

Análisis y propuesta de mejora del proceso de operación de recolección de residuos sólidos dentro de la zona urbana del municipio de El Retiro

Analysis and improvement proposal of the solid waste collection operation process within the urban area of the municipality of El Retiro

Autor Principal:

Laura Camila Rodríguez Giraldo

Ingeniera industrial, Universidad Católica de Oriente
Semillero de Investigación en Ingeniería Multidisciplinar SIMIO
laura.rodriguez4090@uco.net.co

Leidy Marcela Ramírez

Ingeniera industrial, Universidad Católica de Oriente
Semillero de Investigación en Ingeniería Multidisciplinar SIMIO
leidy.ramirez9597@uco.net.co

Coautor Corresponsal:

John Fernando López Velásquez

Docente de la Universidad Católica de Oriente
Magíster en Ingeniería, Ingeniería de Sistemas
Grupo de Investigación Gimú
jlopez@uco.edu.co

Diego Andrés Aguirre Cardona

Docente de la Universidad Católica de Oriente
M.Sc. en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Grupo de Investigación Gimú
daguirre@uco.edu.co

Jaime Andrés Gutiérrez-Monsalve

Docente e Investigador Universidad Católica de Oriente
Grupo de Investigación Gimú
jgutierrez@uco.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-3118-6824>

Resumen

El municipio de El Retiro, ubicado en el Oriente antioqueño, cuenta con un total de 5.680 viviendas y 11.223 habitantes en la zona urbana. La empresa ESP Retirar SAS, presta el servicio de recolección de residuos sólidos, orgánicos, aprovechables y no aprovechables. Es un hecho que los residuos sólidos municipales crecen a medida que incrementa la población, por esto, las empresas prestadoras del servicio deben aumentar la capacidad de sus procesos para dar abasto con la recolección de los residuos generados. La recolección se realiza por vehículos y la mejora del proceso requiere el uso de técnicas de optimización que garanticen la correcta ejecución de la operación. Si se realiza el comparativo donde se planteen las diferencias entre un vehículo recolector nuevo y una estación de transferencia se puede evidenciar que el vehículo genera un costo alto en gasolina, peajes y tiempo, volviendo el proceso ineficiente, además de que su vida útil no supera los cinco años. Se realizó un estudio de campo para comprender el sistema de recolección de basuras y de esta manera proponer mejoras como la construcción de una estación de transferencia propia del municipio, para la correcta recolección y disposición. La estación de transferencia permite una disminución de tiempos y operatividad. Aunque su inversión inicial es grande, los beneficios se verán proyectados dado que facilitará y disminuirá el proceso de descargue de los residuos recogidos en el relleno sanitario. A esto se le suma que su vida útil supera por muchos años la del vehículo recolector y sus gastos en mantenimiento no son altos.

Palabras clave

Residuos sólidos; Estación de transferencia; Optimización; Trabajo de campo; Producción Per Cápita.

Abstract

El Retiro, located in Eastern Antioquia, has a total of 5,680 homes and 11,223 inhabitants in the urban area. ESP Retirar SAS, provides the solid waste collection service: organic, usable and non-usable across urban and rural areas. It is a fact that municipal solid waste grows as the population increases, for this reason, ESP Retirar must increase the capacity of their processes to cope with the collection of the waste generated by acquiring new collection vehicles, or by resorting to optimization techniques, which likewise guarantee the correct execution of the collection operation like transfer solid waste station. In this research, differences between a new collection vehicle and a transfer station are planted, highlighted that the vehicle generates a high cost in gasoline, tolls and time, making the process inefficient and its useful life not exceed a maximum of 5 years. In this research we propose a method to better understand the problem of waste solid in El Retiro proposing improvements such as the construction of a transfer station. Transfer station allows a reduction in time and operability, although its initial investment is large, the benefits of this will be represented immediately and projected in a little amount period of time, since it will facilitate and reduce the process of unloading the waste collected in the landfill. Waste transfer station also increase useful life of collection vehicle and its maintenance costs are cheapest.

Key words

Solid waste; Transfer station; Optimization; Field work; Production Per Cápita.

Introducción

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) en el 2004 determina que los residuos sólidos son aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado un valor económico en el contexto en que son producidos. Esta generación de residuos sólidos está directamente relacionada con el crecimiento de las poblaciones y su alto consumismo, en tanto al ser desechados, y si no se posee un sistema de recolección apropiado, ocasionan insuficiencias en los procesos de recolección, que generan, a su vez, la aparición de botaderos clandestinos que se convertirán en focos de infección (Racero Moreno y Pérez Arriaga, 2006).

Los residuos sólidos urbanos (RSU) forman parte de la vida diaria. Actualmente, éstos han ido aumentando dado el avanzado crecimiento de la población y la cultura consumista, por lo que su recogida y eliminación se ha vuelto uno de los grandes retos que presentan las ciudades y municipios. Los principales factores que han dado lugar a esta situación son el rápido crecimiento demográfico, la concentración de la población en centros urbanos, la utilización de bienes materiales de rápido envejecimiento y el uso, cada vez más frecuente, de envases sin retorno, fabricados con materiales poco o nada degradables (Salvato, J, Nemerow, N, Agardy, 2003).

En Colombia, desde el 2010, la recolección y disposición de residuos sólidos ha aumentado en un 13% aproximadamente, con lo que, en promedio, la recolección y disposición aumenta en un 2% año a año; éstos datos coinciden en gran medida con el crecimiento poblacional proyectado por el DANE, en las cabeceras municipales, entre el 2010 y el 2017 (10%) (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018).

Desde una mirada local, los servicios de recolección de residuos sólidos del municipio de El Retiro presentan una serie de dificultades relacionadas con el incumplimiento del indicador de eficiencia del proceso; además de altos costos de operación. Lo anterior, porque los residuos sólidos generados en el área urbana del municipio son cada vez mayores. El indicador de crecimiento poblacional es de extrema importancia en la gestión integral de los residuos sólidos, ya que la generación y recolección de éstos está estrechamente relacionada con el número de habitantes, porque a partir de esto se determina la complejidad y se define la frecuencia de recolección.

Estas dificultades representan elevados costos de ejecución, además de grandes desgastes en las herramientas utilizadas para dichas tareas. Tras el análisis de estas problemáticas, se

reconoció que la mayoría de estas ineficiencias se centran en el proceso operacional de recolección de residuos sólidos en las rutas actuales; esto, en consecuencia de la no utilización de metodologías para el análisis operativo del proceso. Se evidenció, además, la poca aplicabilidad del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), elaborado en 2015 (Murillo Gil, 2015), el cual es un instrumento de planeación municipal que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos, definidos por el ente territorial para el manejo de los residuos sólidos y fundamentado en la política de gestión integral de los mismos. Este se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos sólidos y la prestación del servicio de aseo en el ámbito municipal o regional (Decreto 2981 de 2013). También se evidenció que las rutas de recolección, en la mayoría de los casos, se diseñan de forma intuitiva, donde no se tiene en cuenta valores de tiempo y gastos de operación (combustible, personal, desgaste maquinaria, tiempo), además de no tener cultura de recolección porque las personas depositan sus residuos en lugares inadecuados, cuyas distancias no están contempladas en las rutas y tampoco se contempla el tiempo en el cual el vehículo permanece detenido dificultando, imposibilitando en muchas ocasiones el flujo vehicular e incomodando al sector en el que se está recolectando (Henaó Guzmán y Piedrahita Arana, 2015).

En este orden de ideas, se propone plantear algunas propuestas de mejora, dado el diagnóstico y el análisis del estado actual de las rutas de recolección de residuos sólidos dentro de la zona urbana del municipio de El Retiro.

Para el análisis del proceso de operación de recolección de residuos sólidos se necesita, en primera instancia, realizar una aproximación diagnóstica (diagnóstico de focos y puntos de generación de residuos sólidos) de las rutas actuales de recolección, ya que a partir de este se definirán las variables que intervienen en el proceso. Tras lo anteriormente mencionado, es necesario predefinir la capacidad y los tipos de compactadores a emplear, así como las características de los residuos sólidos. Esto permitirá definir el tipo de sistema de recogido utilizado, su frecuencia de recolección y el espacio para disponer los compactadores (Mejía Zafra, 2009). La frecuencia de recolección se establece basándose en la complejidad que el municipio presente. Para el establecimiento de estas y los horarios, debe tenerse en cuenta, en especial, las vías, la frecuencia de barrido de vías y áreas públicas; las particularidades de las zonas urbanas que se van a intervenir. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012).

Lo anterior, implica analizar los sistemas existentes que permitan la recolección y transporte de los residuos sólidos, de la manera más eficiente y eficaz posible con el objetivo de reducir y prevenir los impactos al medio ambiente, en aspectos tales como agua, aire y suelo; además de evitar los focos de infección que estos residuos representan al no conside-

rarse una buena disposición de éstos, controlando la proliferación de vectores (insectos, roedores) que pueden transmitir enfermedades y epidemias (Márquez Pérez, 2008). Un mal proceso de operación de recolección de residuos sólidos genera ineficiencias en el sistema tales como: deficiente operación y funcionamiento en los equipos, desperdicio de personal, enfermedades y accidentes laborales, sobrecostos de operación, entre otras.

Se debe tener en cuenta la producción per cápita para la generación de residuos, por vivienda y tramo de recolección para tener un aproximado de qué tiempo y cuál es la cantidad de residuos que recogerá el vehículo hasta llenarse y poder desplazarse hasta el sitio de disposición final. A su vez, las rutas de recolección deben ser analizadas en su operación, bajo metodologías que cumplan con los lineamientos y normativas legales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012). Siguiendo esta normativa, el municipio de El Retiro opera las rutas de manera empírica, sin analizar su eficiencia. Por tanto, se toman como base las rutas en operación y se busca proponer mejoras mediante el uso de metodologías que favorezcan su eficiencia, lo cual facilitará tener un mejor aprovechamiento de los residuos generados en el área urbana, y un control más exhaustivo sobre el proceso de operación de recolección.

El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (CPN) (2012) ofrece orientaciones para el uso del suelo, en cuanto a la disposición de los residuos sólidos generados por los habitantes.

A partir de estas prerrogativas, el desarrollo de una comunidad establece condiciones y calidad de vida, para lo cual la prestación del servicio público de aseo es obligatoria por parte de los entes territoriales. Por esta razón, la empresa de servicios públicos RETIRAR E.S.P es la encargada de prestar el servicio de recolección a los habitantes del municipio, y lo ha estado realizando teniendo como base los elementos del ciclo de manejo de los residuos sólidos municipales, direccionados por la Organización Panamericana de la Salud, donde la recolección y transporte son el principal proceso de gestión que engrana la generación y el almacenamiento de residuos, con el aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

Las características que debe tener este tipo de servicio tienen que ver con los tipos de actividades predominantes, tipo de calles, población, accesibilidad a los servicios, nomenclatura y clasificación urbana, tipo de vías (plana, semiplana o de pendiente alta), velocidades de diseño y las cantidades de residuos recolectadas por vehículo y por día; expresando así la necesidad de saber los porcentajes de aprovechamiento (orgánicos y elementos reciclables), lo cual permiten que el servicio se preste eficientemente y de manera sostenible.

De una buena recolección de los residuos sólidos dependerá que éstos no se conviertan en posibles vectores transmisores de enfermedades, animales y diversos insectos. Este servicio público debe prestarse de la manera más eficiente, con el fin de reducir costos de recolección y evitando riesgos laborales existentes para los colaboradores que desempeñen estas labores.

Metodología

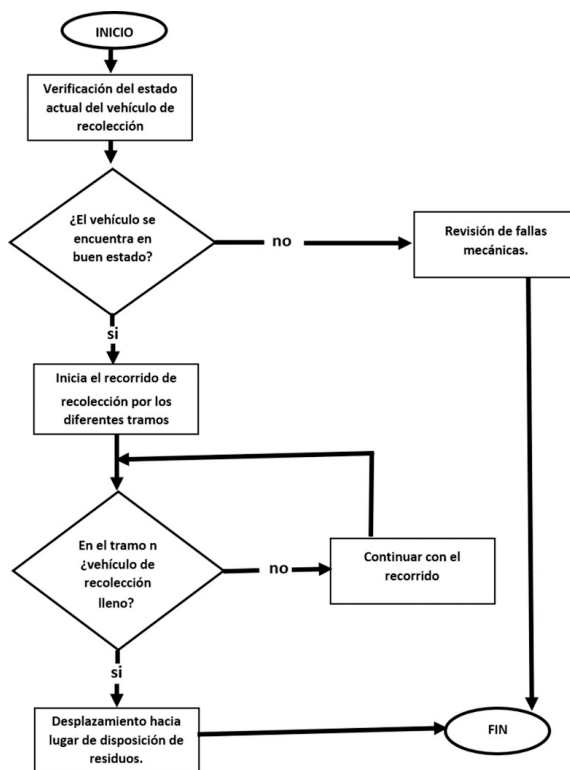
Teniendo clara las problemáticas se planea dar solución mediante la realización de un diagnóstico del estado real del proceso de recolección de residuos sólidos en la zona urbana del municipio, analizando diversos factores que afectan la operatividad de este, y proponiendo algunas mejoras que beneficien el proceso actual.

En primera instancia, se realizó un diagrama de proceso, con el fin de identificar los puntos críticos de la operación, las decisiones que deben tomar los colaboradores en todo el proceso de ejecución de recolección y el flujo de trabajo que se da en este.

En la Figura 1 se pueden evidenciar todas las decisiones que se toman a nivel general en el proceso de operación de recolección de residuos sólidos, donde se empieza por una verificación del estado físico de los vehículos, dado que de su buen estado dependerá la fluidez del proceso; en caso de que se presenten fallas mecánicas en estos, se traslada al taller mecánico, y el proceso de operación debe ser modificado en tiempos y recorridos, para dar abasto con la recolección de los residuos, por lo menos hasta que el vehículo que está en inspección mecánica pueda empezar a desarrollar su función. Si este no es el caso, se inicia con el recorrido, donde al llevar un numero n de tramos se debe verificar la capacidad de almacenamiento del vehículo; esto debido a que si se está llegando a su capacidad máxima de almacenamiento es necesario que se desplace hasta el relleno sanitario a depositar los resi-

duos, para que pueda continuar con el recorrido de recolección hasta acabar con los tramos programados; y, por tanto, pueda realizar su último viaje al relleno sanitario a hacer la deposición final.

Figura 1
Diagrama de proceso de recolección de residuos



Nota. Elaboración propia.

Con el fin de obtener los datos necesarios para el análisis de operación, se realizó un trabajo teórico-práctico, donde se recorrió todo el municipio de El Retiro, contabilizando y categorizando los predios: comercial, residencial, institucional e industrial; esta información quedó almacenada en una matriz que permitió visualizar un trazado aproximado de las rutas actuales con las que cuenta la empresa prestadora de servicio, para identificar cuantos kg de residuos se están generando, y así reconocer en qué parte del recorrido, el vehículo alcanza su almacenamiento máximo y debe desplazarse hasta el relleno sanitario. Para esto se tuvo en cuenta la producción per cápita generada en cada uno de los sectores y el promedio de personas por vivienda.

A partir de los datos obtenidos se procedió con los cálculos de los kilogramos producidos en un día y los kilogramos totales recogidos en cada tramo y en cada ruta, teniendo en cuenta que los días de recolección de residuos sólidos son los lunes y los jueves, y los días acumulados de generación de residuos son de cuatro y tres días, respectivamente. A su vez, se realizó el cálculo de tiempos totales de transporte según la ruta y el tramo, buscando reconocer tiempos muertos o desplazamientos innecesarios que no generan valor agregado y, por tanto, representan sobre costos en la operación, evidenciados en ítems como mantenimiento, consumo de gasolina y peajes.

Para el análisis de esta información se utilizaron los siguientes softwares informáticos: AutoCAD, Google Earth y Excel. Y, finalmente, se plantearon mejoras al proceso de operación de las rutas de recolección de residuos sólidos.

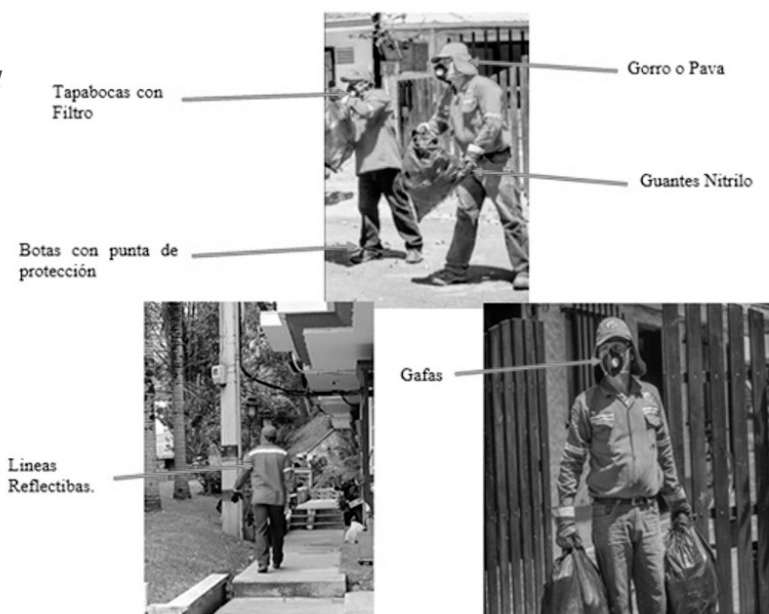
Resultados y discusión

Estado actual de la recolección de los residuos sólidos en el municipio de El Retiro

Por la cantidad de habitantes del municipio del retiro (11.223 habitantes), el ingreso económico per cápita y el presupuesto aprobado para la ejecución de proyectos, se cataloga como un municipio con una complejidad media -alta lo que le obliga a tener Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), tener rutas de recolección regular de residuos sólidos y aprovechables, así como disponer de dispositivos mecánicos propios para la realización de estas tareas. La empresa prestadora de servicio cuenta con una frecuencia de recolección de tres días a la semana (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012). Además, la entidad prestadora del servicio Retirar E.S.P recoge residuos orgánicos y no aprovechables en la zona urbana los lunes y jueves, y el miércoles recoge residuos aprovechables; durante la operación se cuenta con tres colaboradores, el conductor y dos recolectores. Los colaboradores, para realizar la operación, deben tener sus debidos elementos de protección personal, que son gafas, sombrero o pava, guantes, tapabocas, botas de seguridad, y líneas reflectabas para trabajo en carretera (ver Figura 2).

Figura 2

Elementos protección personal



Nota. Fotografía propia.

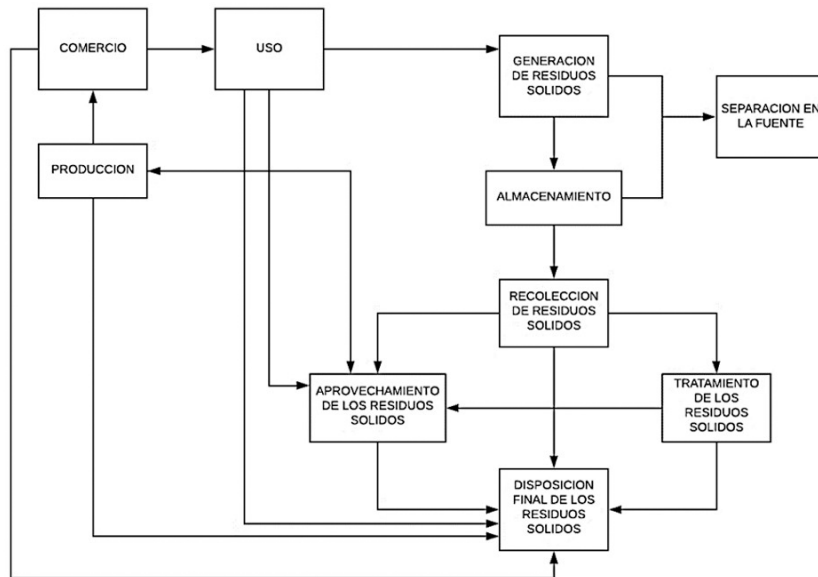
En las Figura 2 se muestran los elementos de protección personal con los que deben contar los colaboradores que realizan la tarea de recolección de residuos; estos se amplían a continuación:

1. Guantes: deben de ser de Nitrilo, con protección contra cortes o pinchaduras, además de que protejan contra químicos y materiales corrosivos y dañinos para la salud.
2. Botas: deben tener recubrimiento en la punta, en caso de caída de la carga recogida, además de ser lo suficientemente livianas que faciliten el caminar y eviten problemas de movilidad.
3. Gorro o Pava: se usa como protección del sol, ya que se trabaja con exposición al clima.
4. Tapabocas: debe tener un filtro especial en contra de la inhalación de diferentes sustancias que pueden ser tóxicas para el organismo, así como la inhalación de polvos; en búsqueda de la prevención de enfermedades respiratorias.

5. Gafas: estas tienen la función de proteger la visión de los colaboradores, en caso de exposición a químicos y polvo.
6. Líneas reflectivas: en función de la visibilidad de los colaboradores en las vías, dado que su trabajo representa un grado de accidentalidad alto.

Figura 3

Esquema de operación de relleno sanitario en el municipio de El Retiro



Nota. Elaboración propia.

El esquema presentado en la Figura 3 representa la generalización del ciclo que realizan los residuos sólidos, previa su generación. En El Retiro se cuenta con una separación en la fuente (desde cada una de las viviendas), donde se hace la debida caracterización entre los residuos aprovechables y los orgánicos y no aprovechables; estos dos últimos no son separados y se realiza su disposición en el mismo lugar. De esta generación de residuos se des-

prende un almacenamiento que se da tras un proceso de recolección. Además, los procesos en mención realizan un ejercicio de caracterización y categorización de los residuos que pueden ser aprovechados y los que no; los últimos son los que se transportan hasta el relleno sanitario, ya que no representan utilidad, mientras que los primeros pasan por el proceso de tratamiento, donde se realizan varias actividades que permitan devolver algunas de

sus propiedades para posteriormente ser aprovechados y así regresar a un ciclo comercial para su nuevo uso.

En este mismo sentido, a los residuos que no se les está haciendo el debido tratamiento y aprovechamiento son los residuos orgánicos, dado que después de mezclarse con residuos inservibles o basura se convierten en material inaprovechable, perdiendo todas sus propiedades al contaminarse. Este material orgánico depositado en el relleno sanitario como basura se convierte en una pérdida de oportunidad de ingreso económico, en tanto que debidamente compostados, estos residuos orgánicos pueden ser vendidos como abono.

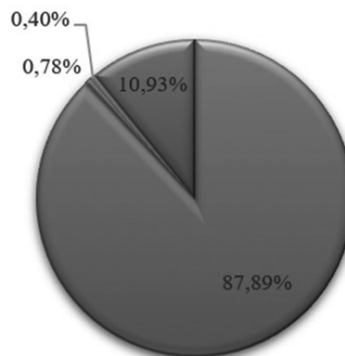
Finalmente, la entidad objeto de estudio cuenta con tres vehículos para realizar la recolección; dos de ellos compactadores, y el tercero una pequeña Turbo, la cual entra a apoyar alguna de las rutas cuando se presentan deficiencias según lo establecido por el Ministerio de

Vivienda, Ciudad y Territorio (2012), o cuando se presentan dificultades, ya sea por falta de capacidad, espacios reducidos, problemas físicos o mecánicos de los vehículos, problemas viales, entre otros. La recolección se realiza por acera durante la mayoría de la ruta, lo que genera grandes tiempos de espera y, en ocasiones, congestiones vehiculares, debido a que las calles del municipio son muy angostas.

Análisis del estado actual del proceso de recolección de residuos sólidos

Dada la metodología utilizada, teórico-práctica, y gracias al trabajo de campo realizado en la zona urbana del municipio de El Retiro, se evidenció (Figura 4) que el 87.89% del total de los predios urbanos recorridos pertenece al sector residencial, seguido, pero por mucha diferencia, del sector comercial, con un 10.93% de predios totales; por su lado, las zonas industrial e institucional, a nivel predial, no representan un porcentaje significativo.

Figura 4
Distribución total zona urbana



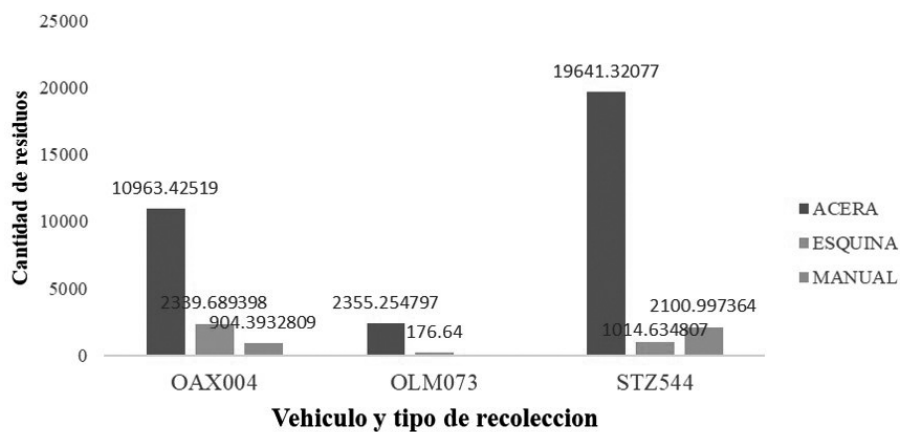
Nota. Elaboración propia.

■ RESIDENCIAL ■ INSTITUCIONAL ■ INDUSTRIAL ■ COMERCIAL

En relación con la zona comercial, el vehículo OLM073 que recorre la ruta de apoyo posee el mayor porcentaje de recorrido, con un 17.30% del total de sus tramos; el vehículo STZ544, en su recorrido, cuenta con un porcentaje del 12.09% de predios comerciales; y la ruta del vehículo OAX004 posee el menor de los porcentajes de recorrido de predios comerciales, con un 7.66%.

En la Figura 5 se muestra la relación de las rutas con el tipo de recolección que se presenta, sea por acera, esquina o manual; entendiéndose manual la recolección donde el colaborador debe desplazarse hasta la puerta de cada vivienda para recoger los residuos y llevarlos hasta donde se encuentra el vehículo. En el municipio de El Retiro la gran parte de sus predios residenciales corresponden a urbanizaciones y parcelaciones, donde la recolección más eficiente es por esquina, por medio de centros de acopio o puntos de disposición. Se evidencia que, en todas las rutas, la recolección por acera es la que más se frecuenta.

Figura 5
Cantidad de residuos por tipo de recolección

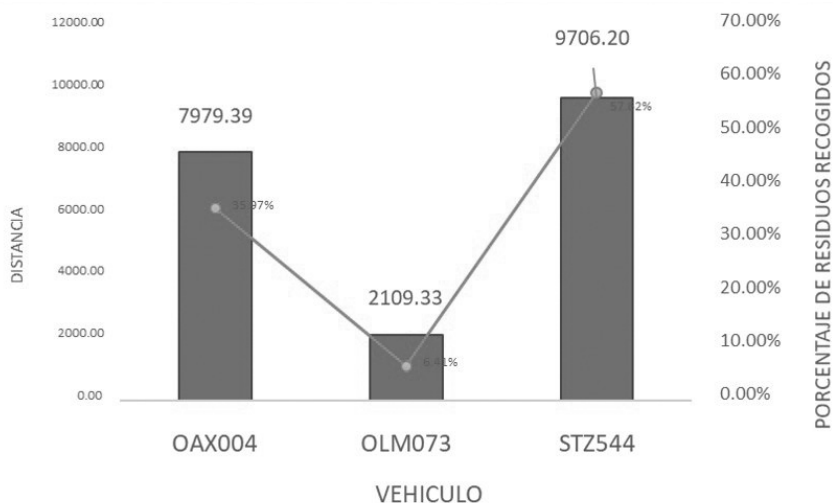


Nota. Elaboración propia.

Cada ruta recorre una distancia ya programada; entre mayor sea ésta, mayor será la cantidad de residuos que recoge. A su vez, cada ruta tiene una capacidad de recolección, de modo que si el vehículo compactador se llena, antes de terminar la ruta

asignada, debe parar su recolección y desplazarse al sitio de disposición final, que para el caso particular es el relleno sanitario, descargar los residuos y volver a terminar la ruta. En la Figura 6 se presenta la relación de cada una de las rutas, según su vehículo, cuántos tramos se recorren y cuántos kilogramos se recogen. La ruta que realiza el vehículo OAX004 recoge el 35.97% de los residuos totales generados en los días previos a la recolección; esto equivale a 14.208 kg; el vehículo OLM073 recoge el 6.41 %, equivalente a 2.532 kg; y el vehículo STX544 recoge el 57.62%, que es igual a 22.757 kg.

Figura 6
Relación entre vehículo, distancia recorrida y porcentaje de residuos recogidos



Nota. Elaboración propia.

De otro lado, según la información registrada en la Tabla 1, el vehículo compactador OAX004 recoge el 100% de los residuos de la ruta que le corresponde, y debe de realizar dos viajes al sitio de disposición final para cumplir con la cantidad de residuos que se deben recoger; el vehículo STZ544 recoge un 95% de la cantidad de residuos que se disponen en la ruta, debido a que en el segundo viaje, para el sitio de disposición final, le faltan por recoger cuatro tramos, los cuales equivalen a 1.129 kg; y la ruta de apoyo en la cual está el vehículo OLM073 tiene un aprovechamiento de la

capacidad del vehículo del 32%. Si este entra a apoyar la ruta en donde faltan 1.129 kg, el aprovechamiento sería de un 46%; sin embargo este no cuenta con las características que debe tener un vehículo recolector de residuos sólidos.

Tabla 1

Relación entre capacidad de vehículo, porcentaje de residuos recogidos y número de tramos recorridos

Vehículo	Capacidad (kg)	Veces que se llena vehículo	% recolección	% residuos recogidos	Número tramos	Tramo donde vehículo se llena	Descripción del tramo
OAX004	8000	1	56%	100%	51	31	ClI20A-Entre Cr23 y Cr24
	8000	2	44%			51	ClI26B# 35-20 urbanización circunvalar
STZ544	11000	1	47%	95%	86	23	Bicentenario
	11000	2	48%			82	ClIe24-Entre Cr23 y Cr24
OLM073	8000	1	32%	100%	15	15	Soto del este

Nota. Elaboración propia

Factor de utilización

El factor de utilización (U) es el tiempo neto que puede ser utilizado en las diversas labores de producción dentro de la jornada laboral (Castro y Zuluaga, 2013). Al realizar el cálculo del tiempo neto con el que cuentan los colaboradores para completar la recolección de los residuos y el recorrido de toda la ruta, se reconocen tres variables clave para este cálculo: la primera, el tiempo real disponible (TRD), el cual

representa la cantidad de horas totales que tiene la jornada laboral, que por ley, y para este caso, representa un total de 8 horas legales laborales vigentes (48 horas semanales), según el Código Sustantivo de Trabajo (CST) (Capítulo 2, Artículo 161) y la Ley 50 de 1990 (Artículo 20); además, según estas fuentes, se cuenta con la posibilidad de realizar máximo 2 horas extras al día (máximo 12 horas semanales) (Artículo 162 y 167B del CST) (Constitucional y DE CONSTITUCIONALIDAD, 1990; de Bogotá, 1990).

La segunda variable, es el tiempo no productivo (TNP), el cual corresponde a ese tiempo suplementario que, por derecho, el colaborador utiliza para hacer otras actividades diferentes a las de su trabajo; entiéndase como tiempo de almuerzo, descansos, pausas activas, satisfacción de necesidades fisiológicas y otras.

La tercera y última variable, es la relación entre las dos anteriores: el tiempo productivo disponible (TDP), que es la cantidad de tiempo real y neto que tiene el colaborador para realizar las tareas propias de su trabajo o proceso productivo; éste se calcula restando al tiempo real disponible (TRD) el tiempo no productivo (TNP).

A partir de estas variables se puede realizar el cálculo del factor de utilización (ver Tabla 2).

Tabla 2

Calculo factor de utilización

	Min	Horas
TRD	480	8
TPD	379,2	6,32
TNP	100,8	1,68
Suplementos	100,8	1,68
U	79%	No aplica

Nota. Elaboración propia

Para este caso, como se ve en la Tabla 2, el tiempo real disponible es de 8 horas; las horas legales vigentes de labor que tiene cada colaborador. El tiempo no productivo corresponde a un total de 1,68 horas, pertenecientes a los suplementos legales que cada colaborador tiene derecho (toma de agua, satisfacción de necesidades fisiológicas, entre otros); cabe resaltar que en la cuadrilla de recolectores solo se presentan hombres. Es por esto por lo que el tiempo productivo disponible (TPD) para realizar

las tareas de recolección de residuos sólidos es, en total, de 6,32 horas, y su factor de utilización es de 79% sobre el tiempo productivo disponible; es decir, el 79% del tiempo productivo real disponible (6,32 horas) puede ser usado en las actividades laborales.

Además, si se hace la debida comparación del tiempo que necesita la máquina, a una velocidad de 5 km/h, para completar el recorrido de la ruta de recolección, con el tiempo real productivo disponible con el que cuenta el colaborador, se tiene un déficit de tiempo, representado en la Tabla 3.

Tabla 3

Comparación de tiempo de recolección de la máquina y el colaborador

Tiempo en horas por día			
Vehículo	Tiempo total de recolección	Tiempo Real Disponible Productivo del Colaborador	Déficit
STZ544	9,39	6,32	3,07
OAX004	8,98	6,32	2,66
OLM073	4,06	6,32	-2,06

Nota. Elaboración propia

En este orden de ideas, para el vehículo OAX004 se tiene un déficit de 2,66 horas para terminar el recorrido total; el vehículo STZ544, que es el vehículo que más tramos recorre y más kilogramos recoger, tiene un déficit de 3,07 horas.

De otro lado, en la Tabla 4 se puede detallar el costo diario, semanal, mensual y anual de pago de horas extras, con los valores legales vigentes, a todos los colaboradores presentes en el proceso de operación de recolección de residuos sólidos en la zona urbana del municipio de El Retiro.

Tabla 4

Costo de hora extra

	Día	Semana	Mes	Año
Salario Hora extra/colaborador	\$ 14.036	\$ 28.072	\$ 224.577	\$ 2.694.920
Salario Hora extra/cuadrilla	\$ 42.108	\$ 84.216	\$ 673.730	\$ 8.084.759
Salario Hora extra/ruta	\$ 126.324	\$ 252.649	\$ 2.021.190	\$ 24.254.277

Nota. Elaboración propia

Anualmente, la empresa Retirar S.A gasta alrededor de \$ 24.254.277 en el pago de horas extras a los colaboradores; este valor es por fuera del valor de pago de nómina por las 8 horas legales laborales que cada colaborador trabaja, y sin contar con reparaciones preventivas y correctivas en los vehículos, que gastan tiempo necesario para la operación.

Además, como se ve en la Tabla 5, los vehículos STZ544 y OAX004 tienen un déficit de tiempo, por lo que no se alcanza a realizar todo el recorrido de la ruta; el valor de ese tiempo adicional está estimado en 38.130 al día. Por su lado, el vehículo OLM073 presenta

un tiempo de recorrido menor que el de los dos anteriores, en tanto que este vehículo solo cumple la función de apoyo en el proceso de recolección. Para lograr una eficientización de los procesos de recolección se sugiere: i) los colaboradores de esta ruta, durante esas 2,14 horas que quedan disponibles, se dediquen a hacer trabajos diversos dentro de la empresa; y ii) las horas sobrantes las dediquen a realizar algunos apoyos a las dos rutas principales, con el fin de facilitar el proceso y dinamizarlo; este escenario explicaría el cómo todas las rutas lograrían terminar todo el recorrido que le corresponde dentro del tiempo máximo de actividad.

Tabla 5

Deficit en costo de las horas faltantes según cálculos

Vehículo	Déficit	Valor del déficit/Colaborador	Valor del déficit/Cuadrilla
STZ544	3,19	\$ 14584,68	\$ 43754,04
OAX004	2,78	\$ 12710,16	\$ 38130
OLM073	-2,14	\$ -9784	\$ -29352,24

Nota. Elaboración propia

Propuesta de mejora: estación de transferencia

Estación de transferencia

Una estación de transferencia o sistema de transferencia tiene como utilidad: recibir los residuos sólidos recogidos por los vehículos recolectores y transferirlos a un vehículo con una capacidad mayor, y que sea éste el que se desplace hasta la planta de tratamiento o relleno sanitario, logrando la disminución de costos de transporte, tiempos de desplazamiento y desgaste de maquinaria, al evitar que los vehículos más pequeños compactadores se vean en la necesidad de dirigirse, todo el camino, hasta el sitio de disposición (Carabias y Quadri, 1996).

Este método de optimización se recomienda para aquellos municipios que tienen una complejidad media-alta y en los que la distancia entre el lugar de recolección y el de disposición final supere los 34,51 km.

Beneficios de la estación de transferencia

Los vehículos utilizados en la estación de transferencia, para realizar el transporte de los residuos, tienen una capacidad promedio de 20-25 toneladas, aproximadamente (Carabias y Quadri, 1996), por lo que las principales ventajas que se encuentran son:

- Disminución de los costos generales de transporte.

- Disminución de las horas no productivas de los colaboradores y los vehículos.
- Aumento de la vida útil de los vehículos y disminución de los costos de mantenimiento.
- Aumento de la eficiencia del servicio de recolección.
- Reducción de contaminación ambiental y afectaciones a la salud pública.

Relación entre la estación de transferencia y la recolección tradicional

La Tabla 6 recolecta la información del tiempo total que se demora cada uno de los vehículos en hacer su recorrido de recolección y en realizar la disposición final. En este sentido, el municipio de El Retiro cuenta con la disposición final de sus residuos en un relleno sanitario ubicado a 86 km de distancia, lo cual es superior a los 34,51 km óptimos para disminuir el tiempo y distancia de disposición final.

Dada la situación actual, es remendable la construcción y gestión de una estación de transferencia para disminuir tiempos en desplazamientos y costos de operación; a su vez, el Decreto 1713 del 6 de agosto de 2002 expone que esta distancia es el punto máximo donde se debe ubicar una estación de transferencia.

En la Tabla 6 también se puede observar la comparación entre los vehículos recolectores y la estación de transferencia, evidenciando un ahorro de tiempo en cada uno de estos vehículos si se contara con dicha estación.

Tabla 6

Relación en tiempo entre los vehículos de recolección, estación de transferencia Bello y Estación de transferencia propia

Vehículo	STZ544			0AX004			OLM073		
	Método	Actual	Est. Bello	Est. Construida	Actual	Est. Bello	Est. Construida	Actual	Est. Bello
Tiempo recolección (h)	2,35	2,35	2,35	1,93	1,93	1,93	0,51	0,51	0,51
Tiempo ir a sitio de disposición final(h)	4,28	2,25	1,70	4,28	2,25	1,70	2,14	1,13	0,85
Tiempo regreso El Retiro	2,85	1,50	1,13	2,85	1,50	1,13	1,43	0,75	0,57
Total tiempo	9,48	6,10	5,18	9,06	5,68	4,76	4,08	2,39	1,93
Ahorro de tiempo respecto a operación actual		3,38	4,30		3,38	4,30		1,69	2,15
% ahorro de tiempo		36%	45%		37%	47%		41%	53%

Nota. Elaboración propia

Para realizar el cálculo de estos tiempos, se tomó como referencia la normativa presente en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Sistemas de Aseo Urbano (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012), la cual expone que un vehículo de recolección compactador no deberá superar los 40 kilómetros por hora (40 km/h) si se encuentra lleno, y los 60 kilómetros por hora (60 km/h) si se encuentra vacío.

Determinando los tiempos de operación de cada ruta, en cuanto al tiempo de recolección, tiempo para ir hasta sitio de disposición final y tiempo de regreso al municipio de El Retiro, se identificaron mejoras en cuando a depositar los residuos en la estación de transferencia de Bello o la estación de transferencia construida con respecto a la operación actual.

Asimismo, teniendo como sitio de disposición final la estación de transferencia ubicada en el municipio de Bello, se identificaron mejoras de 3,38 horas menos en la ruta establecida para los vehículos STZ544 y 0AX004, siendo así una mejora del 36% y 37%, respectivamente, en relación con la operación actual; por su lado, en cuanto al vehículo de apoyo OLM073 se presentó una mejora de 1,69 horas. Con la estación de transferencia construida, de otra parte, se identificaron mejoras en 4,30 horas menos en la ruta establecida para los vehículos STZ544 y 0AX004, siendo así una mejora del 45% y 47%, respectivamente, en cuanto a la operación actual; y el vehículo de apoyo OLM073 presentó una mejora de 2,15 horas.

Entonces, es así como fue posible deducir dos escenarios para que esta actividad pudiera

desarrollarse: el primero, preguntarse por el pago de horas extras a los colaboradores, dado que se extiende el tiempo de la jornada laboral; o si, por el contrario, el vehículo avanza a una velocidad mayor a la establecida por el reglamento mencionado (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012).

Finalmente, se debe hacer la aclaración de que estos tiempos no contemplaron accidentes viales; entendiéndose estos como: trancones, fallas mecánicas, efectos climáticos, obstáculos en la vía e infraestructura vial.

Comparación entre recolección tradicional, estación de transferencia propia y estación de transferencia en Bello

Tras realizar algunas investigaciones, se encontró que existe una estación de transferencia ya construida en el municipio de Bello-Antioquia; esta estación se encuentra ubicada alrededor de 45 km del municipio de el Retiro, por lo que se considera una buena opción para hacer la labor de transferencia y tratamiento de los residuos sólidos.

Además de los costos por horas laboradas, presentes en las Tablas 3,4,5 y 6 se encuentran sobrecostos en peajes, consumo de gasolina y mantenimiento de los vehículos (Tabla 7). Mediante un análisis de operación, se evidenció que la estación de transferencia propia y la estación de transferencia en Bello representan un ahorro significativo en dinero por costos de transporte, esto porque entre más cercano se esté al lugar de recolección, los costos se reducirían, ya que el tiempo de operación disminuye.

Tabla 7

Comparación de costos de transporte de residuos sólidos entre el método actual, una estación de transferencia propia y la estación de transferencia de Bello

Operación	Actualmente		Estación transferencia Bello		Estación transferencia propia	
	Mensual	Anual Actual	Mensual	Anual Bello	Mensual	Anual Construida
Total peajes	\$ 2.608.000	\$ 31.296.000	\$ 1.195.200,00	\$ 14.342.400	\$ -	\$ -
Total gasolina sitio de disposición final	\$ 3.135.193	\$ 37.622.317	\$ 1.648.173,91	\$ 19.778.087	\$ 1.245.286,96	\$ 14.943.443
Total gasolina ruta	\$ 129.267	\$ 1.551.203	\$ 129.266,93	\$ 1.551.203	\$ 129.266,93	\$ 1.551.203
Total mantenimiento	\$ -	\$ 30.263.875	\$ -	\$ 30.263.875	\$ -	\$ 30.263.875
Total	\$ 5.872.460	\$ 100.733.395	\$ 2.972.641	\$ 65.935.565	\$ 1.374.554	\$ 46.758.522

Nota. Elaboración propia

La relación de estos costos no contempla, entre otras cosas, la cuota de mantenimiento que la estación de transferencia en Bello cobraría por hacer la disposición final de los residuos. A su vez, la gestión de una estación de transferencia propia para el municipio de El Retiro no contempla los costos por: estudio y compra de terreno para la ubicación de la estación de transferencia, licencias de construcción, licencias de urbanismo, licencias ambientales y costos de operación; estos últimos contemplan compra de vehículos apropiados para la tarea de transporte y disposición, mantenimiento de la maquinaria y costos en contratación de talento humano.

Al realizar el comparativo en costos de lo que conlleva una estación de transferencia propia y una estación de transferencia ubicada en Bello, en relación con la recolección actual, se encontraron algunos ahorros que representan una diferencia significativa. Los datos recolectados en la Tabla 8 muestran que la construcción de una estación de transferencia propia representa un ahorro del 54%, en comparación con la operación actual; por su parte, la estación de transferencia, ubicada en el municipio de Bello, representa un ahorro del 35%, que sigue siendo un ahorro muy significativo en comparación con los costos actuales de ejecución.

Tabla 8
Porcentaje de ahorro en la comparación

	Total costos mensual	Total costos anual	Total ahorro con respecto a operación actual	% ahorro
Actualmente	\$ 5.872.460	\$ 100.733.395		
Con estación de transferencia Bello	\$ 2.972.641	\$ 65.935.565	\$ 34.797.830	35%
Con estación de transferencia propia	\$ 1.374.554	\$ 46.758.522	\$ 53.974.873	54%

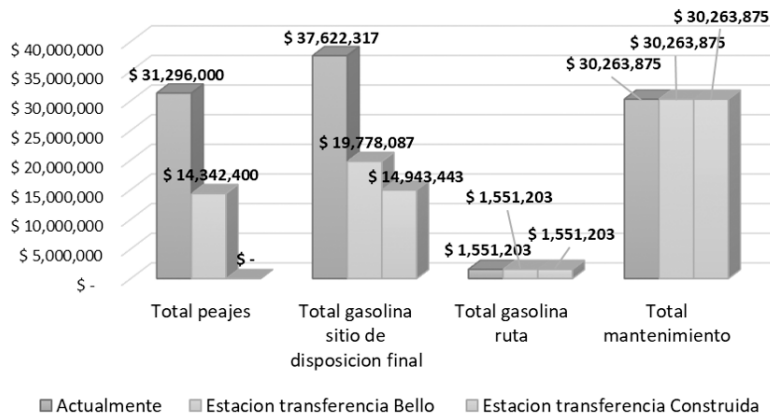
Nota. Elaboración propia

Si se separan los costos (Figura 7), se encuentra que el rubro más alto es el costo por consumo de combustible al sitio de disposición final y pago de peajes que se encuentran en el camino hasta este sitio, y donde, como con anterioridad se había expresado, el método con mayor sobre costo lo representa la recolección actual realizada por la empresa. Para el caso de las estaciones de transferencia, la estación ubicada en el

municipio de Bello representa altos costos en pago de peajes y desplazamiento, siendo el segundo rubro más alto; mientras que una estación de transferencia propia no representa altos costos en transporte y en pago de peajes; aun así solo se está haciendo énfasis en la operación de transporte. Para tomar la decisión de gestión de una estación de transferencia propia para el municipio deben hacerse estudios de fiabilidad con las variables anteriormente expuestas.

Figura 7

Relación entre costos de operación de transporte y métodos de operación



También, de acuerdo con los gastos que tiene la empresa, se identificó que el gasto de consumo de combustible en las rutas realizadas por los diferentes vehículos, y el mantenimiento anual son constantes, por lo que se hace el comparativo de mejora con los costos de los peajes y el consumo de combustible de los vehículos para ir hasta el sitio de disposición final (Tabla 9).

Tabla 9

Porcentaje de gastos

Operación	Actual	Estación transferencia Bello	Estación transferencia construida
% Costo peajes	45%	42%	0%
% Costo de gasolina sitio de disposición final	55%	58%	100%

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, observando la Tabla 9, se identificó que con el desplazamiento hasta la estación de transferencia construida hay una mejora del 45% en cuanto al gasto de peajes y un 45% en cuanto al gasto de consumo de combustible hasta sitio de disposición final, con respecto a la operación actual. De otro lado, con el desplazamiento hasta la estación de transferencia de Bello, para depositar los residuos sólidos, se presentó una mejora del 3% en cuanto al gasto de peajes y un 3% en cuanto al gasto de consumo de combustible.

Conclusiones

El proceso de recolección de residuos sólidos es un derecho con el que cuentan todas las personas que habitan un mismo espacio. En la actualidad, tras el incremento constante del consumismo de las personas, este servicio ha adquirido una valoración importante y se ve en la obligación de mejorar sus actividades, actualizar sus máquinas y herramientas, reahalizar procesos de capacitación a sus colaboradores, entre otras actividades para dar cumplimiento total a éste.

El conocimiento de las diferentes variables que afectan un proceso es de vital importancia para tener un mayor control de éste, dado que a partir de estas variables se puede realizar la debida medición y, de esta forma, el seguimiento adecuado a todas las actividades presentes. El proceso de operación de recolección de residuos sólidos depende directamente de variables de distancia, peso y tiempo, las cuales describen y presentan los lineamientos de operación del proceso.

A partir de los análisis realizados, se evidencia que el sector predominante en la zona urbana del municipio de El Retiro es el sector residencial, con un porcentaje del 87.89% sobre el total de los predios recorridos. Adicional a esto, en la recolección de los residuos sólidos, la ruta que más residuos recoge es la recorrida por el vehículo de recolección STZ544, dado que recorre el 56.57% de los predios totales, y además cuenta con una capacidad más elevada (11 Toneladas), lo que le permite recoger mayor porcentaje de residuos residenciales y comerciales, con un 51.25% y 59.88%, respectivamente, sobre el total de los kilogramos a recoger.

En relación con los tiempos de recolección, se reconoce que el tiempo real laborado es poco, y no alcanza para realizar todo el recorrido en un tiempo normal de 8 horas diarias; esto debido a las diferentes paradas que realiza el vehículo y al desplazamiento de éste hasta el sitio de disposición final, que representa una gran demora en la realización de las tareas propias de la recolección. A su vez, se evidencia un faltante en tiempo de recolección para cada uno de los vehículos, que debe ser suplido en horas extras, y que representa una suma total de \$ 24.254.277 anuales; valor únicamente del pago correspondiente al total de horas extras generadas, necesarias para culminar con el proceso de recolección.

Es por esto por lo que se presentan dos opciones de mejora: la primera opción es la construcción de una estación de transferencia propia para el municipio de El Retiro, que sea diseñada para satisfacer sus necesidades de

recolección y disposición, y que en un tiempo futuro pueda prestarse para una alianza entre los municipios del Oriente antioqueño, cercanos al municipio de El Retiro, y que presenten los mismos problemas de éste en el proceso; la segunda opción, es solicitar permiso de utilización de la estación de transferencia ubicada en el municipio de Bello, Antioquia.

Con el análisis de costos realizado, tanto para los tiempos de transporte como los diferentes gastos presentes en las distancias recorridas hasta el sitio de disposición final de los residuos, se reconoce una disminución consider-

able en relación con los costos presentes en el proceso que actualmente se lleva; con la diferencia de que, en relación con los pagos de peajes y costos por gasolina, la estación de transferencia propia para el municipio muestra grandes beneficios y ahorros. Se hace la aclaración de que no se están contemplando costos por construcción y ejecución; solo se analizan los valores de ahorro anteriormente expuestos.

Finalmente, la estación de transferencia trae grandes beneficios a la empresa, tanto de tiempo como económicos, ahorrando \$ 43.083.976 al año, y haciendo la operación más productiva.

Referencias bibliográficas

- Carabias, J., & Quadri, G. (1996). *Estaciones de transferencia de residuos sólidos en áreas urbanas*. Instituto Nacional de Ecología. <https://docplayer.es/1552216-Estaciones-de-transferencia-de-residuos-solidos-en-areas-urbanas.html>
- Castro, J. A., & Zuluaga, C. A. C. (2013). HERRAMIENTA PARA ENSEÑANZA DEL MODELO (s, Q) MEDIANTE SIMULACIÓN EN UN CURSO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS. *Encuentro Internacional de Educación En Ingeniería*.
- Constitucional, C., & DE CONSTITUCIONALIDAD, S. P. (1990). Código sustantivo del trabajo. Bogotá: Corte Constitucional. Recuperado de <Http://Www.Alcaldiabogota.Gov.Co/Sisjur/Normas/Normal.Jsp>.
- Henoa Guzmán, B., & Piedrahita Arana, J. (2015). *Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de Zarzal Valle del Cauca* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/9103/CB-0524924.pdf?sequence=1>
-

- Márquez Pérez, J. N. (2008). *Macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad de Sucre]. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/299/628.442M357.pdf;jsessionid=8BD06B4B5F3BF28DC9B5D37EA4CD6DCC?sequence=2>
- Mejía Zafra, C. A. (2009). A methodology for designing urban solid waste collection by means of extreme generation factors: Fixed Box Systems (FBS) [Una metodología para el diseño de la recolección de residuos sólidos urbanos mediante factores de generación extrema: Sistemas de Cajas Fijas (FBS)]. *Ingeniería e Investigación*, 29(2), 119–126. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-56092009000200019
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2012). *Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS. Título F. Sistemas de aseo urbano*. https://www.academia.edu/16307025/Reglamento_T%C3%A9cnico_del_Sector_de_Agua_Potable_y_Saneamiento_B%C3%A1sico_-RAS_T%C3%8DTULO_F
- Murillo Gil, I. A. (2015). *Propuesta de un sistema de gestión de inteligencia empresarial para el fomento de la innovación en pymes desde la Universidad de Medellín*. Tesis de grado. Universidad Pontificia Bolivariana. URL: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/2595>
- Presidencia de la República de Colombia. (6 de agosto de 2002). *Decreto 1713*, por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. <https://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2002decreto1713.pdf>
- Presidencia de la República de Colombia. (20 de diciembre de 2013). *Decreto 2981*, por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1505864#:~:text=DECRETO%202981%20DE%202013&text=por%20el%20cual%20se%20reglamenta%20la%20prestaci%C3%B3n%20del%20servicio%20p%C3%BAblico%20de%20aseo.&text=CONSIDERANDO%3A,el%20servicio%20p%C3%BAblico%20de%20aseo>
-

- Racero Moreno, J., & Pérez Arriaga, E. (2006). Optimización del sistema de recolección de residuos sólidos domiciliario (Ecoeficiencia). En Asociación para el Desarrollo de la Ingeniería de Organización (Ed.), *X Congreso de Ingeniería de Organización* (pp. 1-14). Adingor. http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2006/aprov_diŕtr_transporte//000226_final.pdf
- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Sistemas de Aseo Urbano. TITULO F, (2000).
- Salvato, J, Nemerow, N, Agardy, F. (2003). *Environmental Engineering*,.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2018). *Informe de disposición final de Residuos sólidos-2017*. Superservicios.
-