

Optimización de la Ruta de Aseo del Municipio de Sylvania, Cundinamarca.

Valenzuela Tarquino Julian Mauricio

Universidad El Bosque. Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería Ambiental

Práctica profesional

2025-1

jvalenzuelat@unbosque.edu.co

Resumen: - Empusilvania S.A. E.S.P. es la empresa municipal de Sylvania encargada de los servicios de aseo, acueducto y alcantarillado, con énfasis en ampliar la cobertura urbana y rural, fortalecer la eficiencia operativa, garantizar la calidad del servicio y promover la educación ambiental comunitaria. En ese marco, la propuesta de mejora para el aseo se centra en optimizar la ruta de recolección mediante un balanceando cargas por día y sector, eliminando recorridos redundantes y estandarizando horarios para asegurar puntualidad y continuidad. Además, contempla medidas operativas flexibles que permiten responder a variaciones de generación sin incrementar la flota. Esta optimización reduce tiempos muertos, eleva el factor de llenado por viaje y disminuye el costo por tonelada gestionada. Ambientalmente, la mejora recorta el consumo de combustible y las emisiones asociadas, disminuye la probabilidad de botaderos clandestinos al brindar un servicio más oportuno y, al acompañarse de educación ciudadana, facilita la separación en la fuente, contribuyendo a un entorno más limpio y saludable.

Palabras Claves - Optimizar, Residuos, Ruta, Aseo y Diagnóstico

Abstract: - Empusilvania S.A. E.S.P. is Sylvania's municipal company responsible for sanitation, water supply, and sewerage services, with an emphasis on expanding urban and peri-urban coverage, strengthening operational efficiency, ensuring service quality, and promoting community environmental education. Within this framework, the proposed improvement for sanitation focuses on optimizing the collection route by balancing loads per day and sector, eliminating redundant routes, and standardizing schedules to ensure punctuality and continuity. It also includes flexible operational measures that allow for responding to variations in generation without increasing the fleet. This optimization reduces downtime, increases the fill factor per trip, and lowers the cost per ton managed. Environmentally, the improvement cuts fuel consumption and associated emissions, reduces the likelihood of illegal dumping by providing a more timely service, and, when accompanied by public education, facilitates separation at source, contributing to a cleaner and healthier environment.

Keywords- Optimize, Waste, Route, Cleaning and Diagnosis.

INTRODUCCION

La gestión de residuos sólidos se ha configurado como uno de los desafíos ambientales y de salud pública más relevantes para los municipios de Colombia, en particular para aquellos de categoría media y pequeña que presentan limitaciones en la infraestructura, la planeación y la logística. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2022)

En este sentido, el municipio de Sylvania en la provincia del Sumapaz, departamento de Cundinamarca, no es diferente esta situación, si bien es cierto que cuenta con una empresa prestadora del servicio público, EMPUSILVANIA S.A. E.S.P., la cual desde hace varios años se encarga de la recolección, transporte, disposición final y barrido de las vías, el sistema presenta deficiencias estructurales que afectan su eficiencia operativa, la cobertura y la sostenibilidad ambiental del servicio de aseo.

Según el plan de Desarrollo municipal Alcaldía de Sylvania (2024). La población del municipio oscila entre 28.000 y 28.500 personas el crecimiento urbano que caracteriza a este hace que la producción de residuos aumente en forma temporal. La concentración de la población y de los servicios está en la zona urbana, y las veredas dispersas (Subia, Agua Bonita, Panamá, Alto Ariari) que conforman la zona rural suponen un reto más en la cobertura del servicio de aseo; mientras que la cifra de cobertura urbana alcanza un 97 %, en la zona rural apenas llega a un 17,2 % según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) de Sylvania, datos que ponen de manifiesto la carencia en el acceso al servicio de aseo (Alcaldía Municipal de Sylvania. 2025).

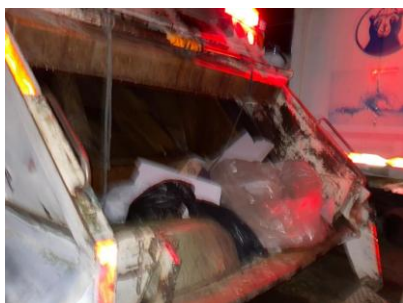
En este sentido, EMPUSILVANIA tiene un nivel operable con dos camiones compactadores, uno de ellos de 8 toneladas y el otro de 7 toneladas que realizan la recolección y transporte de residuos, el sitio de disposición se ubica a 10,11 km del centro urbano, realizándose una duración de desplazamiento de 30 minutos, dicha infraestructura está funcionando para atender la demanda urbana.

La revisión de los documentos técnicos y de las rutas oficiales de la empresa revela que la recolección se realiza de lunes a viernes, a lo largo de diferentes sectores del municipio, siguiendo un procedimiento preestablecido, pero que no obedece a criterios de balance de carga ni de eficiencia espacial. Los lunes y los jueves se recorren trayectos de cerca de 60 km, cubriendo sectores tales como Autopista, Centro, Kennedy, El Tambo, Sasipa, Subia, Agua Bonita, de 5:00 a.m. a 1:00 p.m., en cambio, los días martes y viernes se recorren trayectos cortos (de entre 10 y 11 km al día) que sostienen los trayectos en sectores tales como Pinares del Río, Molino Rojo, Alto de la Virgen. Por último, los miércoles se cumplen las rutas de recolección de sectores tales como Condominios, Panamá y Usatama,

con trayectos de 14 km que concluyen tiempo promedio de desplazamiento hacia el mediodía.

Existe un desequilibrio en las rutas: algunos días hay sobrecarga y otros subutilización, lo que encarece combustible y jornada. Además, queda ~20% de residuos en los compactadores, obligando a disponerlos al día siguiente. Por otro lado, se detectaron recorridos redundantes en barrios como Kennedy y El Progreso: los camiones pasan dos veces por las mismas calles, ya sea por diseño de ruta o por solicitudes no planificadas. Esto aumenta tiempos de desplazamiento y huella de carbono, genera trayectos vacíos, eleva costos operativos y acelera el desgaste mecánico.

Ilustración 1: Residuos remanentes 20% (son los residuos que quedan en el camión compactador al final de la jornada laboral).



Fuente: Elaboración propia, 2025

Con respecto a la infraestructura y planificación, los mapas de rutas desarrollados por EMPUSILVANIA (2021) (ver lista de anexos) que forman parte de los documentos “RUTA LUNES.pdf”, “RUTA MARTES.pdf”, “RUTA MIÉRCOLES.pdf”, “RUTA JUEVES.pdf” y “RUTA VIERNES.pdf”, evidencian un alto nivel de cobertura en la cabecera municipal, pero no una continuidad territorial entre los sectores urbano y rural.

Las zonas rurales más distantes, por ejemplo, Alto Ariari, Santa Marta o Peñas Blancas, se muestran sin conexión respecto a los circuitos del sistema formal de recolección, lo cual incide negativamente en el acceso al servicio, dando prevalencia a la asunción informal de excretas en quebradas o zonas verdes. También revela una gran dispersión de los puntos de acopio y una mala sincronización entre las frecuencias de recolección y los horarios de mayor generación de residuos (los fines de semana en especial) que intensifica la acumulación de residuos en el espacio público, percibiéndose una mala estética de la ciudad y afectando la salud ambiental del municipio.

Asimismo, la evaluación puso en evidencia que la disposición personal ejerce un impacto considerable sobre la efectividad del sistema. Bastantes usuarios ignoran cuándo es el paso del camión o no hacen separación en la fuente conforme al código cromático definido en la Resolución 2184 de 2019 (MinAmbiente, 2019); lo anterior genera acumulaciones en los andenes, dispersión por parte de animales y descomposición de los residuos orgánicos; esa conducta y la ausencia de campañas de sensibilización constantes, durante todo el año, afectan la efectividad de la recolección y la presentación general del municipio.

El sistema de aseo de Silvania es deficiente por baja capacidad técnica, desbalance de cargas, remanentes y baja cobertura rural. Urge optimizar rutas con herramientas geográficas y corresponsabilidad

ciudadana para reducir costos, ampliar cobertura y mejorar la satisfacción.

DESARROLLO

El fortalecimiento del servicio de aseo en el municipio de silvana exige una transformación integral basada en la planeación técnica, la logística y la participación de la comunidad. a partir de los hallazgos del diagnóstico; uso ineficiente de vehículos, remanentes de residuos y desigualdad en la cobertura rural, se propone reorganizar las rutas de recolección mediante herramientas de análisis espacial y estrategias de gestión ambiental. Con el fin de consolidar un modelo más eficiente y equitativo, acorde con las condiciones geográficas y sociales del municipio. La propuesta prioriza la eficiencia operativa para maximizar el uso de recursos (vehículos, personal y tiempos), eliminar trayectos innecesarios, equilibrar cargas diarias y reducir costos, en alineación con los ODS 11 y 12 y la Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (MinAmbiente, 2022).

Con el objetivo de garantizar la propuesta técnica funcional estable, se estimaron los valores de operatividad que permitirían equilibrar la capacidad de los vehículos de recogida con la cantidad de residuos generados en el municipio. Los cálculos a continuación pretenden poder cuantificar la propuesta de mejora: *cuántos camiones y de qué capacidad conviene tener, con qué frecuencia se tiene que recoger la basura en cada tipo de sector, cuántas personas trabajarían por camión y cuánto tiempo ha de ser cada jornada de trabajo.* La aplicación de los números ha sido realizada para poder proponer una configuración operativa que tenga que ser, de verdad, la que se tiene que poner en marcha en Silvania, es decir, aquí lo que se calculan son las soluciones a recomendar y no un diagnóstico; las aproximaciones que se han realizado tienen como base los datos (generación diaria ≈ 9 t/día; distancia a disposición $\approx 10,11$ km / 30 min; remanentes actuales $\approx 20\%$) y criterios operativos prácticos (uso efectivo de capacidad; jornadas razonables).

- Generación promedio municipal: $G_d = 9.0$ t/día.
- Generación semanal: $G_w = G_d \times 7 = 9.0 \times 7 = 63.0$ t/semana
- Semana de trabajo considerada para planificación: $D_w = 5$ días/semana.
- Flota operativa: 1 camión 8 t y 1 camión 7 t.
- Factor de uso efectivo (para evitar remanentes y dar margen operativo): $f_e = 0.90$ (90 %)
- Objetivo de remanente por camión: $R_{obj} \leq 5\%$.

Capacidad efectiva por viaje.

Para establecer correctamente el tamaño de la operación diaria, se calculó la capacidad efectiva de carga (C_{eff}) de cada vehículo, considerando un factor de uso del 90 %, dicho margen técnico permite evitar cargas excesivas y garantizar que el sistema se desarrolle en las condiciones adecuadas de seguridad y rendimiento.

$$C_{eff} = C * f_e$$

Donde C es la capacidad nominal del vehículo y $f_e=0.90$ representa el porcentaje de eficiencia operativa.

Entonces:

- Camión de 8 t $\rightarrow C_{eff} = 8 \times 0.9 = 7.2$ t/viaje
- Camión de 7 t $\rightarrow C_{eff} = 7 \times 0.9 = 6.3$ t/viaje

Operar con un margen del 10% bajo la capacidad nominal es técnicamente necesario: en condiciones reales, la carga efectiva de los compactadores rara vez alcanza el 100% por la variabilidad del material, su densidad y el comportamiento de la compactación. (Benítez-Bravo, R., Maestre, K., & Cortés, P. 2021).

Trabajar al 90% de llenado evita sobrecargas y permite eliminar excedentes al cierre de la jornada, reduciendo los remanentes que hoy pueden llegar al 20%. Además, mantener ese margen mejora el rendimiento mecánico, disminuye el desgaste y prolonga la vida útil del sistema hidráulico, con un menor consumo de combustible por viaje.

Capacidad semanal por vehículo y cobertura total.

Teniendo ya definida la capacidad efectiva, se estimó la capacidad semanal de cada vehículo multiplicando el valor diario del vehículo por el número de días laborables (esto es 5 días por semana).

$$CAP_{sem} = C_{eff} * D_w$$

- Camión 8 t $\rightarrow 7.2 \times 5 = \frac{36.0 t}{semana}$
- Camión 7 t $\rightarrow 6.3 \times 5 = \frac{31.5 t}{semana}$
- Capacidad total (dos vehículos): $36.0 + 31.5 = \frac{67.5 t}{semana}$

Con una operación de un viaje por vehículo y por día de trabajo, la flota disponible podría procesar hasta 67,5 t/sem, lo que excede la demanda semanal estimada de 63 t/sem.

Determinación de la frecuencia óptima de recolección.

Tomamos la distribución previa (Rodríguez Ballesteros, E. R., & Galindo Galvis, M. A. 2020). Como guía proporcional y la escalamos a la nueva demanda 2025. Si en 2020 las partes relativas fueron: Centro 14, Barrios 20, Veredas cercanas 8, Veredas alejadas 7 (sumando 49 t/sem), aplicamos factor de escala. (k)

$$K = \frac{Demanda_{2025}}{Demanda_{2020}} = \frac{63}{49} = 1.2857$$

K como un factor de escala compara la generación total proyectada para 2025 con la generación total observada en 2020. Al ser $63/49=1.2857$, indica un aumento del 28,57 % en la demanda total semanal.

Se aplica al multiplica cada valor base de 2020 por K para obtener su proyección 2025, manteniendo las proporciones entre sectores:

$$G_{sector2025} = G_{sector2020} * K.$$

- Centro y comercio: $14 t * 1.2857 = \frac{18t}{sem}$
- Barrios urbanos: $20 t * 1.2857 = \frac{25.7 t}{sem}$
- Veredas cercanas: $8 t * 1.2857 = \frac{10.3 t}{sem}$
- Veredas alejadas: $7 t * 1.2857 = \frac{9 t}{sem}$

Los cálculos confirman que el sistema opera sin acumulaciones con 2-3 recolecciones semanales por sector. Para elevar el estándar sanitario, el centro/comercio irá 3 veces/semana (lun-mié-vie); en barrios densos bastan 2-3 veces/semana; y en veredas rurales se recomienda frecuencia quincenal, complementada con puntos de acopio comunitarios.

Dicho esquema logra un equilibrio entre la cobertura y la eficiencia, reduce el número de desplazamientos innecesarios, garantiza un espacio físico limpio, realizando una operación más ecológica, ordenada y participativa, permitiendo además incorporar flexibilidad, si los indicadores muestran baja generación en los sectores rurales podría ser aceptable aplicar frecuencias inferiores sin comprometer la potencia del servicio.

Frecuencias necesarias por sector.

$$viajes_{sem} = \left[\frac{G_{sector_{sem}}}{C_{eff,veh}} \right]$$

Asignación de vehículos por tipo de sector:

- Centro y comercio: prioritario \rightarrow camión 8 t (mayor maniobrabilidad urbana y suficiente capacidad).
- Barrios urbanos: combinar ambos camiones según carga y accesibilidad.
- Veredas cercanas y alejadas: camión 7 t (mejor para caminos rurales/angostos).

Entonces:

- Para el centro (18 t/sem) con un camión de 8ton (Ceff=7.2)
$$viajes_{sem} = \left[\frac{18}{7.2} \right] = 2.5 = 3 viajes/sem$$
- Para barrios urbanos (25.7 t/sem) con combinación (8t y 7t) (Ceff=7.2) y (Ceff=6.3)

$$viajes_{sem} = \left[\frac{25.7}{7.2} \right] = 3.57 = 4 viajes/sem$$

$$viajes_{sem} = \left[\frac{25.7}{6.3} \right] = 4.07 = 4 viajes/sem$$

- Para veredas alejadas (9.0 t/sem) con camión 7 t (Ceff=6.3)
$$viajes_{sem} = \left[\frac{9}{6.3} \right] = 1.43 = 2 viajes/sem$$
- Veredas cercanas (10.3 t/sem) con camión 7 t (Ceff=6.3)
$$viajes_{sem} = \left[\frac{10.3}{6.3} \right] = 1.6 = 2 viajes/sem$$

Nota: operación inicial de 2 viajes/sem; si la comunidad acepta puntos de acopio y tras 2 meses se confirma baja acumulación, pasar a 1/15 día.

Los cálculos muestran que con los dos camiones se pueden programar entre 3 y 4 viajes semanales en áreas urbanas de mayor generación y 2 viajes semanales en veredas cercanas y alejadas como inicio operativo. En la práctica, se recomienda: Centro 3/sem, Barrios 3-4/sem según densidad, Veredas cercanas 2/sem, Veredas alejadas 2/sem inicialmente, pero con mirada a convertir algunas rutas a quincenal si la comunidad establece puntos de acopio.

Estimación del tiempo de jornada y distribución de personal.

Es importante para esta propuesta, plantear y estimar la duración óptima de una jornada completa de recolección y definir el personal necesario por vehículo.

$$T_{jornada} = T_{recoleccion} + T_{traslado} + T_{descarga} + T_{margen}$$

- $T_{Recoleccion} = 4h$ (promedio de maniobras y paradas por micro-ruta),
- $T_{Traslado} = 1h$ (ida y retorno al sitio de disposición),
- $T_{Descarga} = 0.5h$
- $T_{Margen} = 0.5h$ (imprevistos o demoras menores).
- $T_{Jornada} = 4 + 1 + 0.5 + 0.5 = 6 h$

Jornadas de 6 horas/día con cuadrillas de 3 (conductor y dos operarios) optimizan la eficacia y la maniobrabilidad, evitando fatiga. Esta organización mejora la seguridad, aumenta la productividad, facilita la supervisión y, con turnos más cortos, eleva el rendimiento de combustible y reduce costos de mantenimiento, fortaleciendo la sostenibilidad operativa.

Reducción de kilómetros y combustible

Se proyecta que la optimización macro y micro ruta la vía 40 Bogotá - Girardot disminuya los recorridos diarios aproximadamente en un 25% de 60 km/día los cuales incluyen recorridos redundantes y zonas de manejo complicado; alcanzando así un alcance aproximado de 45 km.

$$KM_{propuesto} = KM_{actual} * (1 - 0.25) = 60 * 0.75 = 45km/día$$

Formula estándar reducción porcentual a un valor base.

Reducir 15 km/día recorta el consumo de combustible 20–25% y las emisiones de CO₂. Rutas más cortas disminuyen fallas mecánicas y permiten disponer de vehículos para emergencias o rutas rurales

La modificación del macro y micro ruteo propuesta plantea una distribución más lógica del trabajo y de los recursos, garantizando la cobertura completa de todas las zonas del municipio, tanto urbanas como rurales, alcanzando una eficiencia operativa cercana al 100%. Al asignar los vehículos según la densidad poblacional y el tipo de terreno, se optimiza el uso de la flota existente, reduciendo los remanentes de residuos por debajo del 5% y mejorando la capacidad de respuesta ante variaciones en la generación diaria.

El camión de 8 toneladas se destina principalmente a las áreas de mayor generación (como el centro urbano, el sector comercial y las instituciones educativas), donde la densidad poblacional y la frecuencia de recolección son más altas, por su parte, el camión de 7 toneladas cubre los barrios periféricos, las veredas cercanas y las zonas rurales dispersas, adaptando sus recorridos a las condiciones viales y apoyándose en puntos de acopio comunitarios que facilitan el transporte desde áreas más distantes, dicha asignación racional permite aprovechar al máximo la capacidad de cada vehículo sin sobrecargar la operación ni incrementar los costos.

REFLEXION

El desarrollo del proyecto de optimización de la ruta de aseo ha demostrado un impacto positivo a nivel operativo para la empresa EMPUSILVANIA S.A. En un primer momento pudimos evidenciar salidas no estandarizadas, remanentes del 20% al final de la jornada laboral, entre otros. Lo generaba un sobre costo y recorridos inadecuados. Con el desarrollo del proyecto en lugar de continuar con las macro y micro rutas de aseo establecidas desde hace varios años, sin que se tuviera en cuenta la expansión urbana y rural de municipio; ahora EMPUSILVANIA S, A cuenta con un enfoque técnico y optimizado de los procesos de recolección. Es decir, (menos kilómetros recorridos en vacío, mejor uso de la capacidad de carga, horarios más puntuales). Por ejemplo, gracias al estudio se pudo

descartar la necesidad inmediata de adquirir un camión adicional, ya que, al mejorar la organización de las rutas, los vehículos actuales pueden realizar el trabajo de manera eficiente. Esto permitiría ahorrar dinero, reducir la contaminación por menos recorridos y brindar un mejor servicio a la comunidad.

Como ingeniero ambiental, pude aplicar mis conocimientos técnicos en la operación diaria de la empresa. A través del uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis de datos en campo por lo anterior se evidenció que la ingeniería ambiental no se limita a los aspectos ecológicos, sino que también contribuye a mejorar los procesos operativos. En el municipio de Sylvania, desempeñé un papel clave al optimizar la planeación y la eficiencia del servicio de aseo. Esto incluyó promover la sostenibilidad: como reducir los kilómetros recorridos, el consumo de combustible y avanzar en las metas del PGIRS (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos).

El proyecto también presentó varios desafíos, como la resistencia a los cambios en la operación, la escasez de recursos y la necesidad de coordinar a distintos actores (operarios, administradores y comunidad). Superar estas dificultades exigió una visión amplia y habilidades de comunicación, demostrando que el ingeniero ambiental es un agente de cambio que contribuye a mejorar la gestión, apoyar decisiones importantes y generar beneficios reales para el ambiente y la sociedad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La recolección de datos a lo largo de la practica demostró que la ruta de aseo en Sylvania tiene varias ineficiencias operativas clave. Entre los hallazgos más relevantes se destacan los recorridos redundantes (doble paso por las mismas vías o sectores dentro de una misma jornada o semana) y la subutilización de la flota. Los datos mostraron, por ejemplo, que en promedio los camiones compactadores llegaban al sitio de disposición final con solo el 70–75% de su capacidad (5–6 toneladas por viaje, frente a 7–8 t de capacidad). Esto implica un espacio vacío del 25–30% por viaje, elevando el costo por tonelada transportada y el consumo de combustible. A la par, se evidenciaron picos de generación de residuos no sincronizados con la frecuencia de recolección: algunos días “livianos” contrastaban con días en que el vehículo alcanzaba su límite antes de terminar el recorrido previsto. Como consecuencia, en jornadas de alta generación quedaba hasta un 20% de residuos remanentes en el camión, material que debía ser dispuestas al día siguiente. También se documentaron horas de salida variables y tiempos muertos que reflejaban oportunidades de mejora en la coordinación de la operación. En conjunto, estos problemas repercutían negativamente en la eficiencia del servicio, los costos de operación, la satisfacción de los usuarios y potencialmente en el ambiente (emisiones innecesarias, residuos prolongadamente expuestos).

Frente a este diagnóstico, el proyecto logró diseñar una nueva estructura de rutas a nivel macro y micro que atiende dichas brechas. A nivel macrorruta, se redefinieron los sectores de recolección y sus frecuencias para balancear la carga diaria por zona, evitando que unos días concentraran la mayoría de residuos mientras otros quedaban subutilizados. A nivel de microrruta, se optimizó la secuencia de recorrido calle a calle con el objetivo de eliminar retornos y recorridos duplicados, mejorando la continuidad del servicio. El uso de herramientas SIG fue fundamental para visualizar las redundancias y formular propuestas de optimización de manera objetiva.

Adicionalmente, el análisis detallado de las toneladas recolectadas por día y sector proporcionó una base sólida para ajustar la programación: por ejemplo, redistribuyendo algunas zonas de lunes a martes o viceversa para alinear la recolección con los picos reales de generación.

Recomendaciones: Para consolidar e implementar de forma efectiva estas mejoras, se proponen las siguientes acciones concretas:

Ajustes operativos y de planificación: Ejecutar el rediseño de macrorrutas y microrrutas propuesto, asegurando que cada día de recolección tenga una carga equilibrada de residuos y eliminando los recorridos duplicados identificados. Es importante estandarizar los horarios de salida de los camiones y las ventanas de recolección por sector, reduciendo tiempos muertos y brindando un servicio más predecible al usuario

Monitoreo de toneladas recolectadas: Según Bustamante Gutiérrez (2024), Implementar un seguimiento permanente de la cantidad de residuos recolectada por ruta y por viaje, registrando toneladas diarias por sector. Este monitoreo permitirá evaluar el desempeño de las nuevas rutas, detectar desviaciones o cambios en los patrones de generación y hacer ajustes informados.

Fortalecimiento de la planificación y gestión: Institucionalizar la práctica de revisión y actualización periódica de las rutas de recolección. A medida que Silvania crece o cambian los hábitos de generación de residuos, la planificación debe ser suficientemente flexible para adaptarse sin incurrir de nuevo en ineficiencias. Se recomienda capacitar al personal operativo y de planeación en el uso de herramientas tecnológicas (SIG, software de ruteo) para que la empresa cuente con capacidades internas de análisis y optimización continua de rutas.

Acompañamiento comunitario: Para asegurar el éxito sostenido de la optimización implementada, involucrar a la comunidad usuaria del servicio a través de campañas de educación y divulgación. Se debe socializar con los habitantes los nuevos horarios y frecuencias, enfatizando la importancia de sacar los residuos en la franja horaria establecida y de separar adecuadamente los residuos en la fuente. Una ciudadanía informada y comprometida reduce la probabilidad de retrasos y disminuye el volumen de residuos no aprovechables, contribuyendo a que el sistema de recolección optimizado funcione al máximo de su eficiencia.

REFERENCIAS

Alcaldía Municipal de Silvania. (2025). Inicio. <https://www.silvania-cundinamarca.gov.co/>

Rodríguez Ballesteros, E. R., & Galindo Galvis, M. A. (2020). Análisis del estado actual y propuesta para el manejo de los residuos sólidos producidos en el Municipio de Silvania Cundinamarca.

Plan de Desarrollo municipal Alcaldía de Silvania. (2024). Plan de Desarrollo 2024-2027 (“Compromiso social por Silvania”). Gobernación de Cundinamarca – Geoportal. <https://mapas.cundinamarca.gov.co/documents/cundinamarca-map%3A%3Aplan-de-desarrollo-2024-2027-municipio-de-silvania/explore>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2019, 26 de diciembre). Resolución 2184 de 2019: Por la cual se modifica la Resolución 668 de 2016 sobre

uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. Diario Oficial. Recuperado de MinAmbiente (PDF oficial)

Benítez-Bravo, R., Maestre, K., & Cortés, P. (2021). Optimization of municipal solid waste collection routes in a Latin-American city. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71(12), 1507–1523. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2021.1957040>

Bustamante Gutiérrez, L. C., Alzate Álvarez, Á. M. & Alzate Montoya, P. M. (2024). Un modelo de rutas para la recolección de residuos sólidos domiciliarios: Un caso de estudio.

Guevara Parada, J. A. & Vargas Saavedra, A. M. (2014). Diseño e implementación de rutas de recolección de residuos hospitalarios para la empresa Edepsa S.A.S. Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014). Resolución 754 de 2014 (25 de noviembre 2014). Adopta la metodología para formulación, implementación, seguimiento y actualización de los PGIRS

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). Plan de Gestión Integral de Residuos (Versión 5). Bogotá D.C., Colombia: MinAmbiente. https://sigestion.minambiente.gov.co/files/mod_documento/documentos/M-E-SIG-03/versiones/Plan%20de%20gestion%20integral%20de%20residuos%20V5.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos: Metodología para la formulación, implementación, seguimiento, control y actualización del PGIRS. Bogotá D.C., Colombia: Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/presentacion-modulo-ii-metodologia-formulacion-implementacion-seguimiento-control-y-actualizacion-de-pgirs.pdf>

Municipio de Silvania. (2023). Informe técnico de gestión de residuos sólidos urbanos y disposición final. Empresa de Servicios Públicos EMPUSILVANIA S.A. E.S.P. recuperado de: <https://silvania-cundinamarca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Informe%20Tecnico%20DESCA%20No.%200086%202023%20SILVANIA.pdf>

Gil Orjuela, F. D., y Malaver Salazar, K. Y. (2021, 5 de mayo). Diseño de las rutas para la recolección de residuos sólidos aprovechables en la población rural de Silvania, Cundinamarca [Trabajo de grado, Universidad de Cundinamarca]. Repositorio Universidad de Cundinamarca. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/items/42f9707c-1e13-46ae-9987-9cb3f0134bde>

Zona / Sector	Tipo de área	Vehículo asignado	Capacidad efectiva (t/viaje)	Frecuencia de recolección	Tiempo por jornada (h)	Personal por vehículo	Observaciones técnicas
Centro urbano y comercial	Alta densidad / comercio	Camión 8 t	7.2	3 veces por semana (L-Mi-V)	6 h	3 operarios	Alta generación de residuos. Priorizar vías principales y horarios matutinos para evitar congestión, en picos se puede programar un segundo viaje.
Barrios semiurbanos	Media densidad	Camión 8 t / 7 t	7.2 / 6.3	3-4 veces por semana (L-Mi-V-J)	6 h	3 operarios	Distribuir la carga entre ambos camiones. Evitar recorridos redundantes y sobreposición de sectores.
Veredas cercanas (Sasipa, Aguabonita, Alto de la Virgen, Los Andes)	Rural accesible	Camión 7 t	6.3	2 veces por semana (M-V)	6 h	3 operarios	Buen acceso vial. Mantener horarios fijos y control de llenado para evitar sobrecarga. En caso de picos, se permite un refuerzo temporal.
Veredas alejadas (Subía, Panamá, Usatama, Los Puentes, Yayata Las Villas)	Rural dispersa	Camión 7 t	6.3	2 veces por semana (Mi-S) <i>(evaluar reducir a 1/15 días)</i>	6 h	3 operarios	Zonas de baja densidad. Implementar puntos de acopio comunitario y evaluar reducción de frecuencia si la generación es baja.

Anexo 6: Tabla 1. Ajuste del macro y micro ruteo propuesto para el municipio de Silvania, Elaboración propia 2025