostenible y gestión ambiental Implementar metas del PGIRS y garantizar sostenibilidad	Alto	Coordinación y apoyo técnico Dirección estratégica
ATESA	Empresa encargada de la recolección de residuos ordinarios	Mejorar la logística, reducir conflictos con rutas de reciclaje	Alto	Coordinación operativa

Superinten dencia de Servicios Públicos	Entidad de control y vigilancia	Garantiza r cumplimiento de normatividad	Alto	Supervisió n regulatoria
Empresa de vigilancia de rutas	Mo nitoreo y control de la ejecución	Optimizar eficiencia y cumplimiento de horarios	Med io	Segui miento y reporte

- Puntos críticos:

Los puntos críticos son las zonas de mayor concentración de usuarios como se presentan en las imágenes a continuación:

TABLA 3 *PUNTOS CRÍTICOS EN LAS ZONAS DE PRESTACIÓN*

Barrio Centenario: los puntos críticos se presentan en la zona occidental del barrio donde hay presencia de 7 usuarios en la misma área.

Barrio Providencia: En este barrio no se presentan puntos críticos, la distribución de los usuarios es uniforme



Barrio Boston: En la zona sur oriental del barrio se presenta un punto crítico donde se concentran 6 usuarios en la misma área.



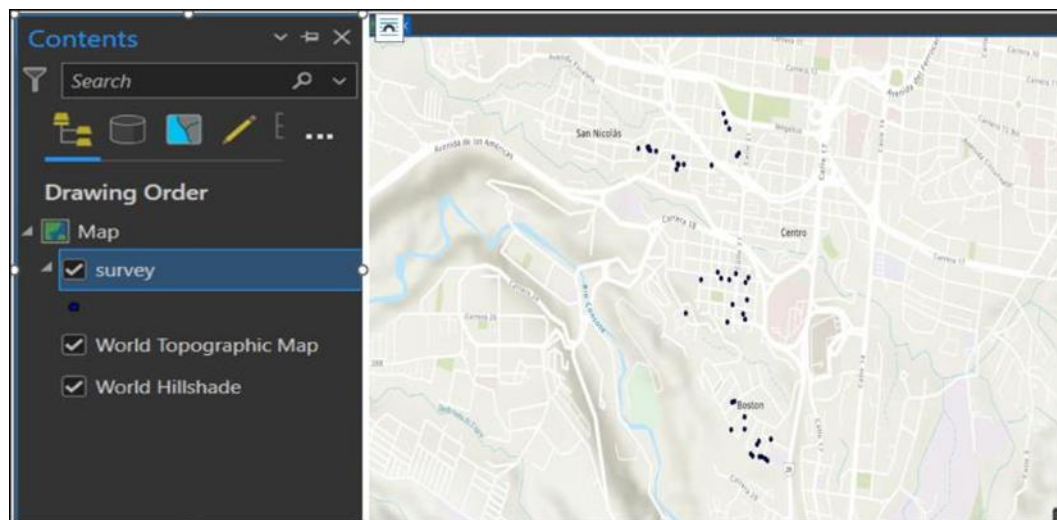
Fase 3: Aplicar herramientas geoinformáticas que integre variables como: tipo y cantidad de vehículos recolectores, horarios, tiempos de recorrido, distancias, cobertura, frecuencia y restricciones personalizadas.

A continuación, se presenta el paso a paso para la implementación de un modelo de optimización logística enfocado en la recolección de residuos aprovechables en los barrios Centenario, Providencia, y Boston de la ciudad de Pereira. Tomando en cuenta variables fundamentales como las rutas actuales, los costos operativos, las frecuencias de recolección y las características propias de cada zona de recolección. La metodología utilizada para la optimización de rutas, basada en el uso de Network Analyst de ArcGIS Pro, se centra en la reducción de tiempos de recorrido y costos asociados, asegurando al mismo tiempo que el modelo se ajuste a las condiciones locales y a las necesidades reales del servicio.

Procedimiento ArcGIS Pro

1. Cargue y contenido de mapas

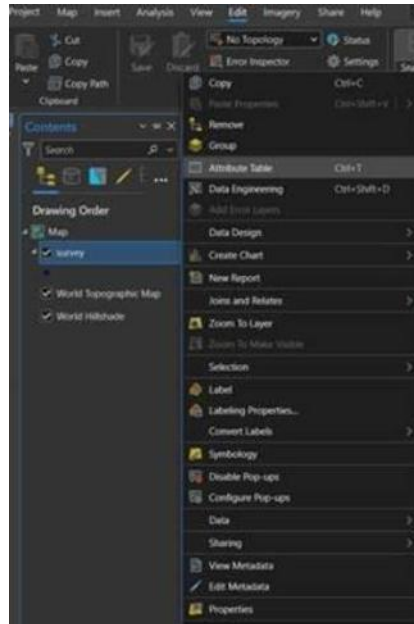
FIGURA 10 CONTENIDO DE MAPAS



Cargamos en el panel de "Contents" en ArcGIS Pro, donde se gestionan las capas del mapa. La capa activa llamada "survey" la cual está seleccionada y se visualiza en el mapa. Además, aparecen otras capas como "World Topographic Map" y "World Hillshade" que sirven como capas base para proporcionar contexto geográfico al mapa.

1. Edición y Acceso a la Tabla de Atributos

FIGURA 11 ACCESO TABLA DE ATRIBUTOS

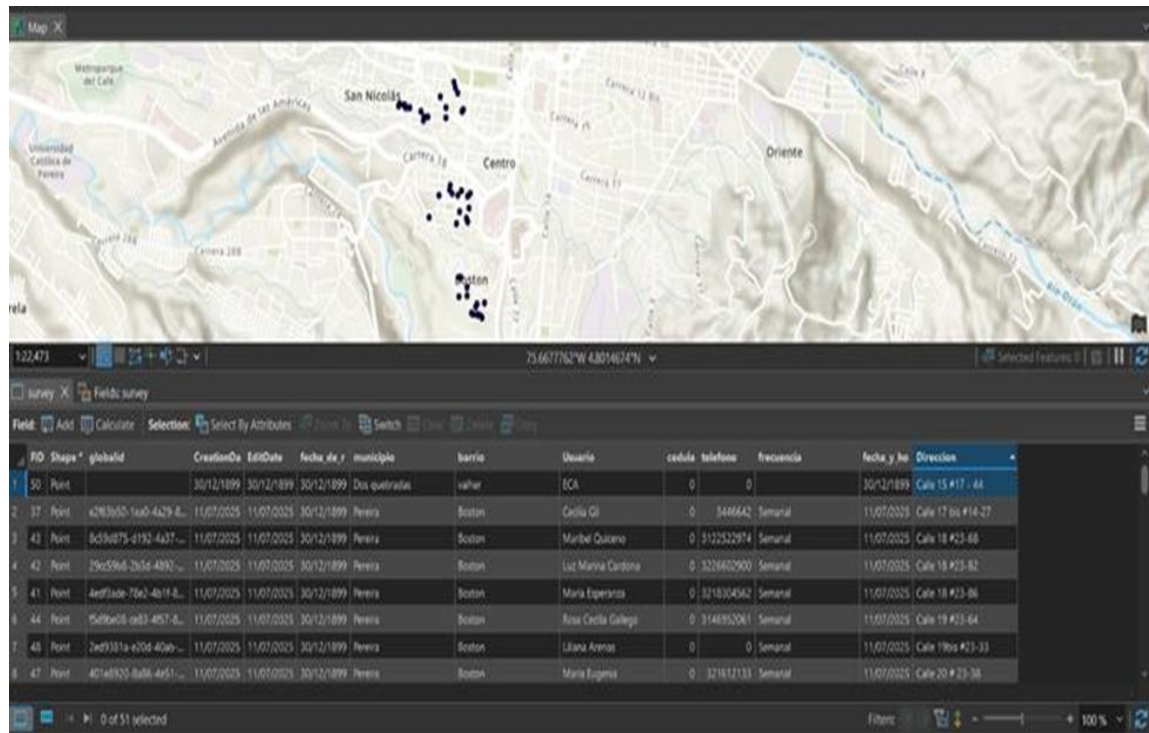


Gestionamos con el clic derecho sobre la capa, donde se ha seleccionado la opción "Attribute Table". Esto permite abrir y visualizar la tabla de atributos de la capa activa, en este caso, "survey".

Desde esta sección, podremos realizar edición directa sobre los datos asociados a los puntos en el mapa. Además, se tienen otras herramientas disponibles como "Data Engineering" para gestionar los datos, "Create Chart" para crear visualizaciones, y "Zoom To Layer" para ajustar la vista del mapa a la capa seleccionada. La tabla de atributos es esencial para revisar, modificar y analizar los datos que corresponden a cada punto geográfico.

2. Tabla de Atributos con Datos

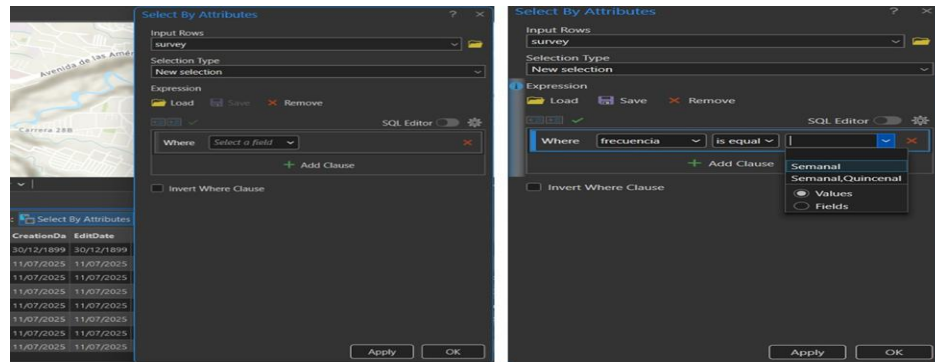
FIGURA 12 TABLA DE ATRIBUTOS CON DATOS



Se desplegará la tabla de atributos con los datos asociados a los puntos de la capa "survey". En esta tabla se presentan diferentes campos como FID, Shape, globalid, municipio, barrio, usuario, y otros atributos relacionados con la ubicación de cada punto. Los puntos en la tabla corresponden a los puntos visibles en el mapa, donde cada fila representa un punto geográfico con sus respectivos atributos. Esto permite hacer un análisis más detallado, como, por ejemplo, seleccionar puntos específicos en base a ciertos criterios (como el municipio o la frecuencia) y utilizar esta información para realizar el proceso de optimización de rutas.

3. Aplicación de filtro para frecuencia:

FIGURA 13 APLICACIÓN DE FILTRO



Accedemos a la tabla de atributos de la capa "survey", que contiene toda la información de los usuarios, sus ubicaciones y las rutas que deben seguir. Aquí, se utiliza la herramienta "Select by Attributes" para filtrar los datos según criterios específicos. Este filtro inicial permite extraer solo las filas que cumplen con las condiciones necesarias para el análisis posterior, como las ubicaciones de los usuarios o los puntos específicos de la ruta.

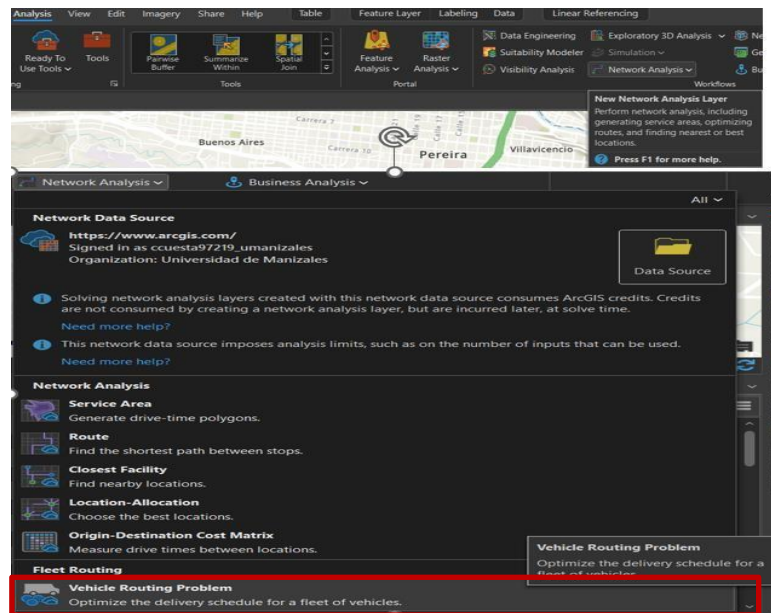
Identificaremos las ubicaciones y usuarios que formarán parte de las rutas de optimización. La herramienta "Select by Attributes" permite trabajar con filtros personalizados, lo que ofrece una gran flexibilidad al momento de elegir qué datos se utilizarán en las etapas siguientes del análisis.

Una vez seleccionados los atributos, se aplica un filtro de frecuencia en la tabla de atributos. Este filtro se basa en la frecuencia semanal o quincenal de servicio que los usuarios requieren. Aquí

se busca restringir aún más la selección de datos, de modo que solo se trabajen con aquellos usuarios que tienen un patrón de servicio periódico. Este paso es crucial porque permite centrarse en un subconjunto específico de usuarios que necesitan atención regular, ya sea semanal o quincenalmente. Este enfoque es importante cuando se optimizan rutas de vehículos, ya que permite que los análisis se realicen solo con los usuarios que tienen la misma frecuencia de atención, haciendo el proceso de optimización mucho más efectivo.

4. Selección de la herramienta "Vehicle Routing Problem":

FIGURA 14 SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS

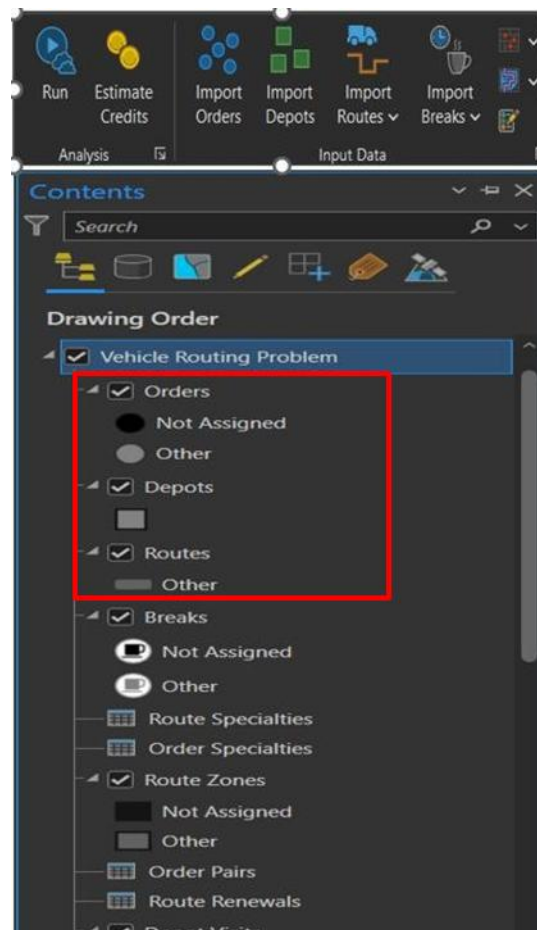


A continuación, seleccionaremos la herramienta "Vehicle Routing Problem", que pertenece al conjunto de herramientas de Network Analysis. Esta herramienta es la que se utilizará para optimizar las rutas de los vehículos que deben atender a los usuarios previamente seleccionados.

En este paso, se configura la herramienta para que utilice los datos de ubicación y frecuencia como base para calcular las rutas más eficientes.

5. Configuración de "Vehicle Routing Problem" en la tabla de contenidos:

FIGURA 15 CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTA



Una vez seleccionada la herramienta "Vehicle Routing Problem", se despliega en la tabla de contenidos de ArcGIS Pro, donde se pueden ver opciones como orders (órdenes), depots (depósitos) y routes (rutas). Estos elementos son fundamentales para configurar correctamente el análisis de rutas. Las que priorizaremos en este caso son:

Orders (Órdenes): Representan las ubicaciones de los usuarios que deben ser atendidos. Cada orden corresponde a una tarea que el vehículo debe completar (por ejemplo, entregar un servicio o producto).

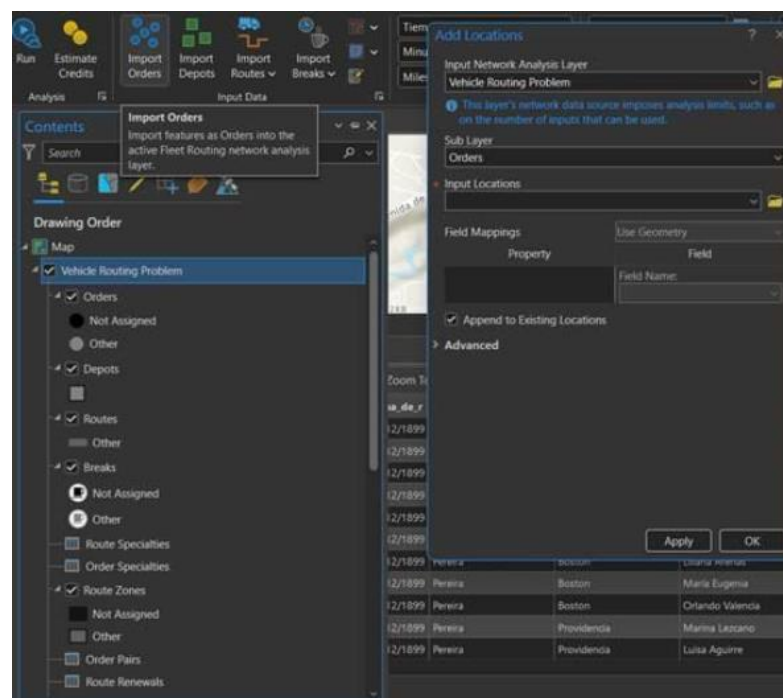
Depots (Depósitos): Son los puntos de inicio para las rutas de los vehículos, donde se "cargan" antes de salir a realizar las entregas o servicios.

Routes (Rutas): Son las trayectorias que los vehículos deben seguir para cumplir con las órdenes.

En este paso, se organizarán los elementos clave para la optimización de las rutas, asegurando que cada uno esté correctamente asignado a su categoría correspondiente (órdenes, depósitos, rutas). Esta configuración garantiza que el proceso de optimización funcione correctamente, y se deben definir bien los elementos desde el inicio para que el modelo funcione correctamente.

6. Importación de órdenes:

FIGURA 16 IMPORTACION DE ORDENES



La siguiente acción importante es importar las órdenes, que en este caso corresponden a las ubicaciones de los usuarios seleccionados previamente. Para esto, se hace clic derecho en "Import Orders" dentro de la herramienta Vehicle Routing Problem.

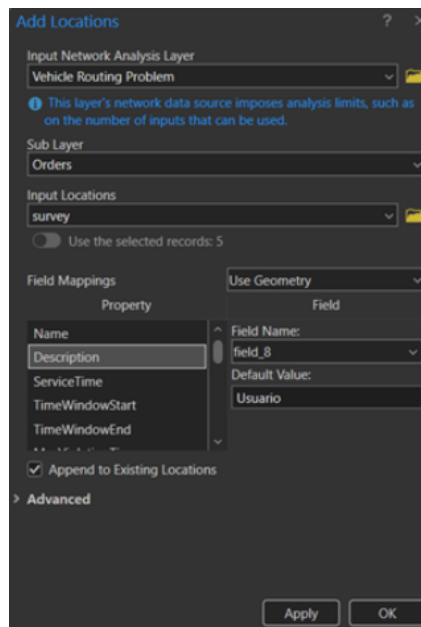
Este paso es crucial porque conecta directamente las ubicaciones de los usuarios (de la capa survey) con el análisis de rutas. La importación de las órdenes asegura que las ubicaciones de los

usuarios se incorporen correctamente en el modelo de optimización. Además, esta importación se realiza respetando los criterios de selección definidos anteriormente, como la frecuencia de servicio.

Este paso es el puente entre la selección de datos y la creación de rutas efectivas, y se asegura de que solo se utilicen las ubicaciones de los usuarios que cumplen con las condiciones especificadas (frecuencia semanal o quincenal).

7. Selección de la capa "survey" como órdenes:

FIGURA 17 CAPA “SURVEY”



En esta fase, se selecciona la capa "survey" como la fuente de las ubicaciones de las órdenes. Aquí, se define específicamente el campo que corresponde a los usuarios de la capa survey, lo que permite que las ubicaciones sean correctamente mapeadas en el proceso de optimización.

Seleccionar la capa correcta y el campo correspondiente es vital para asegurar que las órdenes estén correctamente alineadas con las ubicaciones de los usuarios. Este paso no solo conecta los datos de los usuarios con las rutas de los vehículos, sino que también define cómo deben tratarse las ubicaciones de los usuarios dentro del análisis.

Al asignar correctamente los datos de la capa survey, se garantiza que las ubicaciones de los usuarios sean procesadas adecuadamente en el siguiente paso de la optimización de rutas.

8. Ubicación del Punto o Estación de Recuperación

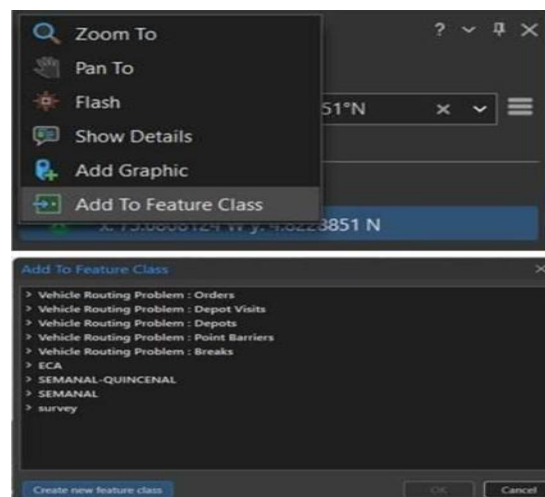
FIGURA 18 UBICACIÓN DE PUNTO O ESTACION DE RECUPERACIÓN



Se Inicia el proceso identificando el punto de recuperación en el mapa. Este será el punto de inicio y fin para la ruta de recolección. Se utilizará la herramienta de localización en ArcGIS Pro para colocar el punto de acopio de forma precisa en el mapa. Asegúrate de que este punto sea visible y accesible, ya que será fundamental para establecer la base de la ruta y los límites del recorrido. Una vez que se haya ubicado el punto de acopio en el mapa, copia las coordenadas de esa ubicación. Haz clic derecho sobre el punto de acopio y selecciona "Copy Coordinates". Esto te proporcionará las coordenadas geográficas exactas (latitud y longitud), lo que garantiza que el punto se ubicará correctamente en el mapa para su posterior análisis y creación de rutas.

9. Crear la Clase o Shape de Puntos

FIGURA 19 CREACIÓN DE CLASE O SHAPE DE PUNTOS

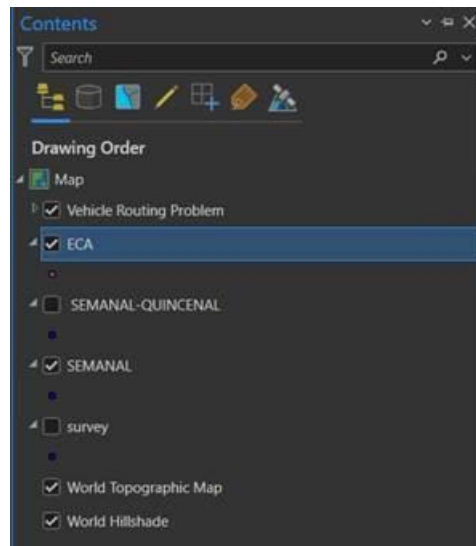


A continuación, crea una clase de entidad (Feature Class) en ArcGIS Pro. Este paso consiste en transformar el punto de acopio en una entidad espacial que será almacenada dentro de una capa

en el mapa. Utiliza las coordenadas copiadas en el paso anterior para definir con precisión la ubicación del punto. Esta capa será utilizada para el análisis de la ruta y debe ser incluida dentro del mapa, lo que permitirá realizar los ajustes necesarios más adelante.

10. Agregar la ECA a la Tabla de Contenidos

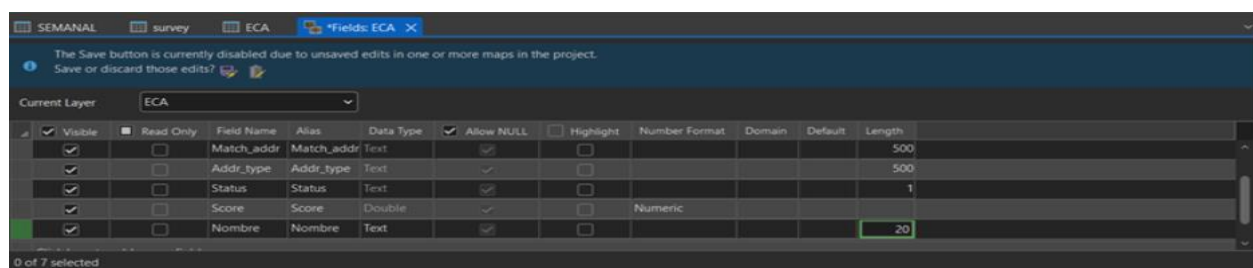
FIGURA 20 AGREGAR ECA A TABLA DE CONTENIDO



Después de crear la capa para el punto de acopio (ECA), se agregará esta capa a la Tabla de Contenidos del proyecto. Esto garantizará que el punto de acopio sea visible y accesible en todo momento mientras trabajas en el análisis de la ruta. La Tabla de Contenidos es una herramienta esencial para gestionar las capas del proyecto, permitiendo un fácil acceso y manipulación de la capa creada.

11. Creación y Guardado de Atributos

FIGURA 21 CREACIÓN DE ATRIBUTOS



En esta etapa, agregaremos los atributos necesarios a la capa de la ECA. Accede a la tabla de atributos de la capa y crea una celda con el nombre "ECA Dosquebradas". Esto es importante

porque te permitirá asociar información descriptiva al punto de acopio, lo cual será útil en las siguientes fases del análisis. Guarda estos cambios para asegurarte de que la capa contenga la información necesaria para la optimización de la ruta.

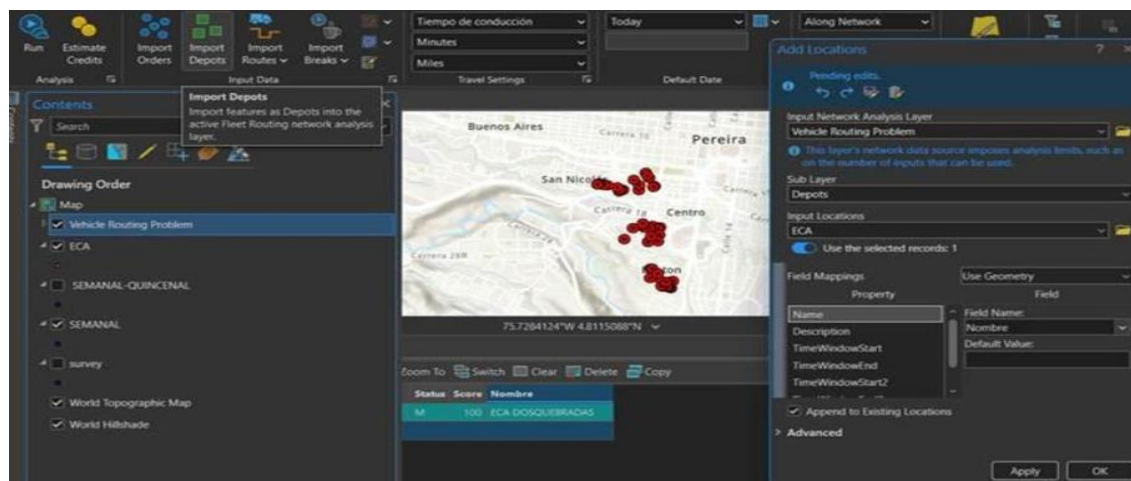
FIGURA 22 AGREGA ATRIBUTOS A CAPA ECA

	OBJECTID *	Shape *	Match_addr	Addr_type	Status	Score	Nombre
1	1	Point	x: 75.6808124 W y: 4.8...	LongLat Point	M	100	ECA DOSQUEBRADAS

Click to add new row.

12. Agregar el Depósito a la Ruta

FIGURA 23 AGREGAR DEPOSITO A LA RUTA



Ahora, importar el depósito que servirá como el punto de inicio y llegada de la ruta de recolección. El depósito es esencial porque define el inicio y el final del recorrido. Nos aseguraremos de importar correctamente la ubicación del depósito y asociarla con el análisis de rutas en ArcGIS Pro. Esto permitirá que la optimización de la ruta tenga un punto de referencia claro, lo cual es crucial para su ejecución eficiente.

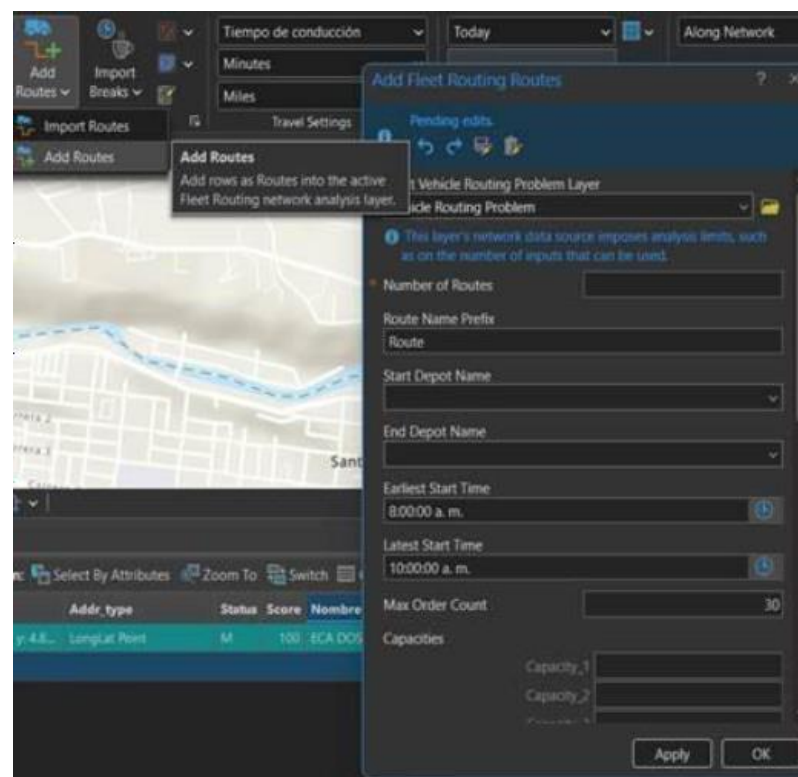
Capa de Análisis de Red de Entrada: Se selecciona el "Problema de Enrutamiento de Vehículos" como la capa para el análisis de red, lo que indica que esta es la capa utilizada para optimizar la ruta.

Subcapa: Se elige la subcapa "Depots", que representa los puntos de inicio o lugares donde los vehículos comienzan la ruta.

Ubicaciones de Entrada: Se selecciona "ECA" como la ubicación que se agregará, lo que representa el punto o lugar que deben ser incluidos en el proceso de optimización de la ruta (pueden ser paradas de recolección de residuos, puntos de entrega u otros lugares de interés).

13. Creación de la Ruta Optimizada

FIGURA 24 RUTA OPTIMIZADA



Una vez que el punto de acopio y el depósito están ubicados correctamente en el mapa, el siguiente paso es crear la ruta optimizada. Este paso es clave, ya que el objetivo es asegurar que el recorrido de recolección se haga de la forma más eficiente posible, minimizando el tiempo y los recursos utilizados.

Pasos:

1. Abrir la herramienta de optimización de rutas: En ArcGIS Pro, nos dirigimos a las herramientas de Network Analyst. Aquí encontraremos las opciones para crear rutas, optimizar recorridos y calcular las mejores rutas de recolección.

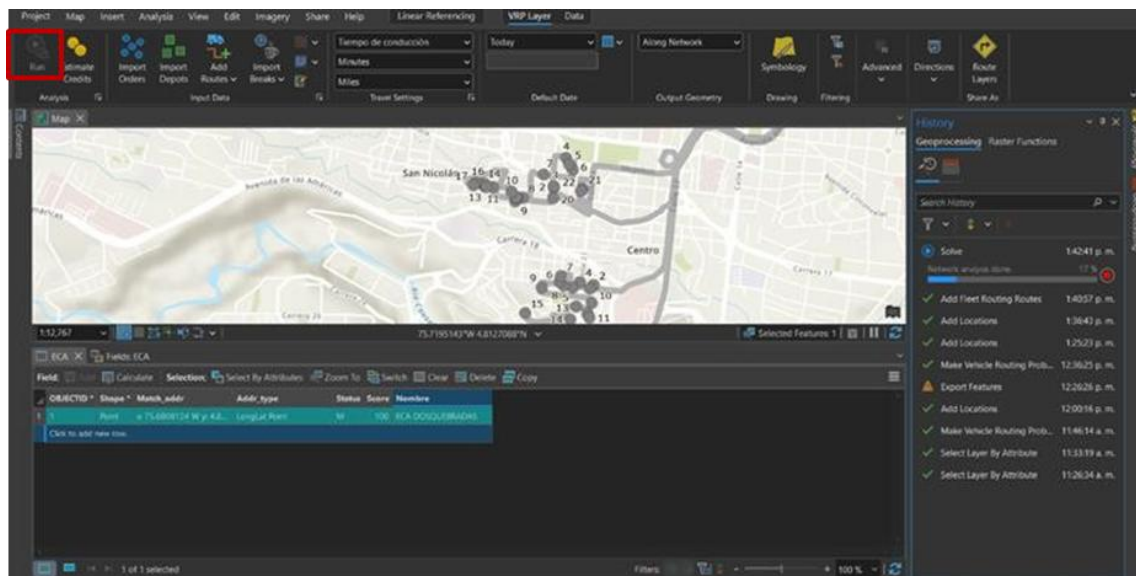
2. Configurar los parámetros de la ruta:

. Punto de inicio: El depósito que importamos en el paso anterior se establece como el punto de inicio de la ruta (ECA).

. Punto de finalización: El punto de acopio (ECA) también será el punto de finalización. En este caso, la ruta debería retornar al punto de acopio después de haber completado la recolección.

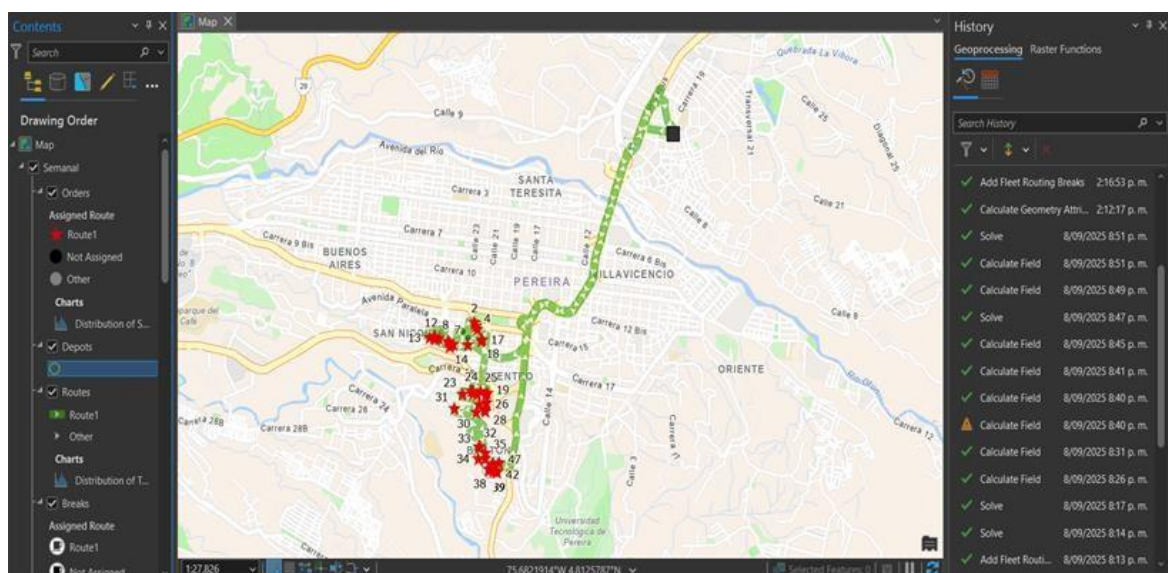
. Parámetros de optimización: Establece los parámetros de optimización, como el número de camiones disponibles, el tiempo de recolección, la capacidad de cada camión, y otros criterios operativos que puedan afectar la ruta. Esto asegurará que el sistema pueda generar la mejor ruta posible según los recursos disponibles.

14. Generar la ruta

FIGURA 25 GENERAR RUTAS

Utilizaremos la herramienta de "Solve" para calcular la ruta optimizada. Este paso ejecuta el algoritmo de optimización, que evalúa las distancias, los tiempos de recolección y las capacidades de los camiones para generar el recorrido más eficiente.

15. Revisión de la ruta generada

FIGURA 26 REVISIÓN DE RUTAS

Una vez que se genere la ruta, revisaremos el recorrido en el mapa. Nos aseguraremos de que el camino sea lógico, eficiente y que cubra todos los puntos de recolección necesarios, manteniendo la proximidad al depósito y evitando rutas innecesarias.

16. Ajuste y validación

Si es necesario, realiza ajustes manuales a la ruta optimizada. A veces, el algoritmo de optimización puede generar rutas que, aunque eficientes desde el punto de vista algorítmico, pueden no ser las más adecuadas para las condiciones del terreno o el tráfico en tiempo real. Ajusta la ruta según sea necesario.

17. Configuración de la frecuencia de la ruta

En este caso, la ruta se ejecutará semanalmente. Asegúrate de configurar la ruta para que se repita de acuerdo con el horario de recolección que desees. Esto puede incluir la frecuencia de recolección y los días de la semana, lo cual es útil para planificar las rutas de recolección en función de los días y horas de mayor demanda.

18. Guardar y documentar

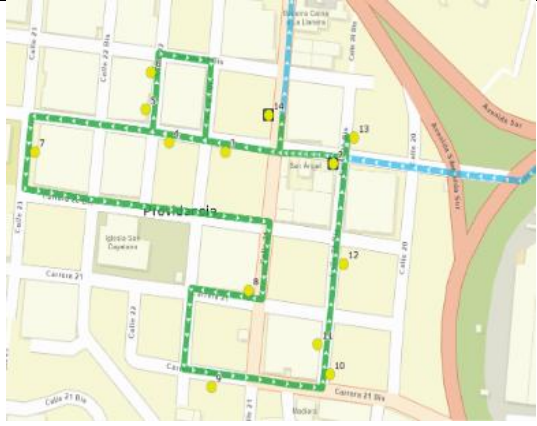
Una vez que se haya optimizado la ruta, se procederá a guardar los resultados dentro del proyecto de ArcGIS Pro, y se documentarán todas las variables y parámetros empleados durante el proceso de optimización. Esto permitirá replicar la ruta en el futuro o realizar los ajustes necesarios, en caso de ser requerido. Es importante señalar que los parámetros establecidos incluyen el tiempo en camión, con los resultados expresados en horas y kilómetros. Asimismo, todos los valores generados por la herramienta Network Analysis se presentan en formato decimal para asegurar una mayor precisión (ver imagen de referencia).

FIGURA 27 VALORES GENERADOS

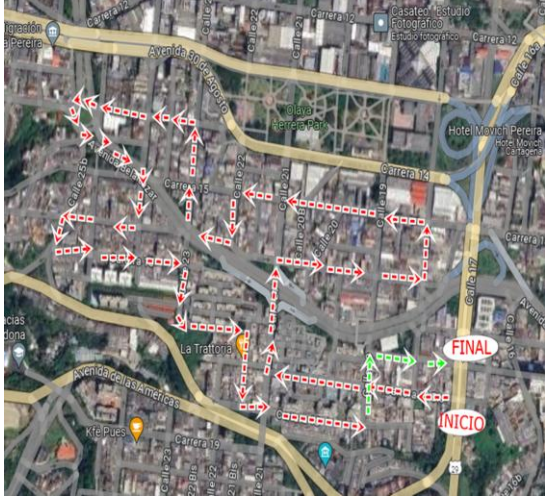
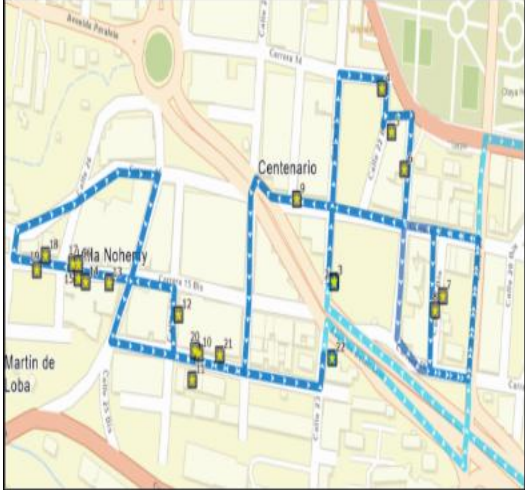
TotalTime	TotalOrderServiceTime	TotalBreakServiceTime	TotalTravelTime	TotalDistance	StartTime	EndTime
1.121934	1.04	0	0.081934	1.124366	5/10/2025 8:00:00 a. m.	5/10/2025 9:07:19 a. m.

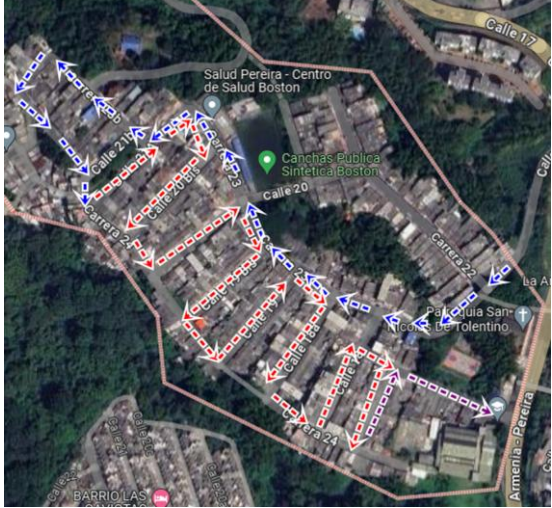
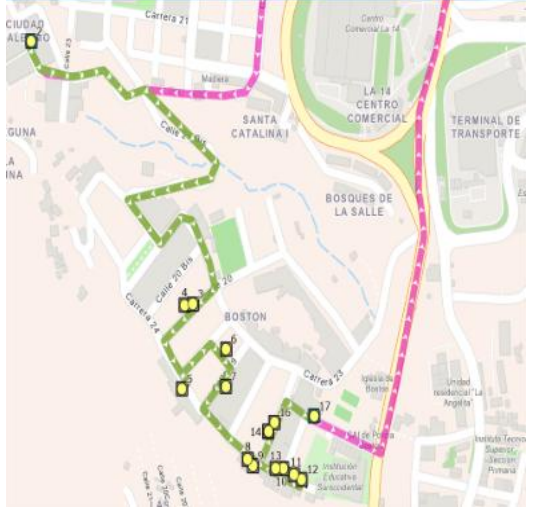
Matriz comparativa:

TABLA 4 MATRIZ COMPARATIVA

Barrio Providencia	
Ruta actual	Ruta Optimizada
	
Recorrido: 4.9 KILÓMETROS Día de recolección: viernes Horario: de 8:30 am a 11:00 am Tiempo total: 2 h 30 min Volumen de residuos: 40 kg	Recorrido: La distancia total recorrida fue de 1.12 km, comprendida desde el primer punto de servicio (punto 2) hasta el último ubicado en el barrio Providencia Punto 14. La herramienta permitió precisar y optimizar el recorrido, logrando una reducción significativa en la distancia recorrida y contribuyendo a mejorar la eficiencia y los resultados operativos. Día de recolección: viernes Tiempo total: 1.121934 h, para conocer el valor en Horas se obtiene tomando la parte entera del número. 1.121934 h tiene 1 hora. Minutos: Para obtener los minutos, toma el decimal restante y multiplícalo por 60. En este caso,

	$0.121934 * 60 = 7.31604$ minutos, lo que se aproxima a 7 minutos. Segundos: Toma el decimal restante de los minutos y multiplícalo por 60. $0.31604 * 60 = 18.96$ segundos, aproxima a 19 segundos. Resultado: 1 h 7 min 19 s. Este valor representa el tiempo total de la ruta, que incluye tanto el tiempo de servicio como el tiempo de viaje. Está expresado en horas, lo que significa que toda la operación de la ruta, desde el inicio hasta el final del recorrido dentro de los Barrios. Tiempo de servicio: (1.04 h) 1 h 2 min 24 s. Este valor es el tiempo de servicio total en la ruta, es decir, el tiempo dedicado a realizar el servicio en cada parada o cliente. (0.08 h) 5 minutos por parada. Tiempo de viaje total: (0.081934 h) 4 min 55 s. Este valor representa el tiempo de viaje total entre las paradas de la ruta, es decir, el tiempo que el vehículo pasa viajando de un punto a otro, sin contar el tiempo de servicio. StartTime (8:30:00 a.m.): La hora de inicio de la ruta o servicio, que a las 8:30 AM.
--	--

	EndTime (9:37:19 a.m.): La hora de finalización de la ruta o servicio, fue a las 9:37 AM.
Barrio Centenario	
Ruta actual	Ruta Optimizada
	
Recorrido: 4.3 KILÓMETROS Día de recolección: viernes Horario: de 11:30 am a 12:30 pm y 1:30 pm a 2:30 pm Tiempo total: 2 h Volumen de residuos: 75 kg	Recorrido: La distancia total recorrida fue de 2.25 km, comprendida desde el primer punto de servicio (punto 2) hasta el último ubicado en el barrio Centenario Punto 22. La herramienta permitió precisar y optimizar el recorrido, logrando una reducción significativa en la distancia recorrida y contribuyendo a mejorar la eficiencia y los resultados operativos. Tiempo total: (1.813933 h) 1 h 48 min 50 s Tiempo de servicio: (1.68 h) 1 h 40 min 48 s

	Tiempo de viaje total: (0.133933 h) 8 min 2 s Hora de inicio: La ruta o servicio, fue a las 11:30 AM. Hora de finalización: La ruta o servicio, fue a las 2:18 PM.
Barrio: Boston	
Ruta actual	Ruta Optimizada
	
Recorrido: 3.8 KILÓMETROS Día de recolección: viernes Horario: de 2:30 pm a 5:00 pm Tiempo total: 2 h 30 min Volumen de residuos: 85 kg	Recorrido: La distancia total recorrida fue de 1.46 km, comprendida desde el primer punto de servicio (punto 2) hasta el último ubicado en el barrio Boston Punto 17. La herramienta permitió precisar y optimizar el recorrido, logrando una reducción significativa en la distancia recorrida y contribuyendo a mejorar la eficiencia y los resultados operativos. Tiempo total: (1.377057 h) 1 h 22 min 37 s

	Tiempo de servicio: (1.28 h) 1 h 16 min 48 s Tiempo de viaje total: (0.097057 h) 5 min 49 s Hora de inicio: La ruta o servicio, fue a las 2:30 PM. Hora de finalización: La ruta o servicio, fue a las 3:52 PM.
--	---

TABLA 5 RESULTADOS Y PRODUCTOS ESPERADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivos	Resultados	Indicador	Beneficiario
1.Recolección y sistematización de información espacial de los puntos de generación de residuos aprovechables, estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECA) y zonas de cobertura actuales	* Se obtuvo base de datos con información de 53 usuarios, que entregan material aprovechable a la ruta de reciclaje. * Georeferenciación de usuarios * Mapeo de zonas de cobertura.	Cobertura=Usuarios estimados totales / Usuarios registrados $\times 100$ 53 usuarios registrados / 53 estimados = 100 % de cobertura. Usuarios georeferenciados=Usuarios registrados/Usuarios con coordenadas $\times 100$ si 53 de 53 tienen coordenadas $\rightarrow$ 100 % georeferenciados.	Usuario y empresa prestadora.

2. Diagnosticar la situación actual de la recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia del municipio de Pereira, identificando rutas, frecuencia, volumen de residuos, actores involucrados y puntos críticos.	* Mapas de microrutas actuales de aprovechamiento, distancias recorridas, cantidad de residuos recibidos, tiempo de desplazamiento, frecuencia, * Mapa con puntos críticos en cada barrio	$\text{Eficiencia} = \frac{\text{km recorridos}}{\text{kg de residuos aprovechables}}$ $\text{Tiempo promedio} = \frac{\text{Número de usuarios atendidos}}{\text{Tiempo total de desplazamiento (min)}}$ $\text{Proporción} = \frac{\text{Total de barrios}}{\text{Barrios con puntos críticos}} \times 100$	Usuario y empresa prestadora.
3. Diseñar un modelo de optimización logística usando herramientas de SIG que integre variables como: tipo y cantidad de vehículos recolectores, horarios, tiempos de recorrido, distancias, cobertura, frecuencia y restricciones personalizadas.	*Modelos de optimización logística	$\text{Utilización} = \frac{\text{Vehículos disponibles}}{\text{Vehículos en operación}} \times 100$ $\text{Reducción de distancia} = \frac{\text{Distancia inicial} - \text{Distancia optimizada}}{\text{Distancia inicial}} \times 100$ $\text{Reducción de tiempo} = \frac{\text{Tiempo inicial} - \text{Tiempo optimizado}}{\text{Tiempo inicial}} \times 100$	Empresa prestadora.

		$\text{Cobertura} = \frac{\text{Usuarios atendidos}}{\text{Usuarios totales}} \times 100$	
--	--	---	--

11. Discusión

La discusión constituye el análisis crítico e interpretativo de los resultados obtenidos, a partir de las preguntas de investigación y los objetivos planteados. En este caso, se partió del interrogante:

La discusión de los resultados se fundamenta en el análisis del trabajo de campo realizado en los barrios Boston, Centenario y Providencia, así como en el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos planteados en la investigación.

El trabajo de campo constituyó un componente fundamental del proceso metodológico, ya que permitió identificar directamente aquellos usuarios que efectivamente entregan material reciclable a la ruta selectiva. A través de la observación en sitio y el acompañamiento a los recorridos, fue posible reconocer patrones reales de participación ciudadana, ubicación de generadores frecuentes y dinámicas territoriales que no se evidencian únicamente mediante información secundaria o cartográfica.

No obstante, la experiencia en terreno evidenció que el levantamiento de información no puede limitarse a una única jornada de registro. Una sola pasada no permite capturar la totalidad de los usuarios que entregan material aprovechable, debido a factores como la variabilidad en los horarios de disposición, cambios en la frecuencia de entrega, condiciones climáticas y dinámicas propias de cada barrio. En consecuencia, el registro inicial representa una aproximación parcial, por lo que se requiere realizar múltiples recorridos en diferentes días y franjas horarias para obtener una base de datos más completa y representativa.

Adicionalmente, durante el trabajo de campo se identificó que no todos los usuarios están dispuestos a suministrar información personal o datos relacionados con la cantidad y tipo de residuos que generan, esta resistencia puede estar asociada a desconfianza, desconocimiento del proceso o percepciones erróneas frente al uso de la información. Esta situación introduce un margen de error en el registro, generando posibles subestimaciones en la cantidad real de generadores activos dentro del área de estudio.

En relación con el **primer objetivo específico**, orientado a recolectar y sistematizar información espacial sobre los puntos de generación de residuos aprovechables, estaciones de clasificación y aprovechamiento (ECA) y zonas de cobertura actuales, el trabajo de campo permitió consolidar una base de datos geográfica estructurada y georreferenciada. Durante esta fase se identificaron inconsistencias en la información existente, especialmente en la ubicación exacta de algunos puntos de recolección y en la delimitación real de las zonas de cobertura. La sistematización en ArcGIS Pro permitió depurar, organizar y estandarizar los datos, lo que evidenció la importancia de contar con información espacial actualizada y precisa para cualquier proceso de optimización logística. Este resultado demuestra que, sin una base geográfica confiable, la planificación de rutas resulta limitada y poco eficiente.

Respecto al **segundo objetivo específico**, enfocado en diagnosticar la situación actual de la recolección de residuos aprovechables, el análisis permitió identificar problemáticas concretas: duplicidad de trayectos, recorridos extensos sin una secuencia lógica, frecuencia no estandarizada en algunos sectores y puntos críticos con alta generación de residuos no priorizados adecuadamente. Este diagnóstico permitió comprender que la planificación tradicional carece de criterios espaciales integrados, lo cual genera mayores tiempos de recorrido, incremento en costos operativos y menor cobertura efectiva. En este sentido, el trabajo de campo no solo permitió validar la información cartográfica, sino también contrastarla con la realidad operativa del territorio.

En cuanto al **tercer objetivo específico**, relacionado con la aplicación de herramientas geoinformáticas que integraran variables logísticas y operativas (tipo y cantidad de vehículos, horarios, tiempos, distancias, cobertura, frecuencia y restricciones), los resultados obtenidos mediante la modelación en ArcGIS Pro y Network Analyst evidenciaron mejoras sustanciales. La optimización permitió reducir distancias recorridas, organizar secuencias más eficientes y minimizar la superposición de rutas. Además, la incorporación de restricciones personalizadas permitió adaptar el modelo a las condiciones reales del servicio, haciendo la propuesta más viable y ajustada al contexto local. Esto confirma que la integración de variables espaciales, temporales y operativas en un entorno SIG supera ampliamente los métodos tradicionales de planificación.

Sin embargo, se identificaron desafíos que deben ser atendidos para garantizar la sostenibilidad del modelo. Entre ellos se encuentran la necesidad de mantener bases de datos geográficas actualizadas, capacitar al personal técnico y operativo en el uso de herramientas SIG, y promover una mayor articulación institucional entre las entidades responsables de la gestión de residuos. Estos factores resultan determinantes para la implementación exitosa del modelo y su replicabilidad en otros entornos urbanos.

En síntesis, los resultados confirman la pertinencia y efectividad de los Sistemas de Información Geográfica como herramienta de apoyo a la planificación logística del servicio público de aseo, consolidando una propuesta metodológica replicable, alineada con las políticas ambientales y los principios de la economía circular.

Conclusiones

Los resultados de la investigación permiten establecer conclusiones claras y coherentes con los objetivos propuestos y con el planteamiento del problema inicial:

Se logró demostrar que la aplicación de herramientas SIG optimiza la eficiencia logística del servicio de recolección de residuos aprovechables, al reducir tiempos de recorrido, distancias totales y costos operativos, confirmando la hipótesis alterna formulada.

La modelación geoespacial de rutas permitió establecer recorridos más racionales, evitar la duplicación de trayectos y priorizar zonas de mayor generación, fortaleciendo la cobertura y la planificación territorial del servicio.

La integración de criterios técnicos, sociales y ambientales en la planificación de rutas fomenta la sostenibilidad del sistema, mejora las condiciones laborales de los recicladores y contribuye al cumplimiento de las metas establecidas en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS).

El modelo propuesto es replicable y escalable, pudiendo aplicarse a otros contextos urbanos que enfrenten desafíos similares en materia de recolección selectiva y aprovechamiento de residuos.

La investigación aporta evidencia técnica y metodológica sobre la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica en la gestión pública, fortaleciendo la toma de decisiones basadas en datos y promoviendo prácticas sostenibles.

En conclusión, la hipótesis alterna se confirma al comprobar que el uso de SIG tiene un efecto positivo y medible en la eficiencia del sistema de recolección selectiva, contribuyendo a la sostenibilidad urbana y al fortalecimiento institucional.

La implementación de herramientas SIG, particularmente mediante ArcGIS Pro y Network Analyst, demostró ser una estrategia efectiva para optimizar las rutas de recolección de residuos aprovechables en los barrios Boston, Centenario y Providencia. La integración de variables espaciales, logísticas y operativas permitió reducir distancias, minimizar la duplicación de trayectos y mejorar la distribución de la carga de trabajo, confirmando que la planificación basada

en análisis geoespacial supera los métodos tradicionales en términos de eficiencia y organización del servicio

El trabajo de campo fue determinante para consolidar una base de datos geográfica ajustada a la realidad territorial, permitiendo identificar usuarios activos, puntos críticos y dinámicas operativas que no se evidencian únicamente desde el análisis cartográfico. Sin embargo, también puso en evidencia limitaciones como la necesidad de realizar múltiples jornadas de registro y la resistencia de algunos usuarios a suministrar información, lo que introduce márgenes de error. Esto demuestra que la actualización continua de datos y el fortalecimiento del componente social son condiciones esenciales para garantizar la precisión y sostenibilidad del modelo propuesto.

La optimización de rutas no solo genera beneficios logísticos y económicos, sino también impactos ambientales y sociales positivos. La reducción en el consumo de combustible y emisiones contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 11 y 12), mientras que la reorganización del servicio favorece condiciones más equitativas y seguras para los recicladores. En este sentido, la propuesta metodológica desarrollada constituye un modelo replicable para otros contextos urbanos, siempre que se garantice articulación institucional, capacitación técnica y actualización permanente de la información geográfica

Recomendaciones

Implementar herramientas de optimización de rutas:

Se recomienda adoptar de manera permanente el uso de programas especializados para la planificación de rutas de recolección. Como se evidencia en el modelo optimizado, el uso de software permite generar trayectos más directos y eficientes, reduciendo recorridos innecesarios y tiempos de desplazamiento.

Capacitación del personal operativo:

Es importante capacitar al personal encargado de la recolección en el uso de las nuevas rutas optimizadas, así como en la interpretación de los mapas generados por el programa. Esto facilitará la transición del método manual a la digital y garantizará la correcta ejecución en campo.

Monitoreo y evaluación continua:

Se sugiere establecer un sistema de seguimiento que permita comparar periódicamente los resultados de las rutas optimizadas frente a las rutas tradicionales, considerando indicadores como distancia total recorrida, tiempo de operación, consumo de combustible y cobertura del servicio.

Actualización de la información espacial:

Dado que las condiciones urbanas pueden variar (obras, cierres viales, cambios de sentido), se recomienda mantener actualizada la información geográfica empleada en el software de optimización para asegurar la validez de los resultados.

Extensión del modelo a otros sectores:

Tras comprobar la efectividad del modelo optimizado en el barrio Centenario, se recomienda replicar esta metodología en otros barrios o zonas de recolección, ajustando los parámetros según las características específicas de cada área.

Modelo sistemático:

Se recomienda la creación de un modelo sistemático en ArcGIS Pro (por ejemplo, mediante ModelBuilder) que permita automatizar los procesos de geoprocetamiento asociados a la gestión de la información, este modelo debe estructurarse de manera clara, parametrizada y

documentada, de tal forma que su ejecución no dependa constantemente de un profesional especializado en SIG.

Referencias

- Corrales Hidalgo, Y., & Velasquez Roque, A. O. (2024). Aplicación de técnicas SIG para mejorar la eficiencia en la recolección de residuos sólidos en el distrito de San Martín de Porres, 2023. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/39837/Corrales%20Hidalgo%20Yngrid%20%20Velasquez%20Roque%20Anggie%20Oshin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Masaguer, A., Vidal, L., Gómez Miguel, V., & Zárate, B. aplicación de sig en la gestión de residuos agrícolas y forestales en el estado de Oaxaca (México). *avances en la investigación sobre compost: materias primas, procesos, calidad y usos*, 47. <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/196/208>
- Cabral Antúnez, N., Wehrle, A., & Delgado, M. aplicación de sig para optimizar la recolección de residuos sólidos urbanos con servicios diferenciales en la cuenca del arroyo Ferreira. <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH1460-2-20190807-101941.pdf>
- Rosas Garibay, S. A. (2024). Aplicación de un sistema de información geográfica para la gestión ambiental de los residuos sólidos municipales del distrito de Ica, provincia de Ica, año 2022. <https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/49e42885-70db-434d-8bec-e90f5abfefef/content>
- Sierra, L. (2023). Integrando sistemas de teledetección y georreferenciación en la gestión de los residuos. *Innovare Revista de ciencia y tecnología*, 12(1-1), 38-40. <https://revistas.unitec.edu/innovare/article/view/266/313>
- Pérez, B. J. R., & Cerdán, P. A. (2014). Aplicación de las TIG para la Optimización de los Servicios de Recogida y Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Aspe (Alicante). *Asociación de Geógrafos Españoles: Madrid, Spain*. https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Prieto-Cerdan/publication/316216989_Aplicacion_de_las_TIG_para_la_optimizacion_de_los_servicios_de_recogida_y_gestion_de_los_residuos_solidos_urbanos_del_municipio_de_Aspe_Alicante
- Suarez Ramírez, A. W., Meza Brandan, A. M., & Vilela Maiz, J. F. (2023). El sistema integrado de gestión SIG para potenciar la gestión de residuos sólidos en la carretera tramo: puente Las Moras-Aeropuerto-Huachog en la ciudad de Huánuco.
- Campo, n. j. g. aplicación móvil para asistir el proceso de recolección de residuos aprovechables. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/7cbc4499-c75d-48ba-bdbf-b79cfe22bda9/content>
- Sánchez Gómez, J. E. (2021). Diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos implementando herramientas computacionales del sistema de información geográfica

- (SIG) ArcGIS en un municipio colombiano.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/flip/?pdf=/bitstreams/197c016e-996a-4a5b-a8b3-e70de047665c/download>
- Valdiviezo Zevallos, K. R., & Estrella Basilio, G. E. (2025). Optimización de rutas en la recolección y transporte de los residuos sólidos domiciliarios utilizando sistemas de información geográfica en el distrito de Chaupimarca–2023.
- Ardila Lara, M., Gutiérrez Gil, E., & Herrera Téllez, D. (s.f.). *ODS en Colombia: Los retos para.* de https://files.acquia.undp.org/public/migration/co/undp_co_PUBL_julio_ODS_en_Colombia_los_retos_para_2030_UNU.pdf
- Aguas Gómez, C. D., Rivera Berrio, H., & Posada Cuaba, J. C. (2024). *repository.unad.* de [repository.unad.:chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/62944/1/cdaguasg.pdf](https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/62944/1/cdaguasg.pdf)
- Aguas Gómez, C., & Rivera Berrio, H. (s.f.). *Aplicación de técnicas de optimización para la localización de contenedores de residuos sólidos urbanos y ruteo de vehículos de recolección de basuras en las localidades de Kennedy y Fontibón.* de https://repository.udistrital.edu.co/items/5ca15dbe-d98f-4c75-a007-3548c9141ba5?utm_source=chatgpt.com
- Avendaño Sánchez, M. A., & González García, Z. (201). *Optimización de rutas mediante Sistemas de Información Geográfica para recolección de residuos en la ciudad de Cúcuta, Colombia.,* de https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/13244?utm_source=chatgpt.com
- Betancourt, L. J. (2017). *repository.ucp.* de [repository.ucp:chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/09d9f0bd-bd9b-48c3-816c-80718f0fad4a/content](https://repository.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/09d9f0bd-bd9b-48c3-816c-80718f0fad4a/content)
- Bula, R. A., Giraldo castaño, B., Guerra de los ríos, B., & Morales, E. L. (2022). *economiacircular.minambiente.gov.co* de [economiacircular.minambiente.gov.co:chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/06/guia-nacional-para-la-adecuada-gestion-de-residuos-colombia-2022.pdf](https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/06/guia-nacional-para-la-adecuada-gestion-de-residuos-colombia-2022.pdf)
- Caballero, A. N. (6 de 2021). *repository.umng.* de <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/f909739c-a8df-46a5-8d52-d1cc4422aa0f/content>
- Chavarro, D., Vélez, M., Montenegro, I., & Hernández, A. (2017). *Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia,* de https://minciencias.gov.co/sites/default/files/objetivos_de_desarrollo_sostenible_y_aporte_a_la_cti_v_3.5.pdf
- Correa, J. M. (2022). informe de seguimiento al plan de Secretaría de Planeación, Risaralda, Pereira

<https://www.pereira.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=88081>

David, G. O. (2021). *diseño de las rutas para la recolección de residuos sólidos aprovechables en la población rural de Silvania Cundinamarca.*,

https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/items/42f9707c-1e13-46ae-9987-9cb3f0134bde?utm_source=chatgpt.com

García Urrea, S., & Mendoza Mejia, W. (2018). *repositorio.ucp.*, de *repositorio.ucp:chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/0af89695-ed33-400a-a399-610b8838bff8/content*

García, Á. Y. (s.f.). *repository.umng.* Chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/6ef9be34-336b-4960-ac67-ebc7067da3cb/content

García, M. C. (2022). *repositorio.unal.* chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/a3d03ee0-16d6-49d6-bae7-9bb7201de289/content

Hernández, E. E. (2021). *Repositorio universidad militar nueva granada.* de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/3fc67103-2464-49e6-af04-427f0fb35fb2/content

Patiño Chirva, j., & Daza Cruz, Y. (s.f.). *Aplicación de Técnicas de Optimización para el Diseño de Rutas de Recolección Selectiva de Residuos Sólidos en Bogotá.* de https://repository.udistrital.edu.co/items/1983125a-e845-4001-9300-ba79b4cff5c6?utm_source=chatgpt.com

Paz, G. S. (s.f.). *ucm* <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-135806/12%20metodologc3ada-1-garcia-y-martinez.pdf>

Sánchez, M. A. (2025). *Revista index.* de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/13244/12800>