

**PROPUESTA DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE ENTREGA
VOLUNTARIA DE RESIDUOS APROVECHABLES Y RECOLECCIÓN
SELECTIVA EN MUNICIPIOS DE MENOS DE 50.000 HABITANTES**

JUAN CAMILO DÍAZ ÁLVAREZ

MANUEL ALEJANDRO MILLÁN MILLÁN



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2017**

**PROPUESTA DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE ENTREGA
VOLUNTARIA DE RESIDUOS APROVECHABLES Y RECOLECCIÓN
SELECTIVA EN MUNICIPIOS DE MENOS DE 50.000 HABITANTES**

**JUAN CAMILO DÍAZ ÁLVAREZ
MANUEL ALEJANDRO MILLÁN MILLÁN**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Director

Msc. Julián González Velasco

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2017**

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Jurado (1)

Jurado (2)

Zarzal, Valle del Cauca, Febrero 17 de 2017.

AGRADECIMIENTOS

Primero y principal, quiero agradecerles de corazón a mis padres, María Mercedes Álvarez Umaña y Luis Milton Díaz Claros, quienes han sido mi motor emocional para lograr la culminación de mi etapa universitaria.

A mi amigo y compañero de trabajo de grado Manuel Alejandro Millán Millán, por brindar todo su conocimiento y aportes valiosos para el desarrollo exitoso de este trabajo.

A toda mi familia que de una u otra forma siempre me han brindado su apoyo incondicional, en especial a mi hermano que siempre ha estado a mi lado.

A nuestro director de trabajo de grado, el Msc. Julián González Velasco por todo su apoyo y conocimiento aportado para la realización de este trabajo.

Por último, un agradecimiento muy especial a la Universidad del Valle sede Zarzal, por abrirme sus puertas y formarme como profesional. También, agradecerle a todos mis compañeros por ser tan excelentes personas y colegas.

Juan Camilo Díaz Álvarez

Antes que nada a mi Madre Martha Lucia Millán Ruíz y a mi Abuela Olga Maria Ruíz de Millán que siempre creyeron en mí y me brindaron todo su apoyo; gracias a ellas por todo su amor, compañía, conocimiento, por darme la vida y que con su ejemplo me guían día a día de la mejor manera enseñándome que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr los objetivos más anhelados.

A mi familia, por brindarme siempre un hogar cálido, por su apoyo, sus mejores deseos para que sea cada día una mejor persona y un mejor profesional y porque no existen palabras que puedan expresar su fe y amor incondicional.

A mi amigo, colega y compañero de trabajo de grado Juan Camilo Díaz Álvarez por la oportunidad de trabajar con él y crecer como profesional y persona. Siempre puso todo de sí para que pudiéramos hacer este trabajo, además, por toda la paciencia, todo el tiempo y dedicación.

A Claudia Marcela Triana Llanos que con su apoyo, su alegría, su compañía, sus enseñanzas, su conocimiento logro sacar siempre lo mejor de mí en cada momento, sobre todo en los momentos más importantes y difíciles de mi formación.

A mis compañeros de estudio por ser excelentes amigos y profesionales, siempre buscando lograr el objetivo todos juntos.

Y a todas las personas de la Universidad del Valle Sede Zarzal que me enseñaron, apoyaron en el proceso formativo y a nuestro director de grado Julián González Velasco por todo el apoyo para la realización de este trabajo.

Manuel Alejandro Millán Millán

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	6
INTRODUCCIÓN	10
1 GENERALIDADES DEL PROYECTO	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
2 JUSTIFICACIÓN.....	19
3 OBJETIVOS.....	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
4 MARCO REFERENCIAL	22
4.1 ESTADO DEL ARTE.....	22
4.2 MARCO CONTEXTUAL	28
4.3 MARCO CONCEPTUAL	38
4.4 MARCO NORMATIVO.....	42
5 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	47
6 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS APROVECHABLES.	49
7 IDENTIFICACIÓN DE LOS POSIBLES PUNTOS DE ENTREGA VOLUNTARIA (PEV).	57
8 MODELACIÓN MATEMÁTICA	88
9 ANÁLISIS DE ESCENARIOS	94
10 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	106
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES.....	115
BIBLIOGRAFÍA.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proyección generación per cápita.....	16
Tabla 2. Proyección población municipal.....	17
Tabla 3. Normas y principios ambientales contenidos en la Constitución Política de Colombia.....	43
Tabla 4. Algunas Normas Generales.	44
Tabla 5. Normatividad sobre residuos sólidos.	45
Tabla 6. Distribución de casas y manzanas por barrio.	52
Tabla 7. Volumen de residuos sólidos por barrio.	54
Tabla 8. Coordenadas geodésicas y cartesianas por barrio.	58
Tabla 9. Matriz de distancias	61
Tabla 10. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 1	79
Tabla 11. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 2	79
Tabla 12. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 3	80
Tabla 13. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 4	80
Tabla 14. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 5	81
Tabla 15. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 6	81
Tabla 16. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 7	82
Tabla 17. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 8	82
Tabla 18. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 9	83
Tabla 19. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 10	83
Tabla 20. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 11	84
Tabla 21. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 12	84
Tabla 22. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 13	85
Tabla 23. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 14	85
Tabla 24. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 15	86
Tabla 25. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 16	86
Tabla 26. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 17	87
Tabla 27. Datos del escenario No. 1.....	94
Tabla 28. Reducción de la tarifa de recolección del escenario No. 1.....	95
Tabla 29. Ganancias por venta de residuos aprovechables recuperados del escenario No. 1.....	95
Tabla 30. Ganancias por venta de cada día de recolección del escenario No. 1 ..	96
Tabla 31. Ganancias del escenario No. 1	96
Tabla 32. Costos del escenario No. 1	97
Tabla 33. Período de tiempo del escenario No. 1	97
Tabla 34. Datos del escenario No. 2.....	98
Tabla 35. Reducción de la tarifa de recolección del escenario No. 2.....	98
Tabla 36. Ganancias por venta de residuos aprovechables recuperados del escenario No. 2.....	99
Tabla 37. Ganancias por venta de cada día de recolección del escenario No. 2 ..	99
Tabla 38. Ganancias del escenario No. 2	100
Tabla 39. Costos del escenario No. 2	100
Tabla 40. Período de tiempo del escenario No. 2	101

Tabla 41. Datos del escenario No. 3.....	102
Tabla 42. Reducción de la tarifa de recolección del escenario No. 3.....	102
Tabla 43. Ganancias por venta de residuos aprovechables recuperados del escenario No. 3.....	103
Tabla 44. Ganancias por venta de cada día de recolección del escenario No. 3	103
Tabla 45. Datos del escenario No. 3.....	104
Tabla 46. Costos del escenario No. 3.....	104
Tabla 47. Período de tiempo del escenario No. 3.....	105
Tabla 48. Coordenadas de los puntos verdes.	107
Tabla 49. Cuadro comparativo de los criterios económicos.....	112
Tabla 50. Cuadro comparativo de los períodos de tiempo.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición porcentual de residuos municipales	15
Figura 2. Modelo Matemático en lenguaje de programación AMPL.....	71
Figura 3. Ubicación geográfica de los barrios en el casco urbano.....	77
Figura 4. Matriz de distancias de los 17 puntos verdes hallados	92
Figura 5. Resultados arrojados por la consola AMPL	92
Figura 6. Ubicación geográfica de los puntos verdes	111

INTRODUCCIÓN

A nivel global, el hecho de pensar en los residuos genera un sentimiento de desagrado inmediato, no obstante, se tiene que convivir con ellos y no sólo en el ámbito del propio hogar, sino también en las calles, carreteras, andenes, parques, escuelas, plazas de mercado, en cualquier lugar. Los residuos son el resultado de las diversas actividades que realiza el hombre en su diario vivir, los cuales se convierten en un inconveniente mayor a la hora de almacenarlos, disponerlos o eliminarlos.

En municipios de menos de 50.000 habitantes como lo es el caso del municipio de Zarzal Valle del Cauca; un lugar donde de acuerdo con la evaluación realizada por la administración municipal en el año 2015 y a cargo de la dependencia de la UMATA (2015), quienes por medio del programa de Recuperación, Aprovechamiento y Comercialización de Residuos, establecido en el plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) se genera actualmente un promedio de 9,4 toneladas de residuos diarios en el casco urbano, de los cuáles el 19,51% son aprovechables.

De acuerdo con lo anterior, se hace necesario aprender a manejar y aprovechar adecuadamente los residuos que se producen, dejarlos de ver como desechos y verlos como residuos aprovechables, que se pueden transformar en otro bien, con valor económico.

El presente trabajo busca la manera de adecuar sitios de entrega voluntarias de residuos aprovechables a lo largo y ancho de cualquier municipio que posea menos de 50.000 habitantes, siendo para este trabajo el objeto de estudio el municipio de Zarzal Valle; todo esto con el fin de darle un uso adecuado a dichos residuos. En una primera instancia se describirán algunas generalidades del tema que se abordará, que para este caso es el manejo de residuos sólidos aprovechables, junto con un marco contextual en el cual se dará a conocer toda la información histórica y relevante acerca del tema objeto de estudio. También se realizará una evaluación del sistema de recolección del municipio caso de estudio, esto con el fin de conocer más a fondo la problemática que se vive en dicho municipio. Una vez identificado el diagnóstico del sistema actual se procederá a diseñar y formular los métodos con que se dará una solución a la problemática.

Con lo anterior, se pretende llevar a cabo mediante agrupaciones de barrios (clúster) de forma tal, que cada ciudadano recorra la menor distancia posible para llegar al punto de entrega voluntaria. Se llevará a cabo por medio del método de centro de gravedad, basado en las distancias mínimas de cada sector de la población, con lo cual se dará a conocer los puntos exactos en donde se deben realizar las entregas voluntarias.

Adjunto a esto, se propone un modelo de ruteo el cual permitirá identificar la secuencia óptima para realizar la debida recolección de los residuos aprovechables. Por último, se definirán los costos asociados a las instalaciones de los puntos de entrega voluntaria y se realizará la viabilidad financiera del proyecto.

1 GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante muchos años, el hombre a través de sus prácticas diarias de tipo doméstico, comercial, industrial requiere de procesos sencillos o complejos que generan una diversidad de productos e igualmente desechos que se suelen generalmente considerar como inservibles, pero que tienen una gran utilidad, a estos se les denomina: residuos. Dentro de estos residuos se encuentran diferentes tipos según (Villamil, 2013) clasificados de acuerdo a su estado (líquido, sólido, gaseoso), a su origen (residencial, comercial, industrial, entre otros), a su manejo (peligroso e inerte) y por último a su composición (orgánica e inorgánica).

En la actualidad, el planeta está atravesando una crisis por la inadecuada disposición que se da a los desechos que se generan de los procesos que diariamente el ser humano ejecuta, donde se ven directamente afectada la calidad de vida de las personas y los recursos naturales como son el agua, el aire y la tierra misma. Algunas personas arrojan desechos a fuentes hídricas, (tales como océanos, arroyos, ríos, entre otros), suelos fértiles y zonas no residenciales, generando así problemas de salubridad pública, de calidad de vida y afectando el funcionamiento natural de los ecosistemas.

Dicha disposición de residuos genera deterioro al ambiente, por ello el primero de los impactos directos que esto conlleva es la contaminación de las fuentes hídricas, tanto subterráneas como superficiales debido principalmente al vertimiento de desechos a ríos, arroyos y canales. En las fuentes hídricas subterráneas su mayor fuente contaminante es el líquido lixiviado producido por la descomposición de los residuos en vertederos que carecen de sistemas de drenaje o no corresponden a lugares de disposición inadecuados y las fuentes superficiales por la contaminación directa de residuos por parte de ser humano.

De acuerdo con los datos suministrados por el Ministerio de Ambiente (2014), se estima que en Colombia el deterioro ambiental genera un costo anual equivalente al 3.5% del PIB, siendo notables las pérdidas asociadas con el deterioro de servicios eco sistémicos. Por ejemplo, la degradación de los servicios relacionados con la regulación hídrica y la estabilidad de los suelos, combinada con la acentuación del período de excesos hídricos, contribuyó a que entre el 2010 y el 2011 se destruyera cerca del 14% de la red vial nacional. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

En concordancia con lo anterior, un artículo del diario el espectador (2014), menciona que Colombia cuenta con basta riqueza hídrica, pero de igual forma cuando se visitan o se da cuenta del estado de las pequeñas quebradas que abastecen los municipios, se puede evidenciar unas condiciones críticas en ciertas épocas del año; lo cual no permite cumplir a cabalidad que se estipula por la constituyente, que decreta que todos los seres humanos tienen derecho a agua dulce y superficial (El Espectador, 2014)

Un segundo impacto, es la contaminación de suelos también conocida como contaminación exógena que proceden de los aportes indirectos a través del aire, que con el tiempo se depositan por vía seca o húmeda sobre el suelo, siendo la minería y la producción de energía las actividades industriales que contribuyen en mayor medida a este tipo de contaminación, junto con la incineración de plásticos, los residuos orgánicos, los combustibles fósiles, el uso inadecuado de fertilizantes minerales y productos fitosanitarios, el vertido de los residuos que se generan (estiércol, purines, residuos sólidos urbanos, lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales), y la utilización de aguas de calidad inadecuada para uso agrícola. Los vertidos industriales o la implantación de vertederos donde se acumulan distintos tipos de residuos, son además otras fuentes importantes de contaminación por metales pesados que producen impactos negativos en el comportamiento de los suelos, además de los efectos adversos y directos en los organismos que viven en él; esto finalmente produce una degradación química que provoca la pérdida parcial de la productividad, en la cual se alteran las condiciones fisicoquímicas de este, generando una disminución de sus funciones.(El tiempo, 2014)

Por otra parte, se plantea que el mayor problema que existe para darle un uso adecuado a los recursos de la tierra y generar una disminución en su deterioro, es la poca normativa a nivel nacional que existe y la escasa implementación de las leyes que están reglamentadas. Bajo este panorama, se considera entonces que uno de los mecanismos de regulación que puede llevar a la conservación y protección de los recursos naturales, como el suelo, es el diseño de instrumentos económicos que se ajusten a las características particulares del recurso y representen sus condiciones, de tal manera que logren obtener un verdadero beneficio económico, social y ambiental, de acuerdo a lo planteado por Silva, S & Correa, F (2009).

El tercer impacto es la contaminación al aire también llamada la contaminación atmosférica que consiste en la emisión de partículas químicas como monóxido y dióxido de carbono, que son arrojadas al medio ambiente en un porcentaje elevado,

cuyos efectos se convierten en nocivos para la salud, amenaza la seguridad de los habitantes del planeta y afecta el bienestar de los mismos. Esta contaminación también se considera nociva desde el momento que impide el desarrollo de las especies, su procreación y su natalidad, teniendo impactos directos en la salud de las personas.

Dentro de los contaminantes comprobados de la atmósfera se debe tener en consideración los clorofluorocarbonos (CFC), el monóxido de carbono, el dióxido de carbono y azufre, el metano, y el ozono (cuando supera los rangos establecidos), son los contaminantes más conocidos, abordados y con mayor influencia en la atmósfera.

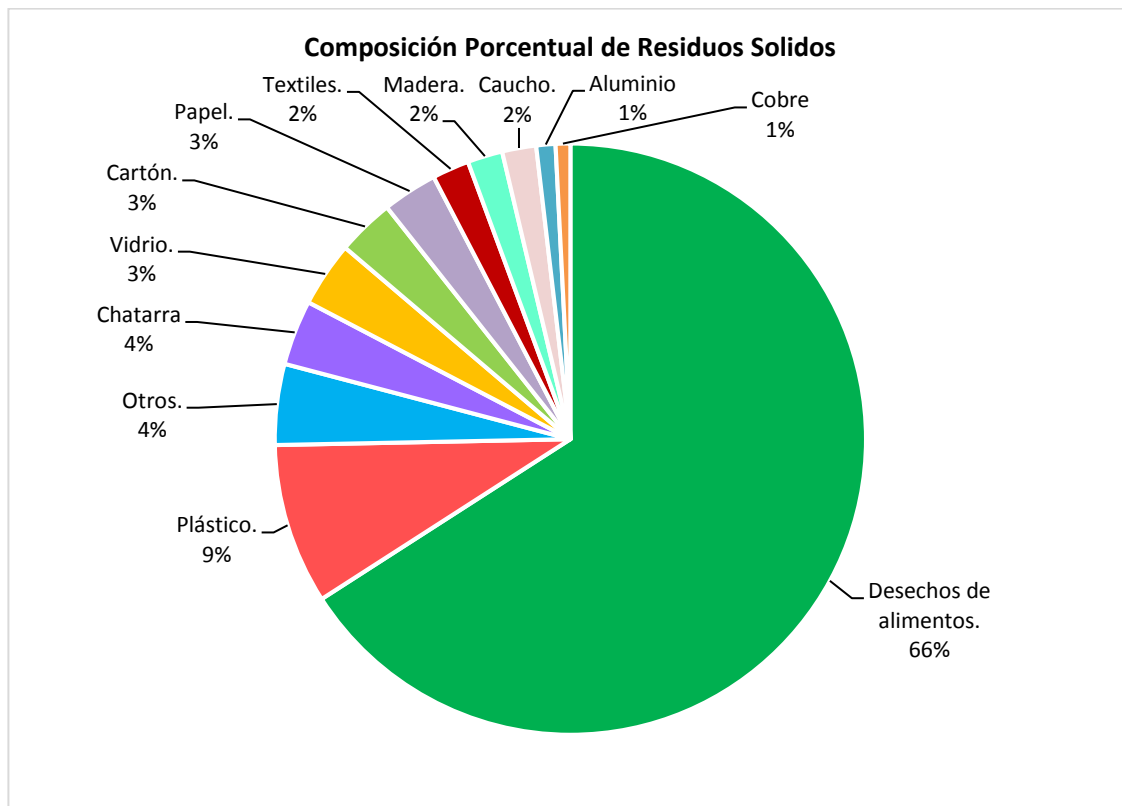
Los efectos mencionados a raíz de la contaminación ha producido cambios climáticos en algunas zonas del planeta que sufren sequías, mientras otras tienen que verse expuestas a inundaciones nunca antes registradas, adicionalmente los polos glaciares se están viendo afectados por el aumento global de la temperatura, lo que provocan un derretimiento de la capa polar aumentando el volumen de los océanos, desapareciendo las ciertas zonas que están al nivel del mar como islas y afectando la vida de las especies marinas.

Según cifras, el país produce al día unas 31 mil toneladas de residuos sólidos, de los cuales un 85% que pudieran ser aprovechados están teniendo como destino los rellenos sanitarios, que están próximos a completar su capacidad; es decir que, 11.315.000 toneladas por año que es generado en Colombia de residuos sólidos, 9.617.750 que pudieran ser aprovechables. (Maryluz Mejía de Pumarejo, 2014)

En lo que respecta a Colombia, el 61,62% de los residuos sólidos son orgánicos, el 31,10% son aprovechables y el 7,27% restante no aprovechables. Según El Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE con base a su última investigación en Colombia la disposición final de los residuos son en un 32% en rellenos sanitarios, 3 % en enterrados, un 50% a cielo abierto y un 15% a cuerpos de agua. Todo esto conlleva a una problemática ambiental ya que son dispuestos en lugares que no cumplen con las técnicas especiales que permitan un mejor manejo, utilización y aprovechamiento. (ACODAL, 2014)

A continuación, se anexa la Figura 1. con la composición porcentual de residuos sólidos generados por los habitantes del municipio objeto de estudio, evidenciando el amplio porcentaje de residuos aprovechables tratados, como lo son el papel, el cartón, el plástico y el vidrio.

Figura 1. Composición porcentual de residuos municipales



Fuente: Equipo PGIRS Zarzal, 2015

El municipio de Zarzal, Valle del Cauca, no es ajeno a esta problemática, ya que dicho municipio produce un estimado de 14 toneladas diarias de residuos sólidos, de las cuales 9,2 toneladas son producidas en el casco urbano del municipio. Los cuales no tienen un lugar específico en donde puedan ser debidamente recolectados, tratados y aprovechados, por el contrario son vertidos en cielo abierto, causando de esta manera la propagación y proliferación de gases tóxicos los cuales van a repercutir directamente sobre el medio ambiente y la salud de la comunidad en general.(Equipo PGIRS Zarzal, 2015)

En ese orden de ideas, en promedio cada habitante del municipio actualmente produce 0,2877Kg y se pronostica que para el año 2026 cada habitante generará 0,3210Kg, lo que es un crecimiento del 0,0433 Kg. Como se expone en la tabla No. 1, se puede apreciar la proyección de generación per cápita de kilogramo por habitante por día en el casco urbano y el área rural durante los próximos 12 años.

Tabla 1. Proyección generación per cápita

PROYECCIÓN GENERACIÓN PER CÁPITA		
AÑO	ZONA URBANA (Kg./Habitante./Día)	ZONA RURAL (Kg./Habitante./Día)
2015	0,2877	0,3734
2016	0,2906	0,3771
2017	0,2935	0,3809
2018	0,2964	0,3847
2019	0,2994	0,3886
2020	0,3024	0,3924
2021	0,3054	0,3964
2022	0,3085	0,4003
2023	0,3115	0,4043
2024	0,3147	0,4084
2025	0,3178	0,4125
2026	0,3210	0,4166
2027	0,3242	0,4208

Fuente: Equipo PGIRS Zarzal, 2015

En materia de residuos reciclables o aprovechables, la mayor preocupación de la comunidad es qué hacer con dichos residuos una vez se haya adelantado el proceso de separación en la fuente, puesto que todo el proceso de separación se realiza de la manera tradicional, donde el usuario presenta los residuos separados en los puntos de recogida que son establecidos previamente por las empresas de recolección. Una vez depositados estos residuos en las zonas de “recogida”, la ruta de recolección toma los residuos en las respectivas bolsas y los transfiere a un mismo compartimento (tanto los recuperables, como los residuos de alimentos y los no recuperables) del vehículo recolector, es decir, la labor realizada por el usuario se pierde en el proceso de recolección al no existir una adecuada recogida selectiva. La recolección selectiva en poblaciones de menos de 50.000 habitantes no es una alternativa financieramente viable por los costos que ésta actividad conlleva; es por ello que se deben explorar alternativas que garanticen alcanzar un volumen de recuperación de residuos importantes y que sean económicamente favorables. Es por tal motivo que la localización de puntos de entrega voluntaria de residuos reciclables es una alternativa susceptible de ser desarrollada en municipios de baja población.

A continuación, en la Tabla No. 2 se puede apreciar la proyección que se tiene del municipio en cuanto al crecimiento poblacional y a la cantidad de generación de residuos sólidos en el casco urbano y el área rural de la población para los próximos 12 años.

Tabla 2. Proyección población municipal

AÑO	ZONA URBANA	PROYECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (Kg./Día)	ZONA RURAL	PROYECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS RURALES (Kg./Día)
2015	31628	9099,38	13159	4913,57
2016	31789	9237,14	13226	4987,96
2017	31951	9376,99	13293	5063,48
2018	32113	9518,96	13361	5140,14
2019	32277	9663,07	13429	5217,96
2020	32441	9809,37	13497	5296,96
2021	32606	9957,88	13566	5377,16
2022	32772	10108,65	13635	5458,57
2023	32939	10261,69	13704	5541,21
2024	33106	10417,05	13774	5625,10
2025	33275	10574,77	13844	5710,27
2026	33444	10734,87	13915	5796,72
2027	33614	10897,39	13985	5884,48

Fuente: (Equipo PGIRS Zarzal, 2015)

La tecnología pone a disposición de la comunidad diferentes equipamientos que hacen del proceso de recuperación de material reciclable sea una opción a considerar para los municipios, tecnologías que van desde la más sencilla como es la ubicación de un recipiente, hasta la más sofisticada maquinaria que además de compactar, apilan el material recuperado para ser recogido y transportado a centros de acopio.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el presente trabajo de investigación aborda la problemática de asignación de usuarios a puntos de entrega voluntaria de residuos

aprovechables y la localización de los mismos en municipios de menos de 50.000 habitantes, tomando como caso de estudio el municipio de Zarzal ubicado al norte del Valle del Cauca.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con base en lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Dónde localizar puntos de entrega voluntaria de residuos aprovechables que contribuya a maximizar su recuperación?

2 JUSTIFICACIÓN

El inadecuado manejo de residuos sólidos generados diariamente por la comunidad es un agravante que ha venido sucediendo desde sus inicios en el municipio de Zarzal Valle del Cauca, esto en gran parte por la falta de cultura ambiental que posee sus habitantes, sumándole que el municipio no cuenta con un sistema de gestión integrado de manejo de residuos sólidos. La alcaldía municipal tampoco propone alternativas para darle una solución definitiva a la problemática que está generando grandes daños tanto ambientales como para la calidad de vida de la población. Cada año la ausencia de cultura ambiental y el aumento poblacional agrava esta problemática generando la necesidad de buscar alternativas bioamigables que logren mitigar los daños ambientales provocados por la falta de un sistema de manejo de residuos aprovechables.

Algunas de las alternativas para una recolección selectiva propuesta por la comunidad es la de generar recogidas puerta a puerta, para así de esta manera tener la certeza de que los residuos aprovechables tendrán un destino productivo. Pero, debido a la falta de incentivos y de no contar con lugares aptos para la disposición final de dichos residuos esto no se ha podido llevar a cabo. Una propuesta factible y sensata sería la ubicación de puntos ecológicos ubicados cerca de la comunidad donde esta pudiera depositar sus residuos aprovechables, de esta manera el municipio tendría una solución factible y amigable con el medio ambiente frente a esta problemática.

Desde la Ingeniería Industrial, se pueden abordar temas y obtener herramientas que ayuden a solucionar la problemática que padece el municipio objeto de estudio, todo esto mediante técnicas de localización estratégicas y rutas de recolección adecuadas para de esta manera poder solventar y ayudar a la crisis ambiental que padece el municipio.

Con la realización de este proyecto se pretende lograr en mediano plazo una sostenibilidad económica en donde se vea beneficiada tanto la comunidad como el medio ambiente. Es por esto la importancia de poder implementar un proyecto de estas características, amigable con el medio ambiente y con el cual se pretende fomentar de cierta manera el empleo para personas que así lo necesiten ayudando así de esta manera al desarrollo sostenible del municipio.

Los principales impactos con que contaría este proyecto son:

Impacto social

El municipio de Zarzal Valle del Cauca, no ha si ajeno a la problemática ambiental que padecen grandes ciudades, por el contrario ha sido víctima de una gran contaminación por parte de personas inescrupulosas que arrojan sus residuos tanto en zonas rurales como en zonas urbanas.. Consideramos que el principal aporte con este proyecto es tener un municipio sin residuos aprovechables en zonas verdes, ríos y demás lugares que no son los indicados para dar disposición final a dichos residuos. Con la implementación del proyecto se espera tener un municipio más amigable con el ambiente, protegiendo nuestros recursos hídricos y sobre todo preservando las zonas verdes.

Impacto ambiental

El manejo de los residuos sólidos se ha convertido más que en un deber, en una preocupación para las comunidades en general, como ya lo sabemos el municipio de Zarzal no es ajeno a esto, es por esto la importancia del proyecto con respecto a la preservación de los ecosistemas y de las zonas verdes. A pesar de que el municipio de Zarzal no cuenta con una gran extensión en cuanto a zonas verdes, las pocas zonas que hay deben ser conservadas y protegidas, ya que es responsabilidad tanto de la administración municipal como de la ciudadanía en general mantener el municipio en idóneas condiciones. Es por esto que el proyecto busca brindar un apoyo al impacto ambiental que se genera en el municipio, reduciendo de una manera notable los residuos aprovechables en las calles y demás zonas verdes.

Impacto financiero

El proyecto financieramente hablando es viable, debido a sus márgenes de utilidad. Con la implementación de este proyecto, los beneficios se verían reflejados en la conservación de parques y demás zonas verdes, además de ayudar a lo población con las demás utilidades generadas. Por otro lado, el proyecto ayudaría a fomentar el empleo, ya que para cada centro de entrega voluntaria se necesitará personal que trabaje en dichos lugares, cada uno con su debida remuneración económica.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo de localización de puntos de entrega voluntaria y recolección de residuos sólidos aprovechables en el municipio de Zarzal Valle del Cauca.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el municipio objeto de estudio con el fin de definir la situación actual de la red de recolección de residuos.
- Identificar las posibles localizaciones de los puntos de entrega voluntaria de residuos aprovechables a través del método de centro de gravedad.
- Proponer un modelo matemático que permita establecer la ruta óptima para la debida recolección de los residuos aprovechables en los puntos de entrega voluntaria.
- Elaborar un análisis financiero de la propuesta para el municipio objeto de estudio.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 ESTADO DEL ARTE

En la parte metodológica, (Saaty, 1987) The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York.) Propuso el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) basándose en la idea de que la complejidad inherente a un problema de toma de decisión con criterios múltiples, se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados. Este método puede considerarse, según la orientación dada al mismo, de muy diversas maneras. Su contribución es importante en niveles operativos, tácticos y estratégicos, sirviendo para mejorar el proceso de decisión debido a la gran información que aporta y a la mejora en el conocimiento del problema. Según Saaty, el método AHP es un modelo de decisión que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala de razón dentro de una estructura jerárquica establecida. Es un método de selección de alternativas (estrategias, inversiones, etc.) en función de una serie de criterios o variables, las cuales suelen estar en conflicto.

Bosques et al. (1999) en su trabajo “Localización de centros de tratamiento de residuos: una propuesta metodológica basada en un SIG (Sistemas de Información Geográfico” mediante dos conceptos para la localización de centros de tratamientos, los cuales son el principio de eficiencia espacial, el cual busca localizaciones que, dada una posición concreta de la demanda (es decir, de los productores de centros de tratamiento de residuos), determinen un coste mínimo (tanto desde un punto de vista económico como de otro tipo) en la construcción y el uso cotidiano de estas instalaciones. Por otro lado, se utilizó el método de la justicia espacial, el cual se basa en la distancia existente que hay entre los centros y la población residente. También se utilizó el SIG como modelo, el cual ofreció los mapas de las distancia de cada una de las instalaciones tratadas. En este estudio, sin embargo, se introdujo una modificación al planteamiento inicial. Normalizados (entre 0 y 255) los criterios que intervinieron en el análisis, es decir, los valores del mapa de eficiencia y del mapa de exposición, el punto ideal se encontró en el par de coordenadas 0.0, puesto que se pretendió encontrar una solución que minimice la exposición y maximice la eficiencia. Los resultados obtenidos arrojaron que 2 eran los lugares apropiados para para recibir los centros de tratamientos de residuos.

(García Sabater, Alarcón Valero, Albarracín Guillem, 2004) en su trabajo “Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos” donde pretende demostrar la importancia de las decisiones de localización en centros de asistencia técnicas para clientes de una fábrica industrial que se encuentran localizadas muy distantes unas de las otras, el problema plantea la necesidad de encontrar los puntos óptimos para la localización de las plantas de esta forma satisfacer las necesidades de demanda de un grupo de clientes que deben ser atendidos en un intervalo de tiempo, optimizando la cantidad de desplazamientos de una fábrica a otra y el tiempo de atención a dichos clientes. Para la solución del problema se realizan centros de gravedad en la ciudad objeto de estudio, para encontrar de esta manera los posibles lugares de ubicación de las plantas, posteriormente se realizó un modelo matemático el cual halló la solución óptima en cuanto a la localización de la planta idónea.

Posteriormente, (López Pérez, 2005), desarrolló un trabajo denominado “Algoritmo genético para un problema de ruteo con entrega y recolección de producto con restricciones de ventanas de horario”, que tiene como objetivo el de comprobar si el método propuesto basado en un algoritmo genético es viable para encontrar soluciones razonables a un bajo costo computacional para resolver este problema. Para esto, desarrolló un diseño experimental y a la vez un análisis comparativo entre un algoritmo de solución exacta basado en técnicas de ramificación y corte contra un algoritmo genético. Los resultados arrojados de esta comparación son favorables y se puede concluir que el algoritmo genético que propuso el autor alcanza un porcentaje de optimalidad $\geq 90\%$ en un tiempo computacional ≤ 5 minutos, razón por la cual se puede aplicar esta heurística en la solución de problemas en la logística de distribución.

Consecutivamente, (Ananias, 2005), en su trabajo titulado “Resolución del problema de Set-Covering utilizando un algoritmo genético” formula varios modelos representativos para una empresa de publicidad la cual tiene como principal objetivo optimizar los costos de publicidad de sus productos; para esto se requirió un modelo Set Covering con el cual se abordó las dos principalmente interrogantes del trabajo objeto de estudio, las cuales fueron saber con exactitud el número de personas a las cuales iba dirigido el anuncio publicitario del producto comercializado, junto con este, el saber cuál sería el costo mínimo de llegada al público. Para dar una óptima solución se utilizó un algoritmo genético el cual trata de estar más enfocado a la realidad. Los resultados obtenidos muestran que se obtuvo un número factible de personas para las cuales va dirigido el producto; por otro lado se concluyó que la solución del problema de Set-Covering utilizando un algoritmo genético permitió ver una variación en los parámetros, entre los que se destacaron la función de evaluación y el cruzamiento de los operarios de la empresa.

Seguidamente, (Baxendale, Buzai, 2008) en su trabajo de investigación que titula “Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos: Análisis espacial de escuelas EGB en la ciudad de Luján” se pretende dar solución mediante procedimientos de superposición temática y técnicas de evaluación multi-criterio (EMC) y considerar cada centroide de demanda como un posible sitio para la instalación de los puntos deseados. Para dar solución a este problema se consideró los datos calculados sobre la red de escuelas; la solución obtenida a partir de la incorporación de dos nuevas instalaciones a los 29 puntos candidatos correspondientes a los centroides de radios censales sin establecimientos, los cuales están en un punto intermedio entre la situación real y la ideal, tanto para el valor de desplazamientos totales como para el desvío estándar.

Adicionalmente, (Manual, 2008) En su trabajo de investigación denominado “*Manejo de residuos Sólidos*” diagnostica la situación que se vive en Colombia con los Residuos Sólidos en el que destaca los aspectos ambientales más críticos que fueron detectados en el Análisis Sectorial liderado por el Ministerio del Medio Ambiente y que contó con el apoyo de la OPS/OMS y el Banco Mundial y los Ministerios de Desarrollo y Salud. En esta investigación evidenció algunos problemas a la hora del manejo de los residuos sólidos, alguno de ellos fueron: - Desconocimiento o inexistencia de las exigencias y condiciones ambientales de cada región del país. – La no existencia de empresas consolidadas que ofrezcan alternativas en el manejo de los residuos sólidos – El no apoyo para los centros de investigación en cuanto al debido manejo de los residuos sólidos en Colombia, entre otros.

También, (Medina Tapia & Cerda Troncoso, 2008) desarrollaron un trabajo de investigación titulado “*Modelo de localización óptima de actividades no deseadas aplicado a los residuos sólidos en la región metropolitana*”, donde presenta una solución óptima en la cual se utilizó la Red Vial que corresponde a la unión de dos redes, la urbana (ESTRAUS) y la interurbana (de vías relevantes según clasificación MOP). Los Sitios Candidatos fueron los sitios aptos propuestos por el Gobierno Regional, en base a un estudio que considera factores netamente ambientales. Así se consideró como candidatos a un total de 6 estaciones de transferencia y 8 rellenos sanitarios. Para la predicción de los volúmenes comunales de RSD se aplicó la metodología de Box-Jenkins, el cual permite determinar los parámetros de modelos de tipo estocástico que permiten analizar series temporales para realizar predicciones mediante procesos autorregresivos y medias móviles, tipo AR(p), MA(q), ARMA(p,q) y ARIMA, a través de cuatro etapas: identificación, estimación, verificación de diagnóstico y predicción. Como resultado de la investigación se obtuvo

que el costo mínimo para el sistema durante el período de estudio 2004-2018, fuera de MM\$ 1.248.256,4 con sus respectivos puntos arrojados por el modelo.

De otro lado, (Mentzer, 2008) plantea una tabla de ponderación como ejemplo de herramienta para evaluar localizaciones potenciales, dicha tabla cuenta con los factores a utilizar los cuales pueden ser de orden cuantitativo o cualitativo, su importancia y la calificación de cada localización, con ello se obtiene la localización más apta a cumplir con sus necesidades. Algunos de los factores utilizados en estos estudios son: terreno, flexibilidad de expansión, costo del terreno, mano de obra, disponibilidad de trabajadores capacitados en zona, sueldo esperado, capital, incentivos por parte de gobierno o particulares, distancia con proveedores producción; si el producto varía durante las diferentes etapas de producción en valor, peso, volumen o algún otro factor que deberá considerarse para cuantificar los costos que tendría durante su producción.

(García Cascales, 2009) afirma. “El Análisis de Decisión Multicriterio” se presenta como una valiosa herramienta para ayudar al decisor durante este proceso de toma de decisión. Los métodos clásicos, permiten abordar, de forma sistemática y ordenada los problemas de decisión” (p. 188). El objetivo general de la investigación es ahondar en el estudio de la evaluación de alternativas en el ámbito de la “Soft Computing” y dado que los métodos clásicos resultan ineficientes para problemas de decisión complejos, sobre todo para aquellos casos en los que se encuentran con criterios de los que solo se dispone de información cualitativa. En este trabajo se presenta un sistema híbrido que recoge las fortalezas de cada uno de los métodos clásicos utilizados. Con este propósito se pretende aportar una herramienta de ámbito general mediante un sistema de ayuda a la decisión (SAD) para la evaluación de alternativas de manera que ayude a modelar distintos tipos de problemas, como podrían ser la evaluación de alternativas en la selección de personal, en la selección de proyectos, etc. Teniendo como conclusión que los métodos de decisión multi-criterio son poderosas herramientas que ayudan a generar consenso en contextos complejos de decisión. Se pueden aplicar estas técnicas a casos en los que sea necesaria la confluencia de intereses y puntos de vista de diferentes grupos o personas. Esto permite que todas las partes interesadas participen en el proceso de toma de decisión.

Además, (Arroyave & Restrepo, 2009) desarrollaron un “*Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica*” el cual tiene como objetivo central hacer un análisis económico del problema de la contaminación del suelo por el uso de plaguicidas en las actividades

agrícolas. Así, mediante una revisión bibliográfica analítica, se hizo un reconocimiento de la normativa ambiental nacional e internacional en torno al control de la contaminación del suelo. También se muestra la importancia económica del recurso suelo a través de la revisión de algunos estudios de valoración económica del suelo y de ecosistemas. Este trabajo concluye que para pasar de un simple esquema normativo a uno de verdadera regulación en el uso de plaguicidas en actividades agrícolas, es necesario centrarse en la utilización de instrumentos económicos en combinación con instrumentos de comando y control, para garantizar la generación de incentivos que potencien la minimización de impactos ambientales negativos por parte de los agentes responsables de la contaminación del suelo.

Por otro lado, (Parra Ortega, 2011) en su trabajo “Modelo de localización y relocalización de vehículos para atención de emergencias” con el fin de maximizar el balance de cobertura y garantizar de que no haya un desequilibrio entre el nivel de servicio de las zonas de cobertura y las instalaciones donde prestan el servicio y minimizando los costos de distribución, cantidad de vehículos y maximizado la eficiencia del uso de dichos vehículos. Para dar `óptima solución a este problema multi-objetivo, se utilizó el modelo (MCLP) multi-objetivo (HOSC) el cual incorpora las ventajas de la programación jerárquica y multi-objetivo. Como resultado de la investigación se espera que con el modelo desarrollado y la aplicación multi-objetiva, se pueda dar una óptima solución.

Según el autor (Singh, 2012) la localización de una empresa es una decisión estratégica que al tomarse a la ligera puede ser la causante de altos costos; dichos costos pueden ser esperados, como la renta del lugar y gastos en transporte, pero pueden ser inesperados como ventas perdidas por falta de accesibilidad a clientes o gastos adicionales en transporte debido a inexistencia de medios de transporte alternos. Estos últimos costos difícilmente se pueden reducir ya que son dependientes de factores externos, y relocalizarse no solo implicaría una fuerte inversión sino pérdidas en productividad.

Asimismo, (Bohorquez, 2012), realiza un trabajo de sensibilización que titula “Dime lo que desechas y te diré quién eres” donde realiza intervenciones con estudiantes de colegios acerca de la importancia de darle el debido tratamiento y disposición final a los residuos. Se propone la realización de un programa de manejo de residuos sólidos enfatizados en la separación de dichos residuos. A través del programa se enseñó la manera práctica de clasificar los diferentes tipos de residuos sólidos para que los estudiantes implicados realicen esas actividades tanto en sus

casas como en los lugares a donde vayan. Todo esto con el fin de darle un uso racional a esos desechos que tanto daño han venido generando al planeta.

Subsiguientemente, (Vélez, Villamar, & Chica, 2012) realizan su trabajo de investigación titulado “Diseño de rutas de transporte de personal aplicando modelación matemática para resolver el problema de enrutamiento vehicular capacitado con ventanas de tiempo”, con el objetivo de diseñar rutas para transportar a los empleados desde cierto paradero hasta su lugar de trabajo y así minimizar el costo total de la ruta. Para llegar a la solución del problema, utilizaron GAMS (General Algebraic Modeling System) que es un lenguaje de programación que permite el modelado, análisis y resolución de diversos problemas de optimización. Los resultados de este trabajo arrojaron una cantidad de 15 rutas y un ahorro mensual en el costo de éstas del 8%.

Ahora bien, el estudio para localizar de empresa o algún punto específico puede partir de diferentes enfoques según lo requiera la empresa, pudiendo ser evaluación de zonas o lugares específicos, y deben alinearse con las estrategias de la empresa. Los factores dependen de sus estrategias ya que es el medio para evaluar localizaciones potenciales. Tal es el caso de una empresa que priorice en bajos costos buscaría aquellos lugares que generen menores costos en transporte; mientras que otra empresa que desea diferenciarse buscaría una localización más accesible a su mercado. (Singh & Mind Tools Ltd, 2012)

Otros de los autores que realizan un abordaje en el tema es Zambrano y López (2012), desarrollaron un trabajo denominado “Diseño de optimización del modelo de la red de distribución y transporte de empresa panificadora de productos de consumo masivo” el cual tiene como objetivo determinar un modelo de optimización del transporte para la red de distribución y transporte del producto de la empresa objeto de estudio, que le permita ajustar su infraestructura a la necesidad del mercado actual, a la vez que la propuesta sea lo suficientemente flexible para atender las variaciones en ambos sentidos que la demanda del mercado presente hacia el próximo decenio, con un enfoque de distribución-país y distribución-ciudad; esto con el fin de minimizar los costos de transporte y de operación de los centros de distribución; de igual manera con un modelo de localización de centros de distribución, buscando minimizar los costos logísticos, y optimización de la red de distribución y transporte, con los recursos actuales que posee la empresa. Los resultados obtenidos muestran que el costo de operar la red de distribución-país se minimiza con los resultados del modelo propuesto de localización en un 44.1%; por otro lado se concluyó que la modelación del objetivo de ruteo para la ciudad de Cali,

permitió evaluar la viabilidad a escala y alcance del trabajo aplicado para su principal mercado, abriendo un CD que opere las rutas que atienden dicho mercado.

(Araya, Níñez, Enrique, & Belmar, 2012) en su artículo “Modelo de programación lineal entera mixta para el problema de ruteo de vehículos en el transporte escolar” pretenden desarrollar un modelo de Programación Lineal Entera Mixta basado en flujo Multicommodity; esto con el objetivo de minimizar los costos del recorrido de cada bus y los costos de asignación de los estudiantes a sus respectivos paraderos mediante el solver Cplex, con AMPL, para encontrar soluciones óptimas en instancias pequeñas que muestran la efectividad del modelo. Los resultados obtenidos por el modelo muestran una minimización en el costo de las rutas y la distancia total que deben caminar los clientes asignados al paradero. Para este caso se recomendó estudiar otras formulaciones, con menor número de variables y restricciones posibles. Por ejemplo, se recomienda la aplicación del método de branch-and-cut con el cual se pretende dar una solución más acertada.

Por último, (Paz, & Gómez, 2013) en su trabajo de investigación titulado “Localización de Instalaciones” lograron identificar los factores más importantes sobre la localización, los métodos más utilizados como lo es el método de ponderación de factores. Variación de Brown y Gibson, el cual consiste en definir los principales factores determinantes en una localización, para de esta forma asignar valores ponderados de peso relativo, de acuerdo con la importancia que se le atribuya. El método de centro de gravedad, el cual consiste en determinar la mejor ubicación de una instalación con base a la ubicación geográfica de los puntos de destino, el volumen enviado y el costo del transporte. Como conclusión se tiene que los modelos de localización han venido ayudando a varias empresas a nivel mundial y a todo aquel que necesite la ayuda en métodos de localización. En los últimos tiempos se han desarrollado una gran variedad de modelos computarizados heurísticos, tanto de simulación como de optimización, con el propósito de ayudar a los analistas a lidiar con toda esa complejidad.

4.2 MARCO CONTEXTUAL

El Municipio de Zarzal Valle del Cauca, está ubicado aproximadamente 140 kilómetros al noroeste de Santiago de Cali, la capital del departamento, su altitud 916 msnm, temperatura 26°C. Dicho municipio fue fundado en el año 1.809 con el nombre de Libraida e instituido en 1.909 como Municipio con el nombre actual que se lo debe a la planta de Zarza que había en la zona. En Zarzal la población oscila entre los 44.522 habitantes, según proyecciones del DANE (2005), concentrando

en la cabecera el 70,52% del total de su población y el 29,48% restante son habitantes de las Zonas Rurales, lo que indica que la cabecera municipal es un eje aglutinador que contiene la mayor parte de la población del municipio.

En cuanto a geografía y a su descripción física; el Municipio cuenta con un área de 355,14 Km², conformada principalmente por terreno plano y colinas (262 Km², con clima cálido) perteneciente al valle geográfico del Río Cauca; al Norte y al Oriente se observan algunos accidentes orográficos de poca elevación que hacen parte del piedemonte (93 Km², clima medio) de la vertiente occidental de la Cordillera Central. Entre estas elevaciones se desatacan el cerro de Pan de Azúcar, los altos de La Aurora y Montenegro, la sierra del Salado y la sierra de Zarzal, el cerro de Care perro y la loma de la cruz. Desde el punto de vista hidrográfico, el río Cauca marca el límite occidental del Municipio. A él confluyen las aguas del Río La Paila, de las quebradas Las Cañas y La Honda, de los zanjones Murillo, Las Lajas y Limones y el río La Vieja . La Cabecera Municipal se encuentra situada en los 4°23'34" de latitud norte y 76°04'28" de longitud oeste. (CAM, 2012)

A la fecha de la última actualización del PGIRS el municipio de Zarzal no realiza ninguna actividad de tratamiento y/o aprovechamiento de los residuos sólidos, su totalidad se dispone en el relleno sanitario del municipio de Presidente. La revisión y recopilación de la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria de los antecedentes demuestra que en el municipio de Zarzal se han formulado medidas preventivas y correctivas frente a la problemática ambiental del manejo inadecuado de los residuos sólidos, pero sin colocarse en gran porcentaje estas medidas en práctica.

Con el objetivo de tener conocimiento que permita un manejo adecuado y óptimo de la información se da a conocer la problemática, las causas de la misma, los 3 ejes temáticos en los que girarán la investigación que son modelación, manejo de residuos sólidos y métodos de localización sobre el problema objeto de estudio.

Problema de localización de instalaciones.

Las empresas desarrollan sus operaciones en instalaciones de diverso tipo, como plantas de transformación y/o de ensamble, almacenes para materiales y componentes o para productos terminados, puntos de venta y/o de asistencia postventa, oficinas. etc. En la configuración de las mismas convergen un conjunto de decisiones distintas, pero a la vez muy interrelacionadas.

Así, el tipo de instalaciones se determina fundamentalmente en función del producto (a fabricar, a almacenar o a vender en ella) o del servicio a ofrecer, así como del proceso productivo o la tecnología a emplear. Por otra parte, el tamaño de las instalaciones dependerá de la cantidad de producto o servicio a obtener; en definitiva, de la capacidad necesaria. Una cuestión adicional relacionada con las instalaciones es la elección del lugar en el que habrán de estar ubicadas, así como la distribución en planta.

De acuerdo con lo anterior, con ello quedarán analizadas las principales cuestiones que afectan a las instalaciones, a saber: ¿qué tipo de instalaciones se necesitan?, ¿qué tamaño han de tener? Y ¿dónde deben estar ubicadas? Una adecuada selección puede contribuir a la realización de los objetivos empresariales, mientras que una localización desacertada puede conllevar a un desempeño inadecuado de las operaciones. Por lo cual el sitio elegido debe permitir la adquisición de materiales, la realización del proceso productivo, y la entrega del producto final al cliente con un costo total reducido, donde la elección de una localización es una decisión compleja, puesto que se debe hallar la mejor ubicación que contribuya a la minimización de los costos de inversión dentro del análisis.

Si se llegase a tomar una mala decisión en la localización se tendrá que enfrentar con los siguientes problemas: Distanciamiento del mercado objetivo; el abastecimiento de materias primas, limitaciones, indisponibilidad de mano de obra calificada y mayores costos en transporte.

Las decisiones de localización: sus causas y sus tipos.

En general, las decisiones de localización podrían catalogarse de infrecuentes, de hecho algunas empresas sólo la toman una vez en su historia.

La frecuencia con que se presenta este tipo de problemas depende de varios factores, entre ellos podemos citar el tipo de instalaciones (es mucho más común en las tiendas o puntos de venta que en fábricas) o el tipo de empresa (las de servicios suelen necesitar más instalaciones que las industriales).

Entre las diversas causas que originan problemas ligados a la localización, podríamos citar:

- Un mercado en expansión, que requerirá añadir nueva capacidad, la cual habrá que localizar, ya sea ampliando las instalaciones ya existentes en un emplazamiento determinado, o bien sea creando una nueva en algún otro sitio.
- La introducción de nuevos productos o servicios, que conlleven una problemática análoga.
- Una contracción de la demanda, que puede requerir el cierre de instalaciones y/o la reubicación de las operaciones. Otro tanto sucede cuando se producen cambios en la localización de la demanda.
- El agotamiento de las fuentes de abastecimiento de materias primas también puede ser causa de la relocalización de las operaciones. Este es el caso que se produce en empresas de extracción cuando al cabo de los años, se agotan los yacimientos que se venían explotando.
- La obsolescencia de una planta de fabricación por el transcurso del tiempo o por la aparición de nuevas tecnologías, que se traduce a menudo en la creación de una nueva planta más moderna en algún otro lugar.
- La presión de la competencia, que, para aumentar el nivel de servicio ofrecido, puede llevar a la creación de más instalaciones o a la relocalización de algunas ya existentes.
- Cambios en otros recursos, como la mano de obra o los componentes subcontratados, o en las condiciones políticas o económicas de una región son otras posibles causas de relocalización.
- Las fusiones y adquisiciones entre empresas pueden hacer que algunas resulten redundantes o queden mal ubicadas con respecto a las demás.

Este es el caso reciente de algunos de los grandes bancos españoles, que están reordenando sus redes de oficinas tras los procesos de fusiones que han vivido.

Los motivos mencionados son sólo algunos de los que pueden provocar la toma de decisiones sobre las instalaciones, o al menos, llevar a la empresa a reexaminar la localización de las mismas. Independientemente de cuáles sean las razones que lleven a ello, las alternativas de localización pueden ser de tres tipos, las cuales deberán ser evaluadas por la empresa antes de tomar una decisión definitiva, las cuales son:

- Expandir una instalación existente. Esta opción sólo será posible si existe suficiente espacio para ello. Puede ser una alternativa atractiva cuando la localización en la que se encuentra tiene características muy adecuadas o

deseables para la empresa. Generalmente origina menores costes que otras opciones, especialmente si la expansión fue prevista cuando se estableció inicialmente la instalación.

- Añadir nuevas instalaciones en nuevos lugares. A veces ésta puede resultar una opción más ventajosa que la anterior (por ejemplo si la expansión provoca problemas de sobredimensionamiento o de pérdida de enfoque sobre los objetivos de las operaciones). Otras veces es, simplemente, la única opción posible. En todo caso, será necesario considerar el impacto que tendrá sobre el sistema total de instalaciones de la empresa.
- Cerrar instalaciones en algún lugar y abrir otra(s) en otro(s) sitio(s). Esta opción puede generar grandes costes, por lo que la empresa deberá comparar los beneficios de la relocalización con los que se derivarían del hecho de permanecer en el lugar actualmente ocupado.

Métodos de selección de localización.

Debido a la gran cantidad de factores involucrados en el análisis y selección de la localización, y añadiendo la posibilidad de plantear un gran número de posibles localizaciones, a priori nos lleva a plantear la utilización de más de un método para decidir la localización idónea de una instalación.

A continuación, se detallan algunas de las técnicas más utilizadas.

Factores ponderados.

Ponderar los factores es una manera de asignar valores cuantitativos a todos los factores relacionados con cada alternativa de decisión y de derivar una calificación compuesta que puede ser usada con fines de comparación. Esto lleva al decisor a incluir sus propias preferencias al decidir la ubicación, y puede conjugar ambos factores cuantitativos y cualitativos.

Centro de gravedad.

El método del centro de gravedad consiste en un algoritmo de localización de una instalación considerando otras existentes. Ésta es una técnica muy sencilla y suele utilizarse para determinar la ubicación de bodegas intermedias y puntos de distribución teniendo en cuenta las distancias que las separan y el aporte (en términos de utilidad, producción o capacidad) de cada instalación.

Análisis económico.

Cualquier organización trabaja con presupuestos limitados, con lo cual están económicamente presionadas para controlar costes. Las ubicaciones probables pueden ser comparadas desde un punto de vista económico por una estimación de los costos fijos y variables y entonces calcularlos para un volumen representativo en cada ubicación.

Problema del transporte.

El transporte no añade valor al producto más que la disponibilidad. Sin embargo, los costes de transporte de materias primas y productos terminados son regularmente significantes y merecen un análisis especial. Antes de decidir el lugar de ubicación de una planta, la dirección de la empresa puede desear saber qué plantas serán usadas para producir qué cantidades y cuál será la distribución de los almacenes a los que será enviada la producción.

Problema de cubrimiento.

En la localización de servicios, principalmente, se puede presentar el problema de determinar cuántas instalaciones hay que disponer y dónde, con la condición de que todo cliente o usuario se encuentre a una distancia no superior a una dada de alguna de las instalaciones y con el objetivo de minimizar el número de instalaciones o su coste. (García, P. ,2005)

Método de centro de gravedad para la localización.

En el método del centro de gravedad se determina la mejor ubicación de una instalación con base en su ubicación geográfica de los puntos meta (destino), el volumen enviado y el costo de transporte. Este método es usado ampliamente para la localización de centros de distribución donde la principal preocupación es minimizar los costos de envío asociados con la propia actividad de la empresa.

Este método supone que los costos de transporte de entrada y salida son iguales y no incluye los costos especiales de despacho para las cargas que no sean completas. De cualquier manera, y pese a estas limitaciones, un punto importante el cual siempre debe tenerse presente para una correcta toma de decisiones sobre localización, es el permitirse cruzar los distintos resultados alcanzados por los diversos métodos existentes y no solamente con base a un único resultado proveniente de un solo método.

De la combinación de métodos de decisión, encontramos que para la aplicación del método de centro de gravedad, debemos partir del modelo de carga-distancia. Someter a prueba diferentes localizaciones con este último modelo es relativamente sencillo si se aplica un proceso sistémico de búsqueda. Un buen punto de partida es precisamente el centro de gravedad del área relacionada como objetivo y se realizan los siguientes pasos sucesivos:

- 1) Se colocan las ubicaciones existentes en un sistema de cuadrícula con coordenadas (la selección de estas es totalmente arbitraria). El objetivo es establecer distancias relativas entre las ubicaciones. En las decisiones internacionales puede ser útil el uso de coordenadas de longitud y latitud.
- 2) El centro de gravedad se encuentra calculando las coordenadas x e y que dan por resultado el costo mínimo de transporte. La coordenada x del centro de gravedad, designada como x^* , se determina utilizando las coordenadas $x(x_i)$ y dividiendo el resultado entre la suma de las cargas $\sum l_i$). La coordenada y , designada como y^* , se encuentra en la misma manera, pero utilizando las coordenadas y en el numerador. Las fórmulas correspondientes son:

$$x^* = \frac{\sum_i l_i \cdot x_i}{\sum_i l_i} \quad y \quad y^* = \frac{\sum_i l_i \cdot y_i}{\sum_i l_i}$$

Carro, R. Gonzales, D. (2013)

El problema del agente viajero (Traveling Salesman Problem - TSP)

El problema del agente viajero es uno de los primeros problemas en ser estudiados en el campo de la optimización combinatoria y que aún se mantiene en las investigaciones en este campo. Por ser un problema de los denominados NPHard, lo que quiere decir que no hay hasta la fecha una solución definitiva al mismo, sin embargo, se han resuelto múltiples instancias del mismo que han servido de soporte para otras investigaciones en problemas similares como los problema de ruteo de vehículos. El TSP puede ser definido como el problema de encontrar la ruta más corta para un vendedor que debe recorrer un grupo de ciudades visitando cada

ciudad solo una vez y regresando al lugar de partida, por lo cual muchos autores lo definen como un caso particular del problema de ruteo de vehículos en el cual se cuenta con un solo vehículo para realizar entrega de mercancías en un período dado. Uno de los primeros trabajos referidos a este tipo de problemas lo encontramos en (G. DANTZIG, et all, 1954)

Un trabajo en el cual también se desarrolla el concepto de TSP es el presentado años más tarde por (G. DANTZIG, AND J. H. RAMSER, 1959), en el que se aborda el problema del ruteo de camiones de entrega de gasolina desde una terminal mayorista a un gran número de estaciones de servicio de tal manera que se asignen las estaciones a la flota de camiones satisfaciendo su demanda y minimizando la distancia recorrida. Este problema se considera una generalización del TSP y se propone un procedimiento basado en una formulación de programación lineal para resolverlo.

Desarrollo sostenible

Teniendo en cuenta el fenómeno que se vive actualmente llamado globalización, que implica que cada vez exista un mayor grado de vínculo directo entre las diferentes regiones del mundo. A lo largo de los años se han creado gigantescos grupos multinacionales, los sistemas de comunicación mundial, la industria y el comercio internacional han generado una economía global; que desde el punto de vista de teoría del desarrollo, ese nivel de integración está afectando negativamente las condiciones sociales y económicas de los países tanto desarrollados como los que no. Entre ellas, superpoblación; agotamiento de los recursos naturales por malgasto; masivas olas de extinción de especies; crisis ambiental que amenaza el aire, el agua, y los bosques; la enorme variedad de formas de vida como fundamento de la existencia; el aumento de la desnutrición; el analfabetismo relativo al número de personas que carecen de los servicios básicos; el rápido proceso de desertificación y de deforestación, no sólo perjudicando el entorno natural, sino también a la sociedad humana siendo responsables las actividades humanas que diariamente se realizan, teniendo la errónea mentalidad que disponemos de recursos ilimitados; el consumismo incontrolado; el aumento de temperaturas y niveles de mar; porcentajes crecientes de cáncer mayormente el de piel por el crecimiento alarmante de la intensidad de los rayos ultravioleta; por citar algunos, son evidentemente variables afrontadas como hechos sin precedentes en la historia de la humanidad. Son sucesos amenazadores individualmente drásticos y en conjunto asombrosos. El mundo entero moderno se enfrenta a un problema cada

vez más importante y grave: como deshacerse del volumen creciente de los residuos que genera.

La mayoría de los residuos terminan convirtiéndose en basura cuyo destino final es el vertedero o los rellenos sanitarios. Los vertederos y rellenos sanitarios son cada vez más escasos y plantean una serie de desventajas y problemas. En ello el reciclaje y las nuevas técnicas de tratamiento de residuos se convierten en una buena alternativa, ya que reduce los residuos y protege el medio ambiente.

A comienzos de la década de los 70's, se empezó a establecer las primeras bases conceptuales del desarrollo sostenible, dadas en la conferencia de Estocolmo y el informe del Club de Roma; esto porque notaron que el modelo occidental de desarrollo tenía asociados efectos ambientales negativo, es decir, crecimiento basado en presión sobre los recursos y, en consecuencia, generación de residuos.

A finales de los 80's, se definió el concepto de Desarrollo Sostenible (Cervantes G, 2005); el cual fue establecido por el Informe Brundtland. Quien a partir de este momento según esto todos los países, especialmente los países desarrollados debían trabajar en satisfacer las necesidades humanas a través de dos objetivos como el de llevar a cabo dos tipos de restricciones: ecológicas, es decir, la conservación de nuestro planeta tierra; morales: renunciar a los niveles de consumo a los que no todos los individuos puedan aspirar. Lo anterior indica no poner en peligro los sistemas naturales que sostienen la vida en la Tierra.

Para esta propuesta se tomará el concepto de desarrollo sostenible González(1999), el cual lo establece como “la capacidad de una sociedad para dar desenvolvimiento a sus potencialidades específicas, basándose en el uso racional de su patrimonio biofísico y cultural”; usando como elemento fundamental la comprensión de la lógica que siguen los procesos químicos, físicos y bióticos aplicadas a la construcción de su instrumentalizada tecnológica y organizacional, con el objetivo de garantizar su permanencia en el tiempo y en el espacio, satisfaciendo equitativamente las necesidades de su población”. Siendo el primer paso reconocer que esta investigación es importante ya que es un enfoque fundamental en el campo de una sociedad hacia el desarrollo sostenible, puesto que da a conocer y a traer a consideración los factores ambientales, sociales , culturales, técnicos, de las acciones humanas que se dan en cuanto al manejo de los residuos sólidos en la población; y como, a partir de estas acciones que se ejecutan actualmente siendo la mayoría mal realizadas por poca cultura ambiental o desconocimiento de los procesos de recolección, transporte, almacenamiento y aprovechamiento.

Generando así una problemática ambiental interna y repercusiones sobre las condiciones ambientales dentro del municipio.

Para el desarrollo del trabajo se van a manejar la clasificación de su composición física orgánica e inorgánica y de acuerdo a su tipo de disposición; que son los aprovechables y los no aprovechables. Para que los residuos sólidos, en cualquier parte que se generen e independe pendiente de su clasificación; se debe tener presente que se necesita realizar un acciones especial, que buscan no causar más impactos al ambiente. Esta serie de acciones se conoce con el nombre de Manejo integral de residuos sólidos; que de acuerdo al (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2014), el sistema de manejo integral de residuos sólidos se plantea en distintas fases que son:

- Generación de residuos. Abarca las actividades en las que los materiales son identificados como sin ningún valor adicional, y o bien son tirados o bien son recogidos juntos para su evacuación.
- Manipulación de Residuos y Separación, almacenamiento y procesamiento en el origen. La manipulación y la separación de residuos involucran las actividades asociadas con la gestión de residuos hasta que estos son colocados en contenedores de almacenamiento para la recogida.
- Recogida. Es la capacidad de recoger los residuos sólidos y de materiales reciclables que anteriormente han sido clasificados e incluye también el transporte después de la recogida, al lugar donde se vacía el vehículo de recogida.
- Separación, Procesamiento y Transformación de Residuos Sólidos. La recuperación de materiales separados, la separación y el procesamiento de los componentes y transformación de los residuos sólidos que se produce en locaciones fuera de la fuente de generación de los residuos.
- Transferencia y Transporte. comprende dos pasos. La transferencia de residuos desde un vehículo de recogida pequeño hasta un equipo de transporte más grande, y el transporte subsiguiente de los residuos, normalmente a través de grandes distancias, a un lugar de procesamiento o evacuación.

- Evacuación o Disposición Final. la evacuación de residuos sólidos mediante vertederos controlados o la extensión en superficie es el destino último de todos los residuos.

Teniendo como objetivo garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos sólidos y la cobertura del servicio público de aseo. Avanzar en la minimización de la generación de los residuos sólidos en el origen, el aprovechamiento y la disposición final adecuada.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se dan a conocer los conceptos y clasificaciones que poseen los residuos sólidos.

Residuos sólidos

Se entienden por todo objeto, sustancia o elemento en estado sólido, que se abandona, bota o rechaza. Son aquellos materiales que no representan una utilidad o un valor económico para el dueño, el dueño se convierte por ende en generador de residuos. (López, A et al (Equipo PGIRS, UMAT, 2015).

Teniendo el precepto anterior se puede entrar a clasificar los residuos sólidos de diferentes formas de la siguiente manera:

Clasificación por estado: Un residuo es definido según su estado físico en que se encuentre. Existe por lo tanto tres tipos de residuos desde este punto de vista sólidos, líquidos y gaseosos.

Clasificación por origen: Se puede definir el residuo por la actividad que lo origine, esencialmente una clasificación sectorial. Los tipos de residuos más importantes son:

Residuos municipales. La generación de residuos municipales varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población. Los sectores de más altos ingresos generan mayores volúmenes per cápita de los residuos, y estos tienen un mayor valor incorporado que los provenientes de sectores más pobres de la población.

Residuos industriales. La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.

Residuos hospitalarios. La composición de los residuos hospitalarios varía desde el residuo tipo residencial y comercial a residuos de tipo medico conteniendo sustancias peligrosas. Según el Integrated Waste Management Board de California USA se entiende por residuo medico como aquel que está compuesto por residuos que es generado como resultado de: tratamiento, diagnostico o inmunización de seres humanos o animales. Investigación conducente a la producción o prueba de preparaciones medicas hechas de organismos vivos y sus productos.

Clasificación por tipo de manejo: Se puede clasificar un residuo por presentar algunas características asociadas al manejo que debe ser realizado; desde este punto de vista se pueden definir dos grandes grupos:

Residuo peligrosos: Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligros de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados de forma inapropiada.

Residuo inerte: Residuo estable en el tiempo, el cual no produjeras efectos ambientales apreciables al interactuar con el medio ambiente.

Clasificación por tipo de disposición: Según el tipo de manejo que se les vaya a proporcionar luego de ser desechados, encontramos entonces que existen residuos aprovechables y no aprovechables.

Residuos aprovechables: Son residuos que pueden ser reusados y/o reciclados porque el material del que están compuestos lo permite. “Cualquier material, objeto, sustancia o elemento que no tiene valor para quien lo genera, pero se puede incorporar nuevamente a un proceso productivo (Decreto 1713 de 2002).” Los residuos aprovechables comúnmente son llamados reciclables, puesto que la mayoría de las opciones de manejo posterior, están enfocadas y desarrolladas para dar transformación al material y luego incorporarlo en procesos productivos. (Castaño, C. 2013)

Residuos no aprovechables: Son los que deben ser manipulados como material para relleno sanitario porque sus cualidades no permiten otro tipo de uso.

“Todo material o sustancia que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación a un proceso productivo. No tienen ningún valor comercial, por lo tanto requieren disposición final (Decreto 1713 de 2002).”

Como la idea de la investigación es generar los lugares y la cantidad adecuada de los puntos de entrega voluntarios de material reciclable. Siendo estas instalaciones clasificadas como no deseables porque la población reacciona con protestas y oposición a que este tipo de instalaciones se sitúen en sus proximidades; es decir, las instalaciones no deseables producen numerosas reacciones de la población ante su proximidad espacial: desde la oposición a que tales servicios se instalen en las cercanías de su domicilio, reacciones sintetizadas en las expresiones "No en mi patio trasero" o "Uso del suelo localmente indeseable", hasta la negativa absoluta a la creación de tales centros en ningún lugar, al considerar, por ejemplo, que es necesario llevar a adelante políticas de reciclado absoluto y nula producción de residuos. Lo cierto, en cualquier caso, es la importancia cada vez mayor de las reacciones y resistencias de la población a este tipo de instalaciones, no solo en los países anglosajones sino, igualmente, las actitudes cada vez más manifiestas en las comunidades en contra de estas propuestas (Bosque y Franco, 1995). Siendo clasificados en dos grupos:

Instalación deseable. Son aquellas instalaciones en las que predominan las externalidades positivas: escuelas, hospitales, comercios, cines, etc. (Bosque y Franco, 1995).

Instalación no deseable. Son aquellas instalaciones en las que las externalidades negativas son predominantes. En este caso se encuentran, sobre todo, los lugares donde se procesan los residuos que la sociedad produce: vertederos de residuos sólidos urbanos, centros de tratamiento de residuos industriales (tóxicos y peligrosos); los centros para el tratamiento de personas con problemas (cárceles, centros contra la drogadicción, etc.) o las propias centrales nucleares, etc. (Bosque y Franco, 1995).

Logística Reversiva.

La globalización económica, la regulación y estandarización en la industria, el desarrollo de infraestructuras, los avances tecnológicos y la sostenibilidad del medio ambiente están obligando a las empresas a replantearse la forma de hacer negocios, así como a buscar nuevos enfoques para mantener y ampliar su presencia en el mercado. En resumen, nuevas estrategias empresariales que pasan por la racionalización en las operaciones de fabricación, así como en el lanzamiento de iniciativas para servir nuevos mercados, diseñar nuevos productos y nuevos conceptos ecológicos.

Como tal, la Logística Reversiva se encarga de la gestión de la planeación operacional, del control y disposición final segura y efectiva de todos los desperdicios, residuos y desechos (DRD) 1 A partir de estos conceptos, se pueden presentar una serie de interpretaciones que amplían el significado sobre la Logística Reversiva en una cadena productiva. Los elementos que componen una cadena productiva los podemos identificar en la figura 1. Realizando una lectura en un sentido de derecha a izquierda, se inicia con el consumidor final, quien adquiere sus productos en el canal comercial, el que a su vez solicita productos a las empresas fabricantes, quienes compran materias primas a los proveedores y éstos a sus proveedores. Figura 1: interpretación de una cadena productiva lineal, corta que relaciona los clientes y los proveedores que genera un sistema productivo de bienes o servicios. Algunos autores extienden esta definición hasta considerar los procesos de reciclaje, reúso y reproceso que se dan a los DRD. (Lambert, Stock, y Ellram.1998. P.20). Igualmente es considerada como la actividad que se encuentra dentro de la gestión Logística de una empresa, encargada de las devoluciones de productos y desperdicios entre proveedores y compradores estructurando un canal reversivo. (Stock y Lambert . 2001)

La Logística Reversiva está cada vez más presente en el mundo empresarial. En un entorno competitivo, muchas empresas se han percatado de que el flujo inverso de las mercancías puede implicar una reducción significativa de costos. Se dice que esta ha incrementado en los últimos años como consecuencia de:.

En términos generales la Logística Reversiva no se utiliza solo para hacer referencia al papel de la logística en el retorno del producto, sino que también se refiere a la reducción en origen, el reciclado, la reutilización de materiales, la sustitución de materiales, la eliminación de residuos y desperdicios, la reparación y a la remanufacturación. La introducción del mismo es resultado de la creciente

conciencia medioambiental en los países industrializados, que lleva a plantearse los problemas de la recogida de residuos y de productos o componentes usados y su reciclaje.

4.4 MARCO NORMATIVO

La Carta Constitucional define el carácter social del Estado y en este marco reconoce la protección del medio ambiente como principio fundamental y derecho colectivo. Allí, se establecen y sintetizan los elementos claves que hoy orientan el manejo ambiental del país: protección del ambiente; compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia económica; control fiscal; participación ciudadana y respeto por la cultura.

Normatividad general

La Constitución Política elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, a través de los siguientes principios fundamentales:

Derecho a un ambiente sano

En su Artículo 79, la Constitución Nacional (CN) consagra que: “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”.

El medio ambiente como patrimonio común

La CN incorpora este principio al imponer al Estado y a las personas la obligación de proteger las riquezas culturales y naturales (Art. 8), así como el deber de las personas y del ciudadano de proteger los recursos naturales y de velar por la conservación del ambiente (Art. 95). En desarrollo de este principio, en el Art. 58 consagra que: “la propiedad es una función social que implica obligaciones y, como tal, le es inherente una función ecológica”; continúa su desarrollo al determinar en el Art. 63 que: “ Los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos, las tierras de resguardo, el patrimonio arqueológico de la Nación y los demás bienes que determine la Ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables”.

Desarrollo Sostenible

Definido como el desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades, la CN en desarrollo de este principio, consagró en su Art. 80 que: “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.”

A continuación, se anexa la Tabla No. 3 donde se nombran las diferentes normas y principios nacionales ambientales estipulados con su respectivo contenido.

Tabla 3. Normas y principios ambientales contenidos en la Constitución Política de Colombia

ART.	TEMA	CONTENIDO
7	Diversidad étnica y cultural de la Nación	Hace reconocimiento expreso de la pluralidad étnica y cultural de la Nación y del deber del Estado para con su protección.
8	Riquezas culturales y naturales de la Nación	Establece la obligación del Estado y de las personas para con la conservación de las riquezas naturales y culturales de la Nación.
49	Atención de la salud y saneamiento ambiental	Consagra como servicio público la atención de la salud y el saneamiento ambiental y ordena al Estado la organización, dirección y reglamentación de los mismos.
58	Función ecológica de la propiedad privada	Establece que la propiedad es una función social que implica obligaciones y que, como tal, le es inherente una función ecológica.
63	Bienes de uso público	Determina que los bienes de uso público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos y los demás bienes que determine

		la ley, son inalienables, imprescriptibles e inembargables.
79	Ambiente sano	Consagra el derecho de todas las personas residentes en el país de gozar de un ambiente sano
80	Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales	Establece como deber del Estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
88	Acciones populares	Consagra acciones populares para la protección de derechos e intereses colectivos sobre el medio ambiente, entre otros, bajo la regulación de la ley.
95	Protección de los recursos culturales y naturales del país	Establece como deber de las personas, la protección de los recursos culturales y naturales del país, y de velar por la conservación de un ambiente sano.
330	Administración de los territorios indígenas	Establece la administración autónoma de los territorios indígenas, con ámbitos de aplicación en los usos del suelo y la preservación de los recursos naturales, entre otros.

Fuente: Constitución Política de Colombia.

Tabla 4. Algunas Normas Generales.

Decreto ley 2811 de 1.974	Código nacional de los recursos naturales renovables RNR y no renovables y de protección al medio ambiente. El ambiente es patrimonio común, el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo. Regula el manejo de los RNR , la defensa del ambiente y sus elementos.
Ley 23 de 1973	Principios fundamentales sobre prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo y otorgó facultades al Presidente de la República para expedir el Código de los Recursos Naturales

Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y Organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Reforma el sector Público encargado de la gestión ambiental. Organiza el sistema Nacional Ambiental y exige la Planificación de la gestión ambiental de proyectos.
Decreto 1753 de 1994	Define la licencia ambiental LA: naturaleza, modalidad y efectos; contenido, procedimientos, requisitos y competencias para el otorgamiento de LA.
Decreto 2150 de 1995 y sus normas reglamentarias.	Reglamenta la licencia ambiental y otros permisos. Define los casos en que se debe presentar Diagnóstico Ambiental de Alternativas, Plan de Manejo Ambiental y Estudio de Impacto Ambiental. Suprime la licencia ambiental ordinaria
Ley 388 de 1997	Ordenamiento Territorial Municipal y Distrital y Planes de Ordenamiento Territorial.
Ley 491 de 1999	Define el seguro ecológico y delitos contra los recursos naturales y el ambiente y se modifica el Código Penal
Decreto 1122/99	Por el cual se dictan normas para la supresión de trámites.
Decreto 1124/99	Por el cual se reestructura el Ministerio del Medio Ambiente

Fuente: Normativa general ambiental.

Tabla 5. Normatividad sobre residuos sólidos.

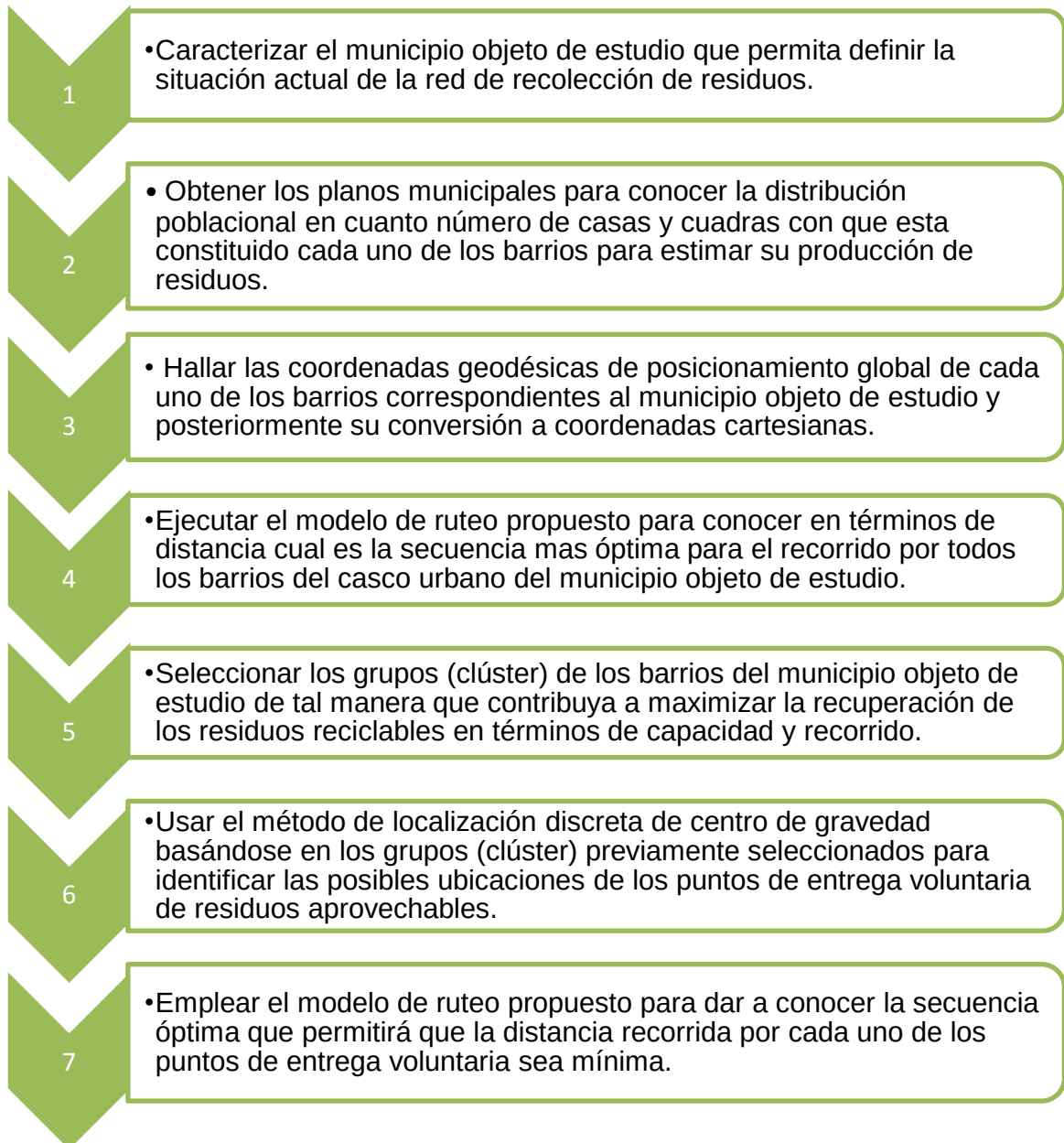
Ley 09 de 1979	Medidas sanitarias sobre manejo de residuos sólidos
Resolución 2309 de 1986	Define los residuos especiales, los criterios de identificación, tratamiento y registro. Establece planes de cumplimiento vigilancia y seguridad.
Resolución 541 de 1994	Reglamenta el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales concreto y agregados sueltos de construcción.
Ley 142 de 1994	Dicta el régimen de servicios públicos domiciliarios

Documento CONPES 2750 de 1994	Políticas sobre manejo de residuos sólidos
Resolución 0189 de 1994	Regulación para impedir la introducción al territorio nacional de residuos peligrosos.
Decreto 605 de 1996	Reglamenta la ley 142 de 1994. En cuanto al manejo, transporte y disposición final de residuos sólidos
Ley 430 de 1998	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
Decreto Reglamentario 2462 de 1989	Reglamenta los procedimientos sobre explotación de materiales de construcción.
Resolución 0189 de 1994	Regulación para impedir la entrada de residuos peligrosos al territorio nacional.

Fuente: Normatividad sobre residuos sólidos.

5 DISEÑO DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se anexa el diagrama de flujo que bosqueja los pasos a seguir para la realización de los objetivos previamente establecidos.



El presente capítulo expone la metodología utilizada para la ubicación de puntos de entrega voluntaria de residuos aprovechables y su debida ruta de recolección.

Como primera instancia, se buscará el cumplimiento del primer objetivo, donde se procederá a realizar una caracterización del municipio objeto de estudio para la recolección y depuración de los datos necesarios que permita definir la situación actual de la red de recolección de residuos, esto, mediante visitas y reuniones con los entes gubernamentales y de recolección del municipio, a fin de obtener la mayor información posible. También, se obtendrá información del personal a cargo de la recolección manual de materiales reciclables y de sus diferentes puntos de almacenamiento. Además, se buscará asesoría en la Universidad del Valle, por un lado con el personal docente, y por el otro, con los trabajos almacenados en la biblioteca universitaria.

Como segunda instancia, para la realización del segundo objetivo, donde se identificarán los posibles puntos de entrega voluntaria de residuos aprovechables a través del método de centro de gravedad, el cual, se llevará a cabo mediante la utilización de coordenadas cartesianas de los barrios y urbanizaciones arrojadas por el programa de localización global “Google Earth” para así ubicar espacialmente los puntos verdes en la zona de influencia del municipio, siendo estos los grupos “clúster” de barrios elegidos mediante un análisis multicriterio donde la ubicación geográfica, la capacidad de almacenaje y la distancia entre los puntos, son los criterios a la hora de seleccionar la agrupación más indicada de los barrios para un eficiente sistema de recolección selectiva.

Como tercera instancia, se dará solución al tercer objetivo utilizando modelación matemática con lenguaje AMPL, para así obtener la ruta óptima de recolección minimizando las distancias necesarias por el vehículo recolector, y poder así dar cobertura a todo el municipio, garantizando de esta manera hacer la recolección en un tiempo óptimo.

Por último, para dar cumplimiento con el cuarto objetivo, el cual consta de analizar la viabilidad financiera del proyecto, se anexará un estado de resultados, en el cual se mostrarán las utilidades a corto, mediano y largo plazo, además de los debidos costos, tanto variables como fijos del proyecto. Además esto, se mostrarán las utilidades netas por cada mes, con la que finalmente se dará por hecho la fiabilidad de este proyecto.

6 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS APROVECHABLES.

El municipio de Zarzal, Ubicado en el norte del Valle del Cauca con un población de 45.234 habitantes, generador de aproximadamente 9,4 toneladas diarias de desperdicio en sus diferentes actividades tanto residenciales como industriales, carece de un sistema de aprovechamiento de residuos recuperables. Aunque en el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio tiene contemplado todo el proceso desde la separación en la fuente hasta su disposición final, el municipio actualmente no cuenta con un programa que contemple la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación, el aprovechamiento y su debido pesaje.

El Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) realizado por la administración municipal en cabeza del Ingeniero Ambiental Adalberto López Orozco de La Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria UMATA realizado en el año 2015, tienen proyectos encaminados al buen aprovechamiento de los residuos sólidos por parte de la comunidad. A continuación se muestran 3 de ellos.

- Sensibilización y educación ambiental a la comunidad en general sobre la separación en la fuente, reducción, reciclaje y reutilización de residuos sólidos generados en el municipio.
- Estudios de factibilidad socioeconómica y el valor agregado del material orgánico e inorgánico aprovechable.
- Estrategia técnica, operativa y administrativa para el óptimo aprovechamiento de los residuos.

Estos proyectos se encaminan a generar una consciencia social y ambiental en la comunidad, de esta forma generar beneficios tanto para la población local como para el planeta en general. En el municipio objeto de estudio no se han implementado proyectos de esta índole, según el último informe generado por el Equipo del PGIRS, 2015 evidenciando la clara falta de interés sobre los asuntos ambientales de las administraciones que han tenido el poder en los últimos años.

El municipio de Zarzal posee centros de acopio, estaciones de clasificación y personal recolector entre las categorías de pequeños (Área menos a 150 metros cuadrados) y medianos (Área entre 150 y 999 metros cuadrados) los cuales trabajan

bajo la informalidad. Ninguna de estas estaciones cumple con los requisitos legales previstos en el artículo 15 de la Ley 142 de 2004 con el cual se les da el aval para prestar el servicio público de aseo. La actividad de reciclaje se realiza por personas que exponen diariamente su vida, esto es debido a que no existe un gremio formal de “recuperadores” en el municipio que funcione en pro del mejoramiento y cuidado del municipio.

El municipio objeto de estudio, cuenta con el respaldo de la Asociación Protectora a la Vida (ASOPROVIDA) la cual está bajo la dirección del docente universitario Luis Antonio Perea Libreros, siendo esta la única institución donde se ve reflejado el interés por buscar soluciones para el manejo adecuado, aprovechamiento y disposición final de los residuos aprovechables generados por la comunidad. En su trabajo “Diseño de una Empresa para el Manejo Integral De Residuos Sólidos Mediante el Reciclaje, en el Municipio de Zarzal” por el docente Luis Antonio Perea en el año 2003, el cual tiene como objetivo presentar una propuesta para la creación de una empresa de reciclaje para aprovechar residuos sólidos generados por el Municipio de Zarzal Valle. Las estrategias planteadas fueron las siguientes:

- Utilización de amplios conocimientos y experiencias disponibles sobre los sistemas de reciclaje (uno de ellos, el del municipio de Versalles, a 40 minutos de Zarzal).
- Contribución al desarrollo de tecnologías apropiadas para el manejo, reutilización y explotación sostenible de los ARRS (Áreas receptoras de residuos sólidos), conocidas comúnmente como rellenos sanitarios o vertederos.
- Reducción de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, en especial la del Río Cauca.
- Incentivación a los recicladores informales del municipio.
- Creación de un puente de comunicación entre las Instituciones educativas (LEY 715 DE 2001) y la comunidad en general para la solución de problemas de residuos sólidos aprovechables.

Se puede concluir que para lograr el éxito de un proyecto de estas características se deben cumplir varios aspectos, uno de los más importantes es el de culturizar a la población acerca de los residuos aprovechables, su debida separación en la fuente

y verdadero destino final que deben tener dichos residuos, todo esto junto con una administración municipal comprometida por llevar a cabo el proyecto.

Con lo anterior planteado, se puede ratificar el hecho de diseñar técnicas para el debido aprovechamiento y disposición final de residuos aprovechables en el municipio objeto de estudio, presentado de esta manera como una posible alternativa de empleo para el municipio, buscando así una remuneración económica tanto personal como para la comunidad en general, además de beneficios ambientales para el planeta.

No obstante, el desinterés por parte las administraciones municipales e incluso de los mismos centros educativos, escuelas, colegios y universidad, como de la población en general, han hecho de éste, uno de los principales problemas para la comunidad zarzaleña; en primer lugar, por los problemas sanitarios existentes y en segundo lugar, por la poca capacidad de aprovechamiento de los recursos que se generan. Es por esto entonces, que urge la necesidad de políticas nuevas en torno a esta problemática y sobre todo que se fijen unas pautas básicas para el manejo de residuos sólidos en los distintos sitios.

Los residuos generados por la comunidad municipal son recolectados sin control alguno, esto, visto desde la clasificación de los residuos aprovechables. Hasta el año 2001 estos residuos eran llevados a un sitio ubicado en la parte Noroccidental del Departamento del Valle del Cauca, denominado "La Corcova", un terreno con una superficie de nueve plazas no acondicionadas para relleno sanitario, debido a que sus suelos presentaban una inconsistencia arenosa a causa de la escorrentía de los lixiviados que eran depositados en el río más cercano; a esto, se sumaban las periódicas crecidas del río en épocas de invierno, las cuales arrastraban grandes cantidades de los materiales allí depositados, causando de esta manera la contaminación del río y la pérdida de los materiales aprovechables. Actualmente, los residuos son recolectados y transportados hasta el "relleno sanitario" que la empresa PROACTIVA tiene ubicado en el corregimiento Presidente, jurisdicción del Municipio de San Pedro, donde igualmente son depositados residuos de varios municipios de la región Centro y Norte del Valle del Cauca.

A continuación, se anexa la Tabla No. 6 donde se presenta la caracterización poblacional del municipio objeto de estudio, tomando como referencia la cantidad de casas por barrio y la cantidad de manzanas que contemplan los 48 barrios que actualmente están radicados en planeación municipal. Esta información fue recuperada del censo más actual.

Tabla 6. Distribución de casas y manzanas por barrio.

Barrio	No. Casas	No.Manzanas
Barrio Alto Buenos Aires	156	5
Barrio Bolívar	705	25
Barrio Colombina	25	1
Barrio El Guamal	185	11
Barrio el Placer	47	2
Barrio Gonzalo Echeverry	631	19
Barrio La Balbanera	492	18
Barrio La Esperanza	304	11
Barrio La Isabelita	169	8
Barrio las Mercedes	472	14
Barrio Libraida	276	12
Barrio Los Lagos Etapa 1	427	25
Barrio Los Lagos Etapa 2	388	14
Barrio Los Lagos Etapa 3	400	16
Barrio Quindío	371	9
Barrio San Rafael	266	10
Centro	283	15
Urbanización Bajo Buenos Aires	47	4
Urbanización Bicentenario	274	14
Urbanización Brisas de Riopaila	145	9
Urbanización Centenario	152	6
Urbanización Ciudad del Pacífico	59	2
Urbanización Ciudad Jardín	141	8

Barrio	No. Casas	No.Manzanas
Urbanización Ciudad Kennedy	112	6
Urbanización Ciudadela del Norte	24	2
Urbanización de Zarzalito	230	9
Urbanización Diana Marcela	59	3
Urbanización Discapacitados	30	1
Urbanización El Coclí	122	8
Urbanización El Limonar	64	3
Urbanización El Poblado	120	7
Urbanización El Prado	42	4
Urbanización El Progreso	50	4
Urbanización Guadualito	240	4
Urbanización La Castilla	40	2
Urbanización La Viña	76	4
Urbanización Las Brisas	55	3
Urbanización Lina María	230	6
Urbanización Los Almendros	148	9
Urbanización Los Azucareros	96	6
Urbanización Pallanos	89	6
Urbanización Puertas del Sol I	51	1
Urbanización Puertas del Sol II	34	1
Urbanización Villa Amelia	118	6
Urbanización Villa Campestre	32	2
Urbanización Villa Isabela	150	7
Urbanización Villa Yoli	84	5
Urbanización Villa Zarzal	146	5
TOTAL	8857	372

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

De acuerdo con lo anterior, con la investigación realizada se dio a conocer cuál es la densidad poblacional y sus puntos de mayor concentración del municipio objeto de estudio. También se pudo dar a conocer la cantidad precisa de manzanas por cada barrio, urbanizaciones y número de hogares que posee actualmente el

municipio de Zarzal, para esto se contó con el respaldo de los recientes censos poblacionales, dándose a conocer así el promedio de personas por hogar del municipio, para luego poder conocer cuál es el volumen de residuos sólidos producidos por los 48 barrios y urbanizaciones que comprende el municipio.

A continuación, se anexan la Tabla No. 7 con los 48 barrios y urbanizaciones en los que se divide el municipio de Zarzal, con su respectiva generación de residuos tanto los normales como aprovechables. Esta información fue recuperada del equipo PGRS (2015)

Tabla 7. Volumen de residuos sólidos por barrio.

Barrio	Generación de residuos por barrio (Kg)	Generación de residuos reciclables por barrio (kg)
Barrio Alto Buenos Aires	166,12	22,28
Barrio Bolívar	750,72	100,67
Barrio Colombina	26,62	3,57
Barrio El Guamal	197,00	26,42
Barrio el Placer	50,05	6,71
Barrio Gonzalo Echeverry	671,92	90,10
Barrio La Balbanera	523,91	70,26
Barrio La Esperanza	323,72	43,41
Barrio La Isabelita	179,96	24,13
Barrio las Mercedes	502,61	67,40
Barrio Libraida	293,90	39,41
Barrio Los Lagos Etapa 1	454,69	60,97
Barrio Los Lagos Etapa 2	413,16	55,41
Barrio Los Lagos Etapa 3	425,94	57,12
Barrio Quindío	395,06	52,98
Barrio San Rafael	283,25	37,98
Centro	301,35	40,41
Urbanización Bajo Buenos Aires	50,05	6,71
Urbanización Bicentenario	291,77	39,13
Urbanización Brisas de Riopaila	154,40	20,71
Urbanización Centenario	161,86	21,71
Urbanización Ciudad del Pacífico	62,83	8,43
Urbanización Ciudad Jardín	150,14	20,13

Barrio	Generación de residuos por barrio (kg)	Generación de residuos reciclables barrio (kg)
Urbanización Ciudad Kennedy	119,26	15,99
Urbanización Ciudadela del Norte	25,56	3,43
Urbanización de Zarzalito	244,92	32,84
Urbanización Diana Marcela	62,83	8,43
Urbanización Discapacitados	31,95	4,28
Urbanización El Coclí	129,91	17,42
Urbanización El Limonar	68,15	9,14
Urbanización El Poblado	127,78	17,14
Urbanización El Prado	44,72	6,00
Urbanización El Progreso	53,24	7,14
Urbanización Guadualito	255,57	34,27
Urbanización La Castilla	42,59	5,71
Urbanización La Viña	80,93	10,85
Urbanización Las Brisas	58,57	7,85
Urbanización Lina María	244,92	32,84
Urbanización Los Almendros	157,60	21,13
Urbanización Los Azucareros	102,23	13,71
Urbanización Pallanos	94,77	12,71
Urbanización Puertas del Sol I	54,31	7,28
Urbanización Puertas del Sol II	36,21	4,86
Urbanización Villa Amelia	125,65	16,85
Urbanización Villa Campestre	34,08	4,57
Urbanización Villa Isabela	159,73	21,42
Urbanización Villa Yoli	89,45	11,99
Urbanización Villa Zarzal	155,47	20,85
TOTAL	9431,41	1264,75

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

El municipio de Zarzal, genera aproximadamente 1.267 kilogramos diarios de material reciclable que no genera ningún beneficio a la población ni a la economía, debido a la falta de un sistema que genere una buena pedagogía ciudadana para la

separación en la fuente, un conocimiento claro sobre el aprovechamiento de todos los residuos sólidos del municipio, una implementación de ruta selectiva para el aprovechamiento de los residuos sólidos y lo más importante adquirir, adecuar, mantener y dotar la estación de reciclaje planteada por el municipio, cuya probabilidad de realización es cada vez más reducida debido al poco interés administrativo sobre el problema y las diferencias ideológicas de los altos mandos de la presente administración teniendo como la más clara evidencia que el cero por ciento (0%) sea el porcentaje de proyectos implementados dirigidos al aprovechamiento y comercialización de los materiales reciclables generados por las actividades diarias de la población. El municipio cuenta con el lugar, el personal y el conocimiento de las técnicas en los sistemas de aprovechamiento de materiales reciclables en todo su ciclo de logística inversa pero que carece de apoyo administrativo, institucional y sobre todo de una comunidad desconocedora de los beneficios tanto ambientales como económicos que unas buenas prácticas de disposición final de los residuos puede generar.

La información requerida para la realización del proyecto fue suministrada por tres entes:

Informático: Búsqueda en bibliotecas virtuales y revistas indexadas de ingeniería basándose en trabajos similares de Modelación Matemática de ruteo de vehículos, transporte y localización de plantas no deseadas, trabajos enfocados a Sistemas integrados de manejo de residuos sólidos, artículos sobre el cuidado del medio ambiente, manejo adecuado de residuos sólidos entre otros.

Gubernamentales: En el Área de planeación en El Centro Administrativo Municipal (C.A.M) y la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria suministró los planos municipales actualizados con los límites invisibles de los barrios y urbanizaciones radicadas hasta la fecha además del acceso al Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos donde se pudieron conocer todos los datos relacionados de con la generación de residuos sólidos en el municipio al diciembre del 2015 que incluía los programas para el manejo adecuado de los residuos desde su separación en la fuente hasta su disposición final.

Privados: La Asociación Protectora a la Vida (ASOPROVIDA) y PROACTIVA S.A brindó apoyo a la hora de la solicitud facilitando información interna de las organizaciones como tarifas, precios de compraventa de materiales reciclables, rutas y planes propios vigentes de mejora para un mejor manejo de los residuos municipales.

7 IDENTIFICACIÓN DE LOS POSIBLES PUNTOS DE ENTREGA VOLUNTARIA (PEV).

Para la identificación de los posibles puntos de entrega de residuos voluntarios se utilizó el método de carga-distancia, el cual consiste en identificar localizaciones potencialmente atractivas y compararlas entre sí, utilizando factores cuantitativos para evaluar las localizaciones en términos de proximidad una de la otra. Con esto, se seleccionó una localización que minimizará el total de las cargas ponderadas para posteriormente conocer la distancia que habría de un punto a otro, esto mediante la cuadrícula de un mapa utilizando en este caso la distancia euclidiana que es la distancia rectilínea o la trayectoria más corta posible entre dos puntos.

Para dar una óptima solución al problema planteado se realizaron 20 iteraciones hasta obtener la más adecuada para el problema, teniendo como factor evaluativo la distancia euclidiana entre los barrios para agruparlos por proximidad.

También, se hizo uso de la aplicación Google Earth para conocer la localización exacta de los puntos de interés, en este caso, los centros de cada barrio y urbanizaciones, obteniendo también sus respectivas coordenadas geográficas. Esta aplicación consta de una red geográfica de líneas imaginarias que permiten ubicar la posición de un punto cualquiera en la superficie terrestre, las cuales son la latitud y longitud, las cuales son expresadas en grados sexagesimales.

Por otro lado, para poder tener una visión más clara acerca de las ubicaciones de los puntos de interés, se utilizó la “Calculadora Geodésica Utmv9.200712”, con la cual se permitió convertir las coordenadas arrojadas por la aplicación “Google Earth” las cuales fueron arrojadas en latitud y longitud, de esta manera ser convertidas en coordenadas cartesianas, y así poder obtener un panorama más claro de las distancias que se utilizaron como base para la selección de los grupos de barrios “clúster”.

A continuación, se anexan las Tabla No. 8 con las coordenadas geodésicas registradas por la aplicación “Google Earth” y las coordenadas cartesianas obtenidas por la “Calculadora Geodésica Utmv9.200712” de cada uno de los puntos de interés. Además de las coordenadas geodésicas señaladas en grados N (Norte) y W (Oeste) y las coordenadas cartesianas señaladas con respecto la distancia en pies (ft) en X con la línea del Ecuador y en Y con el Meridiano de Greenwich.

Tabla 8. Coordenadas geodésicas y cartesianas por barrio.

Barrio	Coordenadas geodésicas		Coordenadas cartesianas	
	N	W	X	Y
Barrio Alto Buenos Aires	4,391	76,067	381579,478	485453,642
Barrio Bolívar	4,397	76,067	381551,248	486045,605
Barrio Colombina	4,389	76,073	380965,113	485213,174
Barrio El Guamal	4,399	76,074	380810,897	486321,843
Barrio el Placer	4,391	76,077	380513,954	485489,441
Barrio Gonzalo Echeverry	4,394	76,068	381456,667	485790,021
Barrio La Balbanera	4,398	76,072	381032,404	486247,562
Barrio La Esperanza	4,398	76,067	381587,387	486251,631
Barrio La Isabelita	4,399	76,076	380612,443	486375,970
Barrio las Mercedes	4,399	76,070	381254,052	486349,399
Barrio Libraida	4,396	76,076	380643,633	485995,165
Barrio Los Lagos Etapa 1	4,389	76,075	380700,338	485220,740
Barrio Los Lagos Etapa 2	4,387	76,073	380917,199	485000,309
Barrio Los Lagos Etapa 3	4,387	76,075	380735,998	485014,720
Barrio Quindío	4,392	76,070	381253,142	485558,695
Barrio San Rafael	4,392	76,073	380941,217	485575,062
Centro	4,395	76,072	381025,347	485892,241
Urbanización Bajo Buenos Aires	4,397	76,064	381930,809	486068,170
Urbanización Bicentenario	4,385	76,076	380635,581	484793,750
Urbanización Brisas de Riopaila	4,389	76,067	381590,708	485234,944
Urbanización Centenario	4,395	76,076	380580,100	485879,061
Urbanización Ciudad del Pacífico	4,395	76,064	381966,194	485823,346
Urbanización Ciudad Jardín	4,394	76,076	380556,433	485781,473
Urbanización Ciudad Kennedy	4,399	76,078	380427,243	486308,907

Urbanización Ciudadela del Norte	4,394	76,067	381653,110	485725,949
Urbanización de Zarzalito	4,401	76,073	380886,185	486509,793
Urbanización Diana Marcela	4,402	76,068	381468,121	486660,311
Urbanización Discapacitados	4,393	76,064	381889,981	485685,369
Urbanización El Cocli	4,403	76,078	380377,044	486819,756
Urbanización El Limonar	4,402	76,076	380580,453	486663,355
Urbanización El Poblado	4,396	76,080	380208,694	485972,244
Urbanización El Prado	4,399	76,067	381615,750	486374,973
Urbanización El Progreso	4,396	76,079	380301,626	486004,945
Urbanización Guadualito	4,398	76,079	380327,318	486198,384
Urbanización La Castilla	4,401	76,071	381186,608	486523,402
Urbanización La Viña	4,385	76,076	380640,470	484720,885
Urbanización Las Brisas	4,404	76,076	380630,077	486830,004
Urbanización Lina María	4,389	76,071	381130,046	485230,627
Urbanización Los Almendros	4,401	76,068	381507,051	486490,550
Urbanización Los Azucareros	4,405	76,077	380454,086	486992,335
Urbanización Pallanos	4,396	76,078	380391,195	486014,103
Urbanización Puertas del Sol I	4,394	76,066	381760,334	485742,269
Urbanización Puertas del Sol II	4,392	76,066	381711,296	485595,741
Urbanización Villa Amelia	4,395	76,083	379791,972	485886,280
Urbanización Villa Campestre	4,394	76,081	380024,168	485758,692
Urbanización Villa Isabela	4,397	76,077	380505,514	486102,384
Urbanización Villa Yoli	4,401	76,067	381593,289	486576,329
Urbanización Villa Zarzal	4,386	76,075	380679,898	484897,610
TOTAL	4,395	76,073	380970,456	485909,607

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Teniendo las distancias cartesianas de todos los puntos de interés (Barrios y Urbanizaciones) se propone un modelo matemático variante del TSP (Traveling Salesman Problem) conocido como el problema del agente viajero el cual tiene como objetivo encontrar el recorrido completo que conecte todos los nodos de una red, pasando por ellos tan solo una vez y volviendo al punto de partida, y además de esto minimice la distancia total de la ruta. Se optó por utilizar este método, con el cual se dará a conocer la secuencia adecuada que se utilizará para ubicar los puntos de entrega voluntaria.

Para el cálculo preciso de la amplitud de cada punto, se utilizó una matriz de distancias de 49x49 utilizando las distancia en metros entre las coordenadas cartesianas dadas por el software “Calculadora Geodésica Utmv9.200712”. Estos fueron los resultados obtenidos por dicha matriz.

A continuación, se anexa la Tabla No. 9 donde se aprecian todas las posibles combinaciones de la matriz de distancias.

Tabla 9. Matriz de distancias

Di	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	.	125	128	124	129	91	183	283	149	154	259	259
2	125	.	22	55	94	120	153	237	180	215	316	276
3	128	22	.	34	74	106	132	215	163	201	300	256
4	124	55	34	.	40	79	99	187	130	171	267	221
5	129	94	74	40	.	55	64	160	92	137	229	182
6	91	120	106	79	55	.	94	193	67	96	199	175
7	183	153	132	99	64	94	.	100	81	131	197	131
8	283	237	215	187	160	193	100	.	161	204	226	133
9	149	180	163	130	92	67	81	161	.	51	137	111
10	154	215	201	171	137	96	131	204	51	.	107	120
11	259	316	300	267	229	199	197	226	137	107	.	95
12	259	276	256	221	182	175	131	133	111	120	95	.
13	353	324	302	272	240	262	176	90	213	242	223	133
14	378	353	331	301	268	287	204	120	234	259	227	144
15	521	439	421	405	392	437	343	251	412	454	456	363
16	442	368	348	330	314	357	263	170	332	374	380	285
17	404	388	366	335	300	314	237	159	258	276	228	157
18	449	423	401	371	339	359	275	187	305	327	282	208
19	439	401	379	352	322	348	260	164	300	328	297	215
20	450	405	383	357	330	359	268	170	315	346	320	235
21	457	403	382	358	333	367	274	174	327	361	342	254
22	498	460	438	411	382	407	319	223	358	383	343	267
23	517	488	466	437	406	426	342	251	372	392	340	273
24	518	505	482	451	417	429	353	272	370	383	317	264

Continuación Tabla No. 9

Dí	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	606	592	570	539	505	517	441	358	457	468	394	349
26	668	645	623	593	561	578	497	408	521	536	468	417
27	712	695	672	642	609	623	545	458	564	575	500	457
28	652	643	621	589	554	565	491	410	503	511	432	394
29	544	550	529	495	458	460	397	331	396	397	311	285
30	490	491	469	436	399	404	337	269	341	347	269	231
31	353	376	355	321	282	274	227	198	208	204	123	100
32	462	480	459	425	386	382	329	280	316	311	220	207
33	496	530	510	476	436	424	383	346	357	343	241	255
34	547	574	553	519	480	471	424	376	405	394	295	299
35	601	643	623	589	549	533	497	460	467	448	342	368
36	586	636	617	583	543	523	495	467	457	434	327	364
37	553	601	581	547	508	489	459	430	423	401	294	328
38	529	585	567	533	494	470	449	431	406	379	272	319
39	428	490	473	439	401	373	361	359	310	280	174	235
40	491	549	531	497	458	433	415	401	369	341	234	285
41	345	410	394	361	323	292	289	302	231	197	94	170
42	272	363	351	322	290	245	277	325	201	153	104	198
43	225	329	321	296	269	217	271	337	191	140	143	223
44	331	421	409	380	346	303	329	366	256	209	140	235
45	354	435	421	390	354	315	329	355	262	220	132	222
46	376	462	448	418	383	342	360	388	291	247	164	255
47	387	481	469	440	407	363	389	424	317	270	198	291
48	434	526	513	483	449	406	427	454	357	312	232	321
49	487	569	554	522	486	449	455	466	393	353	258	337

Continuación Tabla No. 9

Di	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	353	378	521	442	404	449	439	450	457	498	517	518
2	324	353	439	368	388	423	401	405	403	460	488	505
3	302	331	421	348	366	401	379	383	382	438	466	482
4	272	301	405	330	335	371	352	357	358	411	437	451
5	240	268	392	314	300	339	322	330	333	382	406	417
6	262	287	437	357	314	359	348	359	367	407	426	429
7	176	204	343	263	237	275	260	268	274	319	342	353
8	90	120	251	170	159	187	164	170	174	223	251	272
9	213	234	412	332	258	305	300	315	327	358	372	370
10	242	259	454	374	276	327	328	346	361	383	392	383
11	223	227	456	380	228	282	297	320	342	343	340	317
12	133	144	363	285	157	208	215	235	254	267	273	264
13	.	31	235	162	70	99	87	103	121	145	166	182
14	31	.	240	173	40	72	71	93	117	124	139	152
15	235	240	.	81	262	227	187	159	130	189	233	291
16	162	173	81	.	202	180	136	113	86	163	208	260
17	70	40	262	202	.	53	77	104	133	115	116	116
18	99	72	227	180	53	.	44	69	99	62	67	90
19	87	71	187	136	77	44	.	27	57	59	91	129
20	103	93	159	113	104	69	27	.	30	59	100	148
21	121	117	130	86	133	99	57	30	.	78	122	174
22	145	124	189	163	115	62	59	59	78	.	45	102
23	166	139	233	208	116	67	91	100	122	45	.	60
24	182	152	291	260	116	90	129	148	174	102	60	.

Continuación Tablan No. 9

Di	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	269	239	337	324	205	173	206	218	239	161	118	88
26	321	293	336	341	264	222	246	249	263	190	156	153
27	370	341	393	398	309	272	299	305	320	245	208	194
28	320	290	385	375	254	225	259	271	291	213	170	138
29	244	214	384	348	173	170	214	235	264	195	153	93
30	182	152	338	295	112	115	159	183	212	152	117	63
31	147	136	376	308	121	171	197	223	250	232	222	194
32	203	178	394	342	141	167	208	235	265	215	185	134
33	274	250	467	416	215	240	282	309	339	286	252	196
34	297	270	467	424	231	244	288	313	342	280	241	181
35	386	361	563	519	323	339	383	408	437	375	335	275
36	398	375	588	539	339	362	404	430	460	403	365	305
37	361	338	554	504	303	327	370	396	426	370	334	275
38	370	350	575	520	318	348	389	416	446	396	363	306
39	314	300	538	474	277	319	354	381	410	376	352	303
40	345	327	558	500	298	333	372	399	429	384	354	300
41	274	269	508	437	256	305	332	358	384	366	351	313
42	327	331	561	483	330	382	400	424	447	444	437	407
43	357	365	583	503	370	423	436	458	477	484	483	458
44	357	355	592	517	347	399	422	447	472	460	448	411
45	335	330	569	497	318	368	395	421	447	429	414	374
46	367	362	602	529	349	398	425	452	478	458	442	400
47	408	404	642	569	391	441	468	494	520	501	485	443
48	430	423	663	592	407	453	484	510	538	512	492	446
49	428	416	654	589	393	435	470	497	526	490	464	413

Continuación Tabla No. 9

Di	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
1	606	668	712	652	544	490	353	462	496	547	601	586
2	592	645	695	643	550	491	376	480	530	574	643	636
3	570	623	672	621	529	469	355	459	510	553	623	617
4	539	593	642	589	495	436	321	425	476	519	589	583
5	505	561	609	554	458	399	282	386	436	480	549	543
6	517	578	623	565	460	404	274	382	424	471	533	523
7	441	497	545	491	397	337	227	329	383	424	497	495
8	358	408	458	410	331	269	198	280	346	376	460	467
9	457	521	564	503	396	341	208	316	357	405	467	457
10	468	536	575	511	397	347	204	311	343	394	448	434
11	394	468	500	432	311	269	123	220	241	295	342	327
12	349	417	457	394	285	231	100	207	255	299	368	364
13	269	321	370	320	244	182	147	203	274	297	386	398
14	239	293	341	290	214	152	136	178	250	270	361	375
15	337	336	393	385	384	338	376	394	467	467	563	588
16	324	341	398	375	348	295	308	342	416	424	519	539
17	205	264	309	254	173	112	121	141	215	231	323	339
18	173	222	272	225	170	115	171	167	240	244	339	362
19	206	246	299	259	214	159	197	208	282	288	383	404
20	218	249	305	271	235	183	223	235	309	313	408	430
21	239	263	320	291	264	212	250	265	339	342	437	460
22	161	190	245	213	195	152	232	215	286	280	375	403
23	118	156	208	170	153	117	222	185	252	241	335	365
24	88	153	194	138	93	63	194	134	196	181	275	305

Continuación Tabla No. 9

Di	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
25	.	78	107	53	104	126	271	187	227	190	271	310
26	78	.	58	77	182	201	345	265	303	263	336	378
27	107	58	.	73	197	232	378	287	313	265	325	370
28	53	77	73	.	125	164	310	216	240	194	261	304
29	104	182	197	125	.	62	193	92	122	92	183	216
30	126	201	232	164	62	.	146	71	135	130	225	251
31	271	345	378	310	193	146	.	108	156	199	270	271
32	187	265	287	216	92	71	108	.	74	96	183	198
33	227	303	313	240	122	135	156	74	.	57	115	124
34	190	263	265	194	92	130	199	96	57	.	95	125
35	271	336	325	261	183	225	270	183	115	95	.	46
36	310	378	370	304	216	251	271	198	124	125	46	.
37	287	359	356	287	189	218	234	163	88	98	53	37
38	328	401	401	331	226	246	232	182	111	138	98	62
39	351	429	442	369	247	241	167	170	130	183	189	162
40	332	408	413	341	228	238	203	169	106	148	130	99
41	377	455	477	405	280	255	135	190	181	238	265	243
42	478	555	581	510	385	353	215	294	290	347	369	342
43	533	608	638	568	444	408	264	352	355	412	436	409
44	474	552	573	500	375	353	228	287	269	325	333	301
45	434	512	532	459	334	314	198	247	226	282	290	260
46	456	534	551	478	355	339	229	270	241	295	294	259
47	498	576	592	519	396	382	271	313	280	333	324	286
48	494	572	583	510	390	384	288	313	270	319	297	256
49	450	526	531	459	346	350	281	279	223	266	229	186

Continuación Tabla No. 9

Di	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
1	553	529	428	491	345	272	225	331	354	376	387	434	487
2	601	585	490	549	410	363	329	421	435	462	481	526	569
3	581	567	473	531	394	351	321	409	421	448	469	513	554
4	547	533	439	497	361	322	296	380	390	418	440	483	522
5	508	494	401	458	323	290	269	346	354	383	407	449	486
6	489	470	373	433	292	245	217	303	315	342	363	406	449
7	459	449	361	415	289	277	271	329	329	360	389	427	455
8	430	431	359	401	302	325	337	366	355	388	424	454	466
9	423	406	310	369	231	201	191	256	262	291	317	357	393
10	401	379	280	341	197	153	140	209	220	247	270	312	353
11	294	272	174	234	94	104	143	140	132	164	198	232	258
12	328	319	235	285	170	198	223	235	222	255	291	321	337
13	361	370	314	345	274	327	357	357	335	367	408	430	428
14	338	350	300	327	269	331	365	355	330	362	404	423	416
15	554	575	538	558	508	561	583	592	569	602	642	663	654
16	504	520	474	500	437	483	503	517	497	529	569	592	589
17	303	318	277	298	256	330	370	347	318	349	391	407	393
18	327	348	319	333	305	382	423	399	368	398	441	453	435
19	370	389	354	372	332	400	436	422	395	425	468	484	470
20	396	416	381	399	358	424	458	447	421	452	494	510	497
21	426	446	410	429	384	447	477	472	447	478	520	538	526
22	370	396	376	384	366	444	484	460	429	458	501	512	490
23	334	363	352	354	351	437	483	448	414	442	485	492	464
24	275	306	303	300	313	407	458	411	374	400	443	446	413

Continuación Tabla No. 9

Di	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
25	287	328	351	332	377	478	533	474	434	456	498	494	450
26	359	401	429	408	455	555	608	552	512	534	576	572	526
27	356	401	442	413	477	581	638	573	532	551	592	583	531
28	287	331	369	341	405	510	568	500	459	478	519	510	459
29	189	226	247	228	280	385	444	375	334	355	396	390	346
30	218	246	241	238	255	353	408	353	314	339	382	384	350
31	234	232	167	203	135	215	264	228	198	229	271	288	281
32	163	182	170	169	190	294	352	287	247	270	313	313	279
33	88	111	130	106	181	290	355	269	226	241	280	270	223
34	98	138	183	148	238	347	412	325	282	295	333	319	266
35	53	98	189	130	265	369	436	333	290	294	324	297	229
36	37	62	162	99	243	342	409	301	260	259	286	256	186
37	.	48	136	77	214	317	384	280	237	241	272	247	182
38	48	.	102	39	185	281	348	239	198	198	226	199	134
39	136	102	.	64	83	181	247	146	102	112	151	143	116
40	77	39	64	.	146	243	310	203	161	164	196	174	119
41	214	185	83	146	.	109	174	98	63	94	136	156	168
42	317	281	181	243	109	.	67	59	86	104	118	163	216
43	384	348	247	310	174	67	.	116	151	163	165	213	274
44	280	239	146	203	98	59	116	.	43	47	61	104	159
45	237	198	102	161	63	86	151	43	.	33	73	100	134
46	241	198	112	164	94	104	163	47	33	.	43	67	112
47	272	226	151	196	136	118	165	61	73	43	.	48	117
48	247	199	143	174	156	163	213	104	100	67	48	.	75
49	182	134	116	119	168	216	274	159	134	112	117	75	.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Para dar una óptima solución al modelo planteado, se hizo uso del “solver” GUROBI, el cual se trabajó bajo la plataforma de NEOS y su lenguaje de programación fue AMPL.

MODELO DE RUTEO (TSP+MTZ)

Función Objetivo: $Z_{min} = \sum_{(i,j) \in \text{ARCOS}} D_{ij} * X_{ij}$

Sujeto a:

$$\sum_{(i,j) \in \text{ARCOS}} X_{ij} = 1 ; \forall i \in \text{NODOS} \quad (1)$$

$$\sum_{(i,j) \in \text{ARCOS}} X_{ji} = 1 ; \forall i \in \text{NODOS} \quad (2)$$

$$U_i - U_j + N * X_{ij} \leq (N - 1) ; \quad (3)$$

$$\forall (i,j) \in \text{ARCOS}: i \neq j, i \geq 2, j \geq 2$$

$$1 + (N - 2) * X_{i1} \leq U_i \leq N - 1 - (N - 2) * X_{1i} \quad (4)$$

$$; \forall i \in \text{NODOS}: i \geq 2$$

Conjuntos:

Conjunto de nodos asociados al índice **NODOS**

$$\text{NODOS} = \{V | V \text{ es un nodo}\}$$

Conjunto de arcos asociados al índice **ARCOS**

$$\text{ARCOS} = \{i \in \text{NODOS}; j \in \text{NODOS}; i \neq j\}$$

Parámetros:

Distancia desde el nodo **i** al nodo **j** {km}

$$D_{ij} \{(i,j) \in \text{ARCOS}\}$$

Variables de decisión:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se toma el arco del nodo } i \text{ al nodo } j \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo

$$Z_{min} = \sum_{(i,j) \in A} D_{ij} * X_{ij}$$

La función objetivo es una función de distancia donde se evalúan las distancias asociadas a cada nodo, busca la ruta más corta de tal forma que la distancia recorrida del vehículo por visitar los arcos X_{ij} sean mínimos.

Restricciones

El modelo funciona bajo una serie de restricciones las cuales lo limitan en un rango definido de posibles soluciones de acuerdo a los resultados que se desean obtener.

Restricción 1:

$$\sum_{(i,j) \in ARCOS} X_{ij} = 1 ; \forall i \in NODOS \quad (1)$$

Esta restricción garantiza que el vehículo ingrese exactamente una vez a cada nodo.

Restricción 2:

$$\sum_{(i,j) \in ARCOS} X_{ji} = 1 ; \forall i \in NODOS \quad (2)$$

Esta restricción busca que el vehículo salga exactamente una vez de cada nodo.

Con las restricciones anteriores se genera un espacio de soluciones factibles en las que el vehículo visita los barrios uno a la vez, siguiendo una secuencia en la que solo pasa una vez por cada barrio.

Restricciones de rompimiento de sub-rutas:

$$U_i - U_j + N * X_{ij} \leq (N - 1) ; \quad (3)$$

$$\forall (i,j) \in \text{ARCOS}: i \neq j, i \geq 2, j \geq 2$$

$$1 + (N - 2) * X_{i1} \leq U_i \leq N - 1 - (N - 2) * X_{1i} \quad (4)$$

$$; \forall i \in \text{NODOS}: i \geq 2$$

En las ecuaciones (3) y (4) se incluyen las restricciones de eliminación de subtours de Miller-Tucker-Zemlin, lo que obliga a que un solo camino cubra todos los barrios y no dos o más caminos disjuntos cubran conjuntamente todas los barrios.

Supuestos:

- Las distancias se miden de forma euclidiana.
- Las distancias se consideran simétricas.

Este lenguaje de programación consta de tres archivos primordiales, los cuales son:

Datos: Este archivo contiene la matriz de distancias de los 49 nodos.

Modelo: Este archivo contiene la asignación de los conjuntos, parámetros, variables de decisión, las restricciones y su función objetivo.

Comandos: Este archivo contiene las acciones que debe realizar el “solver”.

A continuación, se anexan los dos componentes del modelo matemático:

Figura 2. Modelo Matemático en lenguaje de programación AMPL.

```
# MODELO TSP+MTZ

# CONJUNTOS PRINCIPALES

set NODOS ordered;
set ARCOS := {i in NODOS, j in NODOS: i <> j};

# PARÁMETROS
```

```

param N integer > 2; # Número de nodos
param D {(i,j) in ARCOS};

# VARIABLES DE DECISIÓN

var X {(i,j) in ARCOS} binary;
var U {NODOS} >= 0;

# FUNCIÓN OBJETIVO

minimize Distancia: sum {(i,j) in ARCOS} D[i,j]*X[i,j];

# RESTRICCIONES

subject to restriccion_1 {i in NODOS}: sum{(i,j) in ARCOS} X[i,j]=1;
subject to restriccion_2 {i in NODOS}: sum{(j,i) in ARCOS} X[j,i]=1;

#RESTRICCIONES DE SUBRUTAS

subject to restriccion_3 {(i,j) in ARCOS: i<>j and i>=2 and j>=2}: U[i] - U[j] +
N*X[i,j] <= N - 1;
subject to restriccion_4 {i in NODOS: i >= 2}: U[i] <= N - 1 - (N - 2)*X[1,i];
subject to restriccion_5 {i in NODOS: i >= 2}: U[i] >= 1 + (N - 2)*X[i,1];

```

Comandos del modelo matemático.

```

# COMANDOS DE INICIALIZACIÓN DE CONDICIONES:

option show_stats 1;
option solution_precision 0;
option omit_zero_rows 1;
option omit_zero_cols 1;
option display_precision 6;
option display_round 1;
option display_width 50;

# COMANDO DE SOLUCIÓN:

solve;

# COMANDOS DE IMPRESIÓN DE RESULTADOS:

```

```

printf "\n\n*****\n";
printf "RESULTADO DEL RUTEO\n";
printf "*****\n\n";

printf "\nDISTANCIA TOTAL = \t%9.1f", Distancia;

printf "\n\nRECORRIDO DEL NODO i AL NODO j =\n\n";
display X;

```

Los resultados arrojados por el “solver” fueron los siguientes:

Resultados del Solver:

```

Solved in 68 iterations and 0.00 seconds
Optimal objective 3.573000000e+03
Gurobi 7.0.1: optimal solution; objective 3573
26656 simplex iterations
1607 branch-and-cut nodes
plus 68 simplex iterations for intbasis

```

```
*****
```

RESULTADO DEL MODELO DERUTEO

```
*****
```

DISTANCIA TOTAL = 3573.0

RECORRIDO DEL NODO i AL NODO j =

```

X [*,*]
: 1 2 3 4 5 6 7 8 :=
5 0.0 0.0 0.0 0.0 . 0.0 0.0 1.0
9 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
13 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0
14 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
16 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0
27 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0
39 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

```

44 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

: 9 10 11 12 13 14 15 16 :=

4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0

8 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

15 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 . 0.0

21 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0

22 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

25 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

33 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

49 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0

: 17 18 19 20 21 22 23 24 :=

2 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0

3 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0

7 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

18 1.0 . 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

19 0.0 0.0 . 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0

24 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 .

37 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

: 25 26 27 28 29 30 31 32 :=

10 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0

23 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0

31 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 . 0.0

34 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0

35 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

36 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

38 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

43 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

: 33 34 35 36 37 38 39 40 :=

1 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0

11 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0

17 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0

40 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 .

41 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0 0.0

42 0.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

```

45  0.0  0.0  1.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
48  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  1.0

:  41  42  43  44  45  46  47  48 :=
12  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  1.0  0.0
26  0.0  0.0  0.0  1.0  0.0  0.0  0.0  0.0
28  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  1.0
29  0.0  0.0  1.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
30  1.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0
32  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  1.0  0.0  0.0
46  0.0  0.0  0.0  0.0  1.0  .  0.0  0.0
47  0.0  1.0  0.0  0.0  0.0  0.0  .  0.0

:  49  :=
20  1.0
;

```

Fuente: Neos Solver Optimization. ®

La anterior modelación fue realizada por un equipo ASUS, procesador AMD ® A6-6310 APU, With0 AMD Radeon R4, Graphics de 8 GB de Memoria RAM, disco duro de 1 TB y Sistema Operativo Windows 7 Ultimate de 64 Bits.

A continuación, se anexa el listado de todos los barrios basados en los resultados obtenidos por el “Solver”.

1. Salida Vía Zarzal-Tuluá
2. Urbanización La Viña.
3. Urbanización Bicentenario
4. Urbanización Villa Zarzal
5. Barrio Los Lagos Etapa 3
6. Barrio Los Lagos Etapa 1
7. Barrio el Placer.
8. Urbanización Ciudad Jardín
9. Urbanización Centenario
10. Barrio Libraida
11. Urbanización Villa Isabela
12. Urbanización Pallanos
13. Urbanización El Progreso

14. Urbanización El Poblado
15. Urbanización Villa Campestre
16. Urbanización Villa Amelia
17. Urbanización Guadualito
18. Urbanización Ciudad Kennedy
19. Barrio La Isabelita
20. Urbanización El Limonar
21. Urbanización El Coclí
22. Urbanización Los Azucareros
23. Urbanización Las Brisas
24. Urbanización de Zarzalito
25. Barrio El Guamal
26. Barrio La Balbanera
27. Barrio las Mercedes
28. Urbanización La Castilla
29. Urbanización Diana Marcela
30. Urbanización Villa Yoli
31. Urbanización Los Almendros
32. Urbanización El Prado
33. Barrio La Esperanza
34. Barrio Bolívar
35. Urbanización Bajo Buenos Aires
36. Urbanización Ciudad del Pacífico
37. Urbanización Discapacitados
38. Urbanización Puertas del Sol I
39. Urbanización Ciudadela del Norte
40. Urbanización Puertas del Sol II
41. Barrio Alto Buenos Aires
42. Urbanización Brisas de Riopaila
43. Barrio Quindío
44. Barrio Gonzalo Echeverry
45. Centro
46. Barrio San Rafael
47. Urbanización Lina María
48. Barrio Colombina
49. Barrio Los Lagos Etapa 2

A continuación, se anexa la Figura No. 3 donde muestra la ubicación de los 49 puntos de interés (48 barrios y el punto inicial del recorrido.)

Figura 3. Ubicación geográfica de los barrios en el casco urbano



Fuente: Google Earth, 2016.

Para la debida selección de cada uno de los clústers (grupos) de cada barrio es necesario basar la decisión bajo varios criterios, lo cuales son:

- Secuencia generada por el modelo matemático TSP de las 48 localizaciones de los barrios municipales.
- Distancia entre cada uno de los puntos de interés.
- Capacidad máxima de material reciclable obtenido en cada punto de entrega voluntario diario. (500 Kg)

Bajo estos criterios se utilizó el método de localización de centro de gravedad donde se hace una ponderación de carga-distancia basándose en su ubicación geográfica y la cantidad de residuos aprovechables producidos de los barrios para así obtener los posibles puntos para la respectiva ubicación de los PEV.

$$x^* = \frac{\sum_i l_i \cdot x_i}{\sum_i l_i} \quad y \quad y^* = \frac{\sum_i l_i \cdot y_i}{\sum_i l_i} \quad (1)$$

Siendo la ecuación 1 la forma matemática para obtener los centros de gravedad de los grupos de los barrios anteriormente especificados.

A continuación, se anexan las tablas con los clúster hallados por el método carga-distancia con su respectivo centro de gravedad y su punto de convergencia poblacional.

Tabla 10. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 1

CLÚSTER 1	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Urbanización la Viña	10,85	380,6405	484,7209
Urbanización Bicentenario	39,13	380,6356	484,7937
Urbanización Villa Zarzal	20,85	380,6799	484,8976
CENTRO DE GRAVEDAD			
X1	380,64937498		
Y1	484,81315659		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 11. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 2

CLÚSTER 2	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Barrio Los Lagos Etapa 3	57,12	380,7360	485,0147
Barrio Los Lagos Etapa 1	60,97	380,7003	485,2206
Barrio el Placer	6,71	380,5139	485,4894
CENTRO DE GRAVEDAD			
X2	380,70663507		
Y2	485,14090112		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 12. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 3

CLÚSTER 3	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Urbanización Ciudad Jardín	20,13	380,5564	485,7814
Urbanización Centenario	21,71	380,5801	485,8790
Barrio Librada	39,41	380,6436	485,9951
CENTRO DE GRAVEDAD			
X3	380,60505285		
Y3	485,91119584		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 13. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 4

CLÚSTER 4	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Urbanización Villa Isabela	21,42	380,5055	486,1023
Urbanización Pallanos	12,71	380,3911	486,0141
Urbanización El Progreso	7,14	380,3016	486,0049
Urbanización El Poblado	17,14	380,2086	485,9722
CENTRO DE GRAVEDAD			
X4	380,3686		
Y4	486,03307		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 14. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 5

CLÚSTER 5	Volumen total estimado V_i (Kg/Día)	X_i (Km)	Y_i (Km)
Urbanización Villa Campestre	4,57	380,0241	485,7586
Urbanización Villa Amelia	16,85	379,7919	485,8862
CENTRO DE GRAVEDAD			
X5	379,84150716		
Y5	485,85906103		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 15. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 6

CLÚSTER 6	Volumen total estimado V_i (Kg/Día)	X_i (Km)	Y_i (Km)
Urbanización Guadualito	34,27	380,3273	486,1983
Urbanización Ciudad Kennedy	15,99	380,4272	486,3089
Barrio La Isabelita	24,13	380,6124	486,3759
CENTRO DE GRAVEDAD			
X6	380,44128685		
Y6	486,279,74770		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 16. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 7

CLÚSTER 7	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Urbanización El Limonar	9,14	380,5804	486,6637
Urbanización El Coclí	17,42	380,3770	486,8195
Urbanización Los Azucareros	13,71	380,4542	486,9925
Urbanización Las Brisas	7,85	380,6305	486,8308
CENTRO DE GRAVEDAD			
X7	380,47891643		
Y7	486,84088795		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 17. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 8

CLÚSTER 8	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Urbanización de Zarzalito	32,84	380,8868	486,5095
Barrio El Guamal	26,42	380,8106	486,3217
CENTRO DE GRAVEDAD			
X8	380,85262259		
Y8	486,42600765		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 18. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 9

CLÚSTER 9	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Barrio La Balbanera	70,26	381,0327	486,2476
Barrio las Mercedes	67,40	381,2544	486,3496
CENTRO DE GRAVEDAD			
X9	381,14092879		
Y9	486,29742370		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 19. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 10

CLÚSTER 10	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Urbanización La Castilla	5,71	381,1866	486,5239
Urbanización Villa Yoli	11,99	381,5932	486,5762
Urbanización Diana Marcela	8,43	381,4685	486,6606
Urbanización Los Almendros	21,13	381,5071	486,4906
Urbanización El Prado	6,00	381,6153	486,3746
CENTRO DE GRAVEDAD			
X10	381,49818966		
Y10	486,52722854		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 20. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 11

CLÚSTER 11	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Barrio Bolívar	104,96	381,5512	486,0456
CENTRO DE GRAVEDAD			
X11	381,55124820		
Y11	486,04560460		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 21. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 12

CLÚSTER 12	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Urbanización Bajo Buenos Aires	6,71	381,9304	486,0687
Urbanización Ciudad del Pacífico	8,43	381,966	485,8232
Urbanización Discapacitados	4,28	381,8891	485,6859
Urbanización Puertas del Sol I	7,28	381,7607	485,7424
CENTRO DE GRAVEDAD			
X12	381,88893028		
Y12	485,84063214		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 22. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 13

CLÚSTER 13	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Urbanización Ciudadela del Norte	3,43	381,6537	485,7252
Urbanización Puertas del Sol II	4,86	381,7114	485,5956
Barrio Alto Buenos Aires	22,28	381,5794	485,4536
Urbanización Brisas de Riopaila	20,71	381,5909	485,2347
CENTRO DE GRAVEDAD			
X13	381,6012057		
Y13	485,39697183		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 23. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 14

CLÚSTER 14	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Barrio Quindío	52,98	381,2533	485,5588
Barrio Gonzalo Echeverry	90,10	381,4565	485,7901
CENTRO DE GRAVEDAD			
X14	381,38130974		
Y14	485,70437034		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 24. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 15

CLÚSTER 15	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Centro	40,41	381,0255	485,8926
CENTRO DE GRAVEDAD			
X15	381,02534650		
Y15	485,89224060		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 25. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 16

CLÚSTER 16	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Barrio San Rafael	37,98	380,9411	485,5759
Urbanización Lina María	32,84	381,1301	485,2305
Barrio Colombina	3,57	380,9656	485,2136
CENTRO DE GRAVEDAD			
X16	381,02572393		
Y16	485,40564280		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 26. Coordenadas cartesianas y centro de gravedad del clúster 17

CLÚSTER 17	Volumen total estimado Vi (Kg/Día)	Xi (Km)	Yi (Km)
Barrio Los Lagos Etapa 2	55,41	380,9174	485,0009
CENTRO DE GRAVEDAD			
X17	380,9174		
Y17	485,0009		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Luego de establecer los 17 clústers, se obtuvieron sus respectivos centros de gravedad, en donde se pudo dar a conocer los puntos críticos de mayor densidad poblacional, donde posteriormente serán ubicados los puntos de entrega voluntaria de residuos aprovechables, estableciendo así de esta manera los puntos en zonas accesibles y de fácil acceso para la comunidad, también, fueron establecidos de forma tal que cada persona cuente con un punto de entrega lo más cercano posible a su barrio para no tener grandes desplazamientos a la hora de llegar a dicho lugar.

Con este método se obtuvo una cobertura del 100% del municipio, garantizando que cada uno de sus habitantes cuente con un punto de entrega lo más cercano a su barrio. De esta manera se espera que la comunidad contribuya de manera positiva con cada uno de los puntos de entrega que serán ubicados a lo largo y ancho del municipio. Todo esto con el fin de darle un uso racional a estos residuos y sobre todo contribuyendo con el cuidado del medio ambiente.

8 MODELACIÓN MATEMÁTICA

Para llevar a cabo la modelación matemática se hizo uso del TSP (Travelling Salesman Problem) el cual se basó en lenguaje de programación AMPL, el cual fue utilizado anteriormente como método de selección de clúster, dando como resultado la secuencia óptima que permitirá la recolección de los residuos aprovechables en los puntos de entrega establecidos en las zonas de mayor densidad poblacional mediante el método del centro de gravedad.

El modelo matemático realizado bajo el lenguaje de AMPL consta de dos archivos, el primero contiene el modelo matemático con sus respectivas restricciones, el segundo archivo contiene los datos necesarios que utilizará el modelo.

Mediante la utilización del TSP (Travelling Salesman Problem) se podrá obtener una minimización del recorrido obtenido, generando así de esta manera una matriz de distancias, con la cual la consola dará la secuencia óptima que permitirá que la distancia recorrida por cada uno de los puntos sea la mínima.

MODELO DE RUTEO (TSP+MTZ)

Función Objetivo:

$$Z_{min} = \sum_{(i,j) \in ARCOS} D_{ij} * X_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{(i,j) \in ARCOS} X_{ij} = 1 ; \forall i \in NODOS \quad (1)$$

$$\sum_{(i,j) \in ARCOS} X_{ji} = 1 ; \forall i \in NODOS \quad (2)$$

$$U_i - U_j + N * X_{ij} \leq (N - 1) ; \quad (3)$$

$$\forall (i,j) \in ARCOS: i \neq j, i \geq 2, j \geq 2$$

$$1 + (N - 2) * X_{i1} \leq U_i \leq N - 1 - (N - 2) * X_{1i} \quad (4)$$

$$; \forall i \in NODOS: i \geq 2$$

Conjuntos:

Conjunto de nodos asociados al índice ***NODOS***

$$NODOS = \{V | V \text{ es un nodo}\}$$

Conjunto de arcos asociados al índice ***ARCOS***

$$ARCOS = \{i \in NODOS; j \in NODOS; i \neq j\}$$

Parámetros:

Distancia desde el nodo ***i*** al nodo ***j*** {km}

$$D_{ij} \{(i, j) \in ARCOS\}$$

Variables de decisión:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si se toma el arco del nodo } i \text{ al nodo } j \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo

$$Z_{min} = \sum_{(i,j) \in A} D_{ij} * X_{ij}$$

La función objetivo es una función de distancia donde se evalúan las distancias asociadas a cada nodo, busca la ruta más corta de tal forma que la distancia recorrida del vehículo por visitar los arcos X_{ij} sean mínimos.

Restricciones

El modelo funciona bajo una serie de restricciones las cuales lo limitan en un rango definido de posibles soluciones de acuerdo a los resultados que se desean obtener.

Restricción 1:

$$\sum_{(i,j) \in \text{ARCOS}} X_{ij} = 1 ; \forall i \in \text{NODOS} \quad (1)$$

Esta restricción garantiza que el vehículo ingrese exactamente una vez a cada nodo.

Restricción 2:

$$\sum_{(i,j) \in \text{ARCOS}} X_{ji} = 1 ; \forall i \in \text{NODOS} \quad (2)$$

Esta restricción busca que el vehículo salga exactamente una vez de cada nodo.

Con las restricciones anteriores se genera un espacio de soluciones factibles en las que el vehículo visita los clústers uno a la vez, siguiendo una secuencia en la que solo pasa una vez por cada clúster.

Restricciones de rompimiento de sub-rutas:

$$U_i - U_j + N * X_{ij} \leq (N - 1) ; \quad (3)$$

$$\forall (i,j) \in \text{ARCOS}: i \neq j, i \geq 2, j \geq 2$$

$$1 + (N - 2) * X_{i1} \leq U_i \leq N - 1 - (N - 2) * X_{1i} \quad (4)$$

$$; \forall i \in \text{NODOS}: i \geq 2$$

En las ecuaciones (3) y (4) se incluyen las restricciones de eliminación de subtours de Miller-Tucker-Zemlin, lo que obliga a que un solo camino cubra todos los clúster y no dos o más caminos disjuntos cubran conjuntamente todas los clúster.

Supuestos:

- Las distancias se miden de forma euclidiana.
- Las distancias se consideran simétricas.

A continuación, se anexan los dos componentes para la asignación de la posible ruta.

Modelo variante del TSP en lenguaje de programación AMPL

```
# MODELO TSP+MTZ
```

```
# CONJUNTOS PRINCIPALES
```

```
set NODOS ordered;  
set ARCOS := {i in NODOS, j in NODOS: i <> j};
```

```
# PARÁMETROS
```

```
param N integer > 2; # Número de nodos  
param D {(i,j) in ARCOS};
```

```
# VARIABLES DE DECISIÓN
```

```
var X {(i,j) in ARCOS} binary;  
var U {NODOS} >= 0;
```

```
# FUNCIÓN OBJETIVO
```

```
minimize Distancia: sum {(i,j) in ARCOS} D[i,j]*X[i,j];
```

```
# RESTRICCIONES
```

```
subject to restriccion_1 {i in NODOS}: sum{(i,j) in ARCOS} X[i,j]=1;  
subject to restriccion_2 {i in NODOS}: sum{(j,i) in ARCOS} X[j,i]=1;
```

```
#RESTRICCIONES DE SUBRUTAS
```

```
subject to restriccion_3 {(i,j) in ARCOS: i<>j and i>=2 and j>=2}: U[i] - U[j] +  
N*X[i,j] <= N - 1;
```

subject to restriccion_4 {i in NODOS: i >= 2}: U[i] <= N - 1 - (N - 2)*X[1,i];
 subject to restriccion_5 {i in NODOS: i >= 2}: U[i] >= 1 + (N - 2)*X[i,1];

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Figura 4. Matriz de distancias de los 17 puntos verdes hallados

set NODOS:=	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18;
param N:= 18;																		
param D:																		
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18:=
1	.	170	237	466	527	570	588	749	604	561	643	504	488	327	391	437	289	172
2	170	.	101	335	382	403	451	620	495	477	583	465	491	340	352	348	214	100
3	237	101	.	237	291	343	356	523	394	377	487	377	419	284	268	249	126	77
4	466	335	237	.	81	233	123	286	174	201	331	291	392	342	245	128	200	293
5	527	382	291	81	.	169	78	249	190	249	376	360	467	423	325	205	277	356
6	570	403	343	233	169	.	223	357	353	418	544	524	624	555	472	361	387	420
7	588	451	356	123	78	223	.	171	133	213	331	346	461	444	336	214	320	416
8	749	620	523	286	249	357	171	.	170	261	325	407	527	557	442	334	468	577
9	604	495	394	174	190	353	133	170	.	96	199	242	363	388	273	171	315	435
10	561	477	377	201	249	418	213	261	96	.	129	147	267	308	195	128	274	401
11	643	583	487	331	376	544	331	325	199	129	.	148	241	346	253	241	371	498
12	504	465	377	291	360	524	346	407	242	147	148	.	120	198	116	167	252	373
13	488	491	419	392	467	624	461	527	363	267	241	120	.	161	160	264	295	392
14	327	340	284	342	423	555	444	557	388	308	346	198	161	.	115	232	175	241
15	391	352	268	245	325	472	336	442	273	195	253	116	160	115	.	123	142	257
16	437	348	249	128	205	361	214	334	171	128	241	167	264	232	123	.	148	274
17	289	214	126	200	277	387	320	468	315	274	371	252	295	175	142	148	.	128
18	172	100	77	293	356	420	416	577	435	401	498	373	392	241	257	274	128	.
;																		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

A continuación, se anexan los resultados arrojados por el lenguaje de programación AMPL sobre la posible ruta.

Figura 5. Resultados arrojados por la consola AMPL

```

Ampl: model MODELO.txt
Ampl: data DATOS.txt;
Ampl: option solver cplex;
Ampl: solve;
CPLEX 12.6.1.0: optimal integer solution; objective 2658
10275 MIP simplex iterations
1396 branch-and-bound nodes
No basis.
Ampl: display U;
U [*] :=

```

Secuencia	No. Clúster
1	0
2	1
3	3
4	6
5	7
6	8
7	9
8	10
9	11
10	12
11	13
12	14
13	15
14	17
15	16
16	5
17	4
18	2

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

9 ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Se evaluará financieramente la propuesta en tres escenarios diferenciados por el porcentaje de residuos aprovechables recuperados, teniendo como escenario Bueno (90%), Regular (65%) Y Malo (40%)

La cantidad de residuos producidos por la comunidad así como el porcentaje de residuos aprovechables generados fue suministrada por el equipo del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos en su actualización del año 2015.

Las tarifas de recolección fueron suministradas por el grupo Proactiva Valle del Cauca, la entidad privada dedicada a la prestación del Servicio Público Domiciliario de Aseo en el municipio para la población, los pequeños productores comerciales e industriales.

El precio de compraventa de los desechos aprovechables tratados en la propuesta fueron proporcionados por los entes recicladores informales que operan en el municipio objeto de estudio.

ESCENARIO 1: 90% de los residuos aprovechables recuperados.

A continuación, se presentan en la Tabla No. 27 con los datos relacionados con el escenario 1 (Bueno) respecto a la producción de todos los tipos de residuos, el porcentaje perdido en la separación en la fuente y la cantidad dirigida al relleno sanitario del corregimiento de Presidente en el municipio de San Pedro, en el Valle del Cauca.

Tabla 27. Datos del escenario No. 1

RESIDUOS PRODUCIDOS (Kg/Día)	9102,5
RESIDUOS APROVECHABLES PRODUCIDOS (Kg/Día)	1267,6
PORCENTAJE DE RESIDUOS APROVECHABLES (%)	19,51%
PORCENTAJE RECUPERADO (%)	90%
RESIDUOS ENVIADOS A PRESIDENTE (Kg/Día)	7962

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

A continuación, se anexa la Tabla 28 donde se ilustra la reducción de la tarifa de recolección municipal para la población y los entes productores industriales y comerciales pequeños, con la implementación del sistema de recolección selectiva para el escenario 1 (Bueno).

Tabla 28. Reducción de la tarifa de recolección del escenario No. 1

USO	TARIFA ACTUAL	TARIFA ESCENARIO 1
POBLACIÓN	17.806	15.574
PEQUEÑOS PRODUCTORES COMERCIAL	51.839	45.342
PEQUEÑOS PRODUCTORES INDUSTRIAL	44.927	39.296

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Posteriormente, se anexa la Tabla 29 donde se aprecia el valor de compraventa de los residuos aprovechables, el porcentaje de producción municipal y la ganancia promedio diaria que se tendría por la implementación del sistema en el escenario 1 (Bueno).

Tabla 29. Ganancias por venta de residuos aprovechables recuperados del escenario No. 1

PRODUCTO	PRECIO (\$/Kg)	PORCENTAJE PRODUCIDO (%)	PROMEDIO PRODUCIDO (Kg/Día)	GANANCIA PROMEDIO (\$/Día)
PAPEL	\$ 450	3,00%	246,0	\$ 110.706
CARTÓN	\$ 300	3,13%	256,6	\$ 76.981
ALUMINIO	\$ 2.000	1,05%	85,9	\$ 171.789
VIDRIO	\$ 100	3,55%	291,0	\$ 29.103
PLÁSTICO	\$ 500	8,77%	718,9	\$ 359.432
CANTIDAD TOTAL		9102,49	1598,4	\$ 748.011

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Seguidamente, en la Tabla 30 se anexan las ganancias por cada uno de los días de recolección de la semana para el escenario 1 (Bueno).

Tabla 30. Ganancias por venta de cada día de recolección del escenario No. 1

DÍA DE RECOLECCIÓN		
Lunes	Miércoles	Viernes
\$ 332.118	\$ 221.412	\$ 221.412
\$ 230.944	\$ 153.963	\$ 153.963
\$ 515.366	\$ 343.577	\$ 343.577
\$ 87.308	\$ 58.206	\$ 58.206
\$ 1.078.297	\$ 718.865	\$ 718.865
\$ 2.244.033	\$ 1.496.022	\$ 1.496.022

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Consecutivamente, en la Tabla 31 se anexan las proyecciones de las ganancias en los tres horizontes de tiempo planteados en el sistema para el escenario 1 (Bueno)

Tabla 31. Ganancias del escenario No. 1

GANANCIAS	
Semanal	\$ 5.236.078
Mensual	\$ 62.832.938
Anual	\$ 753.995.256

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Consecutivamente, En la Tabla 32 se anexan los costos tanto fijos como variables para la apertura y sostenimiento mensual del sistema en el escenario 1 (Bueno).

Tabla 32. Costos del escenario No. 1

COSTOS VARIABLES	PUNTO VERDE	TOTAL DEL SISTEMA
SALARIOS	737.717	11.803.472
PRESTACIONES DE LEY	276.632	4.426.112
SERVICIOS PÚBLICOS	350.000	5.600.000
TOTAL COSTOS VARIABLES	1.364.349	21.829.584
COSTOS FIJOS	PUNTO VERDE	TOTAL
ADECUACIÓN DEL TERRENO	1.000.000	16.000.000
INFRAESTRUCTURA	500.000	8.000.000
COMPACTADORA	9.800.000	156.800.000
TERRENO	1.200.000	19.200.000
TOTAL COSTOS FIJOS	12.500.000	200.000.000
TOTAL COSTOS	13.864.349	221.829.584

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Finalmente, en la Tabla 33 se anexa el período de tiempo necesario para la retribución total del capital invertido en el sistema para el escenario 1 (Bueno).

Tabla 33. Período de tiempo del escenario No. 1

MES	0	1	2	...	6
INVERSIÓN INICIAL	221.829.584				
INGRESOS		62.832.938	62.832.938	...	62.832.938
EGRESOS		21.829.584	21.829.584	...	21.829.584
SALDO	(221.829.584)	(180.826.230)	(139.822.876)	...	24.190.540

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

ESCENARIO 2: 65% de los residuos aprovechables recuperados.

A continuación, se presentan en la Tabla 34 los datos relacionados con el escenario 2 (Regular) respecto a la producción de todos los tipos de residuos, el porcentaje perdido en la separación en la fuente y la cantidad dirigida al relleno sanitario del corregimiento de Presidente en el municipio de San Pedro, Valle del Cauca.

Tabla 34. Datos del escenario No. 2

DATOS	
RESIDUOS PRODUCIDOS (Kg/Día)	9102,5
RESIDUOS APROVECHABLES PRODUCIDOS (Kg/Día)	1267,6
PORCENTAJE DE RESIDUOS APROVECHABLES (%)	19,51%
PORCENTAJE RECUPERADO (%)	65%
RESIDUOS ENVIADOS A PRESIDENTE (Kg/Día)	7962

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

A continuación, se anexa la Tabla 35 donde se ilustra la reducción de la tarifa de recolección municipal para la población y los entes productores industriales y comerciales pequeños, con la implementación del sistema de recolección selectiva para el escenario 2 (Regular).

Tabla 35. Reducción de la tarifa de recolección del escenario No. 2

USO	TARIFA ACTUAL	TARIFA ESCENARIO 1
POBLACIÓN	17.806	16.194
PEQUEÑOS PRODUCTORES COMERCIAL	51.839	47.147
PEQUEÑOS PRODUCTORES INDUSTRIAL	44.927	40.860

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Posteriormente, se anexa la Tabla 36 donde se aprecia el valor de compraventa de los residuos aprovechables, el porcentaje de producción municipal y la ganancia promedio diaria que se tendría por la implementación del sistema en el escenario 2 (Regular).

Tabla 36. Ganancias por venta de residuos aprovechables recuperados del escenario No. 2

PRODUCTO	PRECIO (\$/Kg)	PORCENTAJE PRODUCIDO (%)	PROMEDIO PRODUCIDO (Kg/Día)	GANANCIA PROMEDIO (\$/Día)
PAPEL	\$ 450	3,00%	177,7	\$ 79.954
CARTÓN	\$ 300	3,13%	185,3	\$ 55.598
ALUMINIO	\$ 2.000	1,05%	62,0	\$ 124.070
VIDRIO	\$ 100	3,55%	210,2	\$ 21.019
PLÁSTICO	\$ 500	8,77%	519,2	\$ 259.590
CANTIDAD TOTAL		9102,49	1154,4	\$ 540.230

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Seguidamente, en la Tabla 37 se anexan las ganancias por cada uno de los días de recolección de la semana para el escenario 2 (Regular).

Tabla 37. Ganancias por venta de cada día de recolección del escenario No. 2

DÍA DE RECOLECCIÓN		
Lunes	Miércoles	Viernes
\$ 239.863	\$ 159.909	\$ 159.909
\$ 166.793	\$ 111.195	\$ 111.195
\$ 372.209	\$ 248.139	\$ 248.139
\$ 63.056	\$ 42.037	\$ 42.037
\$ 778.770	\$ 519.180	\$ 519.180
\$ 1.620.691	\$ 1.080.461	\$ 1.080.461

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Consecutivamente, en la Tabla 38 se anexan las proyecciones de las ganancias en los tres horizontes de tiempo planteados en el sistema para el escenario 2 (Regular)

Tabla 38. Ganancias del escenario No. 2

GANANCIAS		
Semanal	\$	3.781.612
Mensual	\$	45.379.344
Anual	\$	544.552.129

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Consecutivamente, en la Tabla 39 se anexan los costos tanto fijos como variables para la iniciación y sostenimiento mensuales del sistema en el escenario 2 (Regular).

Tabla 39. Costos del escenario No. 2

COSTOS VARIABLES	PUNTO VERDE	TOTAL DEL SISTEMA
SALARIOS	737.717	11.803.472
PRESTACIONES DE LEY	276.632	4.426.112
SERVICIOS PUBLICOS	350.000	5.600.000
TOTAL COSTOS VARIABLES	1.364.349	21.829.584
COSTOS FIJOS	PUNTO VERDE	TOTAL DEL SISTEMA
ADECUACION DEL TERRENO	1.000.000	16.000.000
INFRAESTRUCTURA	500.000	8.000.000
COMPACTADORA	9.800.000	156.800.000
TERRENO	1.200.000	19.200.000
TOTAL COSTOS FIJOS	12.500.000	200.000.000
TOTAL COSTOS	13.864.349	221.829.584

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Finalmente, en la Tabla 40 se anexa el período de tiempo necesario para la retribución total del capital invertido en el sistema para el escenario 2 (Regular).

Tabla 40. Período de tiempo del escenario No. 2

MES	0	1	2	...	10
INVERSIÓN INICIAL	221.829.584				
INGRESOS		45.379.344	45.379.344	...	45.379.344
EGRESOS		21.829.584	21.829.584	...	21.829.584
SALDO	(221.829.584)	(198.279.824)	(174.730.064)	...	13.668.017

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

ESCENARIO 3: 40% de los residuos aprovechables recuperados.

A continuación, se presentan en la Tabla 41 los datos relacionados con el escenario 3 (Malo) respecto a la producción de todos los tipos de residuos, el porcentaje perdido en la separación en la fuente y la cantidad dirigida al relleno sanitario del corregimiento de Presidente en el municipio de San Pedro, en el Valle del Cauca.

Tabla 41. Datos del escenario No. 3

RESIDUOS PRODUCIDOS (Kg/Día)	9102,5
RESIDUOS APROVECHABLES PRODUCIDOS (Kg/Día)	1267,6
PORCENTAJE DE RESIDUOS APROVECHABLES (%)	19,51%
PORCENTAJE RECUPERADO (%)	40%
RESIDUOS ENVIADOS A PRESIDENTE (Kg/Día)	7962

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

A continuación, se anexa la Tabla 42 donde se ilustra la reducción de la tarifa de recolección municipal para la población y los entes productores industriales y comerciales pequeños, con la implementación del sistema de recolección selectiva para el escenario 3 (Malo).

Tabla 42. Reducción de la tarifa de recolección del escenario No. 3

USO	TARIFA ACTUAL	TARIFA ESCENARIO 1
POBLACIÓN	17.806	16.814
PEQUEÑOS PRODUCTORES COMERCIALES	51.839	48.951
PEQUEÑOS PRODUCTORES INDUSTRIALES	44.927	42.424

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Posteriormente, se anexa la Tabla 43 donde se aprecia el valor de compraventa de los residuos aprovechables, el porcentaje de producción municipal y la ganancia

promedio diaria que se tendría por la implementación del sistema en el escenario 3 (Malo).

Tabla 43. Ganancias por venta de residuos aprovechables recuperados del escenario No. 3

PRODUCTO	PRECIO (\$/Kg)	PORCENTAJE PRODUCIDO (%)	PROMEDIO PRODUCIDO (Kg/Día)	GANANCIA PROMEDIO (\$/Día)
PAPEL	\$ 450	3,00%	109,3	\$ 49.203
CARTÓN	\$ 300	3,13%	114,0	\$ 34.214
ALUMINIO	\$ 2.000	1,05%	38,2	\$ 76.351
VIDRIO	\$ 100	3,55%	129,3	\$ 12.935
PLÁSTICO	\$ 500	8,77%	319,5	\$ 159.748
CANTIDAD TOTAL		9102,49	710,4	\$ 332.449

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Seguidamente, en la Tabla 44 se anexan las ganancias por cada uno de los días de recolección de la semana para el escenario 3 (Malo).

Tabla 44. Ganancias por venta de cada día de recolección del escenario No. 3

DÍAS DE RECOLECCIÓN			
	Lunes	Miércoles	Viernes
\$	147.608	\$ 98.405	\$ 98.405
\$	102.642	\$ 68.428	\$ 68.428
\$	229.052	\$ 152.701	\$ 152.701
\$	38.804	\$ 25.869	\$ 25.869
\$	479.243	\$ 319.495	\$ 319.495
\$	997.348	\$ 664.899	\$ 664.899

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Consecutivamente, en la Tabla 45 se anexan las proyecciones de las ganancias en los tres horizontes de tiempo planteados en el sistema para el escenario 3 (Malo).

Tabla 45. Datos del escenario No. 3

GANANCIA		
Semanal	\$	2.327.146
Mensual	\$	27.925.750
Anual	\$	335.109.002

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Consecutivamente, En la Tabla 46 se anexan los costos tanto fijos como variables para la iniciación y sostenimiento mensuales del sistema en el escenario 3 (Malo).

Tabla 46. Costos del escenario No. 3

COSTOS VARIABLES	PUNTO VERDE	TOTAL DEL SISTEMA
SALARIOS	737.717	11.803.472
PRESTACIONES DE LEY	276.632	4.426.112
SERVICIOS PUBLICOS	350.000	5.600.000
TOTAL COSTOS VARIABLES	1.364.349	21.829.584
COSTOS FIJOS	PUNTO VERDE	TOTAL DEL SISTEMA
ADECUACIÓN DEL TERRENO	1.000.000	16.000.000
INFRAESTRUCTURA	500.000	8.000.000
COMPACTADORA	9.800.000	156.800.000
TERRENO	1.200.000	19.200.000
TOTAL COSTOS FIJOS	12.500.000	200.000.000
TOTAL COSTOS	13.864.349	221.829.584

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Finalmente, en la Tabla 47 se anexa el período de tiempo necesario para la retribución total del capital invertido en el sistema para el escenario 3 (Malo).

Tabla 47. Período de tiempo del escenario No. 3

MES	0	1	2	...	37
INVERSIÓN INICIAL	0	1	2		
INGRESOS	221.829.584			...	27.925.750
EGRESOS		27.925.750	27.925.750	...	21.829.584
SALDO		21.829.584	21.829.584	...	3.728.566

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

10 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se abordaran los resultados obtenidos de cada uno de los objetivos específicos anteriormente planteados.

En primera instancia, el diagnostico del sistema de recolección de residuos sólidos del municipio objeto de estudio reveló que este no cuenta con un sistema de recogida selectiva, provocando que todos los residuos solidos generados en el casco urbano sean depositados sin orden ni logística alguna en el relleno sanitario ubicado en el corregimiento de Presidente del municipio de San Pedro Valle del Cauca a aproxinadanente a 60 km de Zarzal Valle del Cauca, desaprovechando así de esta manera un potencial en dichos residuos donde se podrían utilizar como compostaje en el caso de los organicos y como parte de un sistema de aprovechamiento los reciclables.

Como segunda instancia, con la utilización de programas de posicionamiento global, calculadoras geodésicas y el método de localización discreta de centro de gravedad se logro la identificacion de los “clústers” siendo estos los grupos de barrios que entrarían en la cobertura de cada punto de entrega voluntaria de residuos aprovechables ubicados a lo largo y ancho del municipio objeto de estudio, obteniendo de esta manera los puntos verdes para la cobertura de todo el municipio, maximizando asi la recuperación de este tipo de residuos.

Para hacer la debida conversión de las coordenadas cartesianas las cuales fueron utilizadas en el modelo matemático a las geodésicas se hizo uso de la “Calculadora Geodésica Utmv9.200712” la cual permitio conocer la ubicación geográfica exacta de cada uno de los puntos previamente obtenidos en el municipio objeto de estudio.

A continuación, se anexa la Tabla No. 27 con la localización obtenida de cada uno de los puntos de entrega voluntaria de residuos aprovechables.

Tabla 48. Coordenadas de los puntos verdes.

centroide	Coordenadas cartesianas		Coordenadas geodésicas	
	X	Y	N	W
1	380649,375	484813,157	4,385	76,076
2	380706,635	485140,901	4,388	76,075
3	380605,053	485911,196	4,396	76,076
4	380368,626	486033,079	4,397	76,078
5	379841,507	485859,061	4,395	76,083
6	380441,287	486279,748	4,399	76,078
7	380478,916	486840,888	4,404	76,077
8	380852,623	486426,008	4,400	76,074
9	381140,929	486297,424	4,399	76,071
10	381498,190	486527,229	4,401	76,068
11	381551,248	486045,605	4,397	76,067
12	381888,930	485840,632	4,395	76,064
13	381601,421	485396,972	4,391	76,067
14	381381,310	485704,370	4,393	76,069
15	381025,347	485892,241	4,395	76,072
16	381025,724	485405,643	4,391	76,072
17	380917,199	485000,309	4,387	76,073

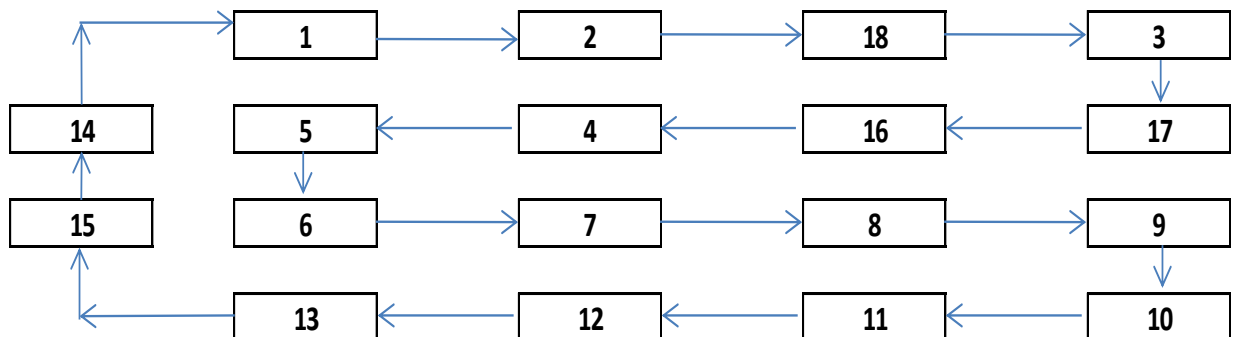
Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Como tercera instancia, se obtuvo la ruta de recolección óptima, la cual pasa estratégicamente por cada uno de los puntos establecidos mediante el método de Travelling Salesman Problem. Esta ruta fue diseñada con dos objetivos primordialmente, el primero de ellos fue minimizar la distancia necesaria para hacer la debida recolección de los residuos aprovechables por todo el municipio y la

segunda de ella fue facilitar la accesibilidad al público mediante la ubicación estratégica de los punto de entrega, los cuales fueron ubicados lo más cercanos posible a cada uno de los barrios del municipio.

El orden de recolección más adecuado basado en los resultados obtenidos por el modelo matemático fueron:

ruta óptima:



Fuente: Elaboración Propia, 2016.

El recorrido obtenido da comienzo en la entrada sur del municipio (Vía la Paila) Comenzando el recorrido en la entrada sur del municipio Vía Zarzal – La Paila seguido de los barrios correspondientes al radio de cobertura de cada uno de los puntos, para finalmente terminar el recorrido en el punto de inicio, completando satisfactoriamente todo el recorrido de recolección establecido.

A continuación, se anexa el orden de recolección con la debida agrupación de barrios para cada punto de entrega de residuos aprovechables.

Punto de entrega voluntaria #1

- Urbanización La Viña
- Urbanización Bicentenario
- Urbanización Villa Zarzal

Punto de entrega voluntaria #2

- Barrio Los Lagos Etapa 2

Punto de entrega voluntaria #3

- Barrio Los Lagos Etapa 3
- Barrio Los Lagos Etapa 1
- Barrio el Placer

Punto de entrega voluntaria #4

- Barrio San Rafael
- Urbanización Lina María
- Barrio Colombina

Punto de entrega voluntaria #5

- Centro

Punto de entrega voluntaria #6

- Urbanización Ciudad Jardín
- Urbanización Centenario
- Barrio Librada

Punto de entrega voluntaria #7

- Urbanización Villa Isabela
- Urbanización Pallanos
- Urbanización El Progreso
- Urbanización El Poblado

Punto de entrega voluntaria #8

- Urbanización Villa Campestre
- Urbanización Villa Amelia

Punto de entrega voluntaria #9

- Urbanización Guadualito
- Urbanización Ciudad Kennedy
- Barrio La Isabelita

Punto de entrega voluntaria #10

- Urbanización El Limonar
- Urbanización El Cocli
- Urbanización Los Azucareros

- Urbanización Las Brisas

Punto de entrega voluntaria #11

- Urbanización de Zarzalito
- Barrio El Guamal

Punto de entrega voluntaria #12

- Barrio La Balbanera
- Barrio las Mercedes

Punto de entrega voluntaria #13

- Urbanización La Castilla
- Urbanización Diana Marcela
- Urbanización Villa Yoli
- Urbanización Los Almendros
- Urbanización El Prado

Punto de entrega voluntaria #14

- Barrio La Esperanza
- Barrio Bolívar

Punto de entrega voluntaria #15

- Urbanización Bajo Buenos Aires
- Urbanización Ciudad del Pacífico
- Urbanización Discapacitados
- Urbanización Puertas del Sol I

Punto de entrega voluntaria #16

- Barrio Quindío
- Barrio Gonzalo Echeverry

Punto de entrega voluntaria #17

- Urbanización Ciudadela del Norte
- Urbanización Puertas del Sol II
- Barrio Alto Buenos Aires
- Urbanización Brisas de Riopaila

Esta sería la secuencia óptima de recolección para cada uno de los puntos de entrega de residuos aprovechables ubicados en el municipio de Zarzal.

A continuación, se anexa la imagen del municipio con cada uno de los “clústers” ubicados satelitalmente mediante la aplicación Google Earth.

Figura 6. Ubicación geográfica de los puntos verdes



Fuente: Google Earth, 2016.

En última instancia, en el análisis financiero de la propuesta se realizaron tres posibles escenarios, catalogados como: Escenario 1 (Bueno), Escenario 2 (Regular), Escenario 3 (Malo). En cada uno de ellos se evaluó su factibilidad económica así como sus períodos de tiempos en los cuales se apreciaría la remuneración de la inversión.

A continuación, se anexan la tabla No. 48 con los resultados del análisis económico de los tres posibles escenarios:

Tabla 49. Cuadro comparativo de los criterios económicos

GANANCIA					
Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
Semanal	\$ 5.236.078	Semanal	\$ 3.781.612	Semanal	\$ 2.327.146
Mensual	\$ 62.832.938	Mensual	\$ 45.379.344	Mensual	\$ 27.925.750
Anual	\$ 753.995.256	Anual	\$ 544.552.129	Anual	\$ 335.109.002

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Finalmente, se anexa la Tabla 49 donde se muestra el tiempo necesario para recuperar el capital invertido para cada uno de los escenarios con sus respectivos meses.

Tabla 50. Cuadro comparativo de los períodos de tiempo

TIEMPO NECESARIO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL INVERTIDO (Meses)		
Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
6	10	37

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

CONCLUSIONES

En esta propuesta se pudo resolver problemas de ruta con redes de hasta 22 nodos utilizando la consola de AMPL, esto debido a las limitaciones que el programa posee de máximo tener 500 variables en la edición estudiantil. Cuando se sobrepasa esta cantidad de nodos se utiliza el Neos Server utilizando el solver Gurobi. Sin embargo, en todas las instancias de prueba se obtuvo una solución óptima.

El diagnóstico de la red de recolección de residuos sólidos después de obtenidas las soluciones propuestas por el modelo TSP (Travelling Salesman Problem) de la red de cobertura y rutas de recogida de residuos aprovechables para el municipio objetivo, demuestra que se debe implementar un sistema de recolección alternativo para este tipo de residuos, para desde allí abarcar un nuevo mercado y las áreas de influencia cercanas, a la vez que minimice los costos de operación de transporte de residuos al relleno sanitario, reduciendo considerablemente la cantidad enviada y las tarifas de la comunidad.

Los 48 barrios pertenecientes al municipio objeto de estudio agrupados en 17 grupos de barrios (clúster) hallados bajo los criterios de generación de residuos, capacidad de almacenamiento y ubicación geografía usando la variante del TSP+MTZ. Teniendo como objetivo maximizar la cobertura y la recuperación de los residuos aprovechables se utiliza el método de localización discreta de centro de gravedad para identificar las posibles ubicaciones de los 17 puntos de entrega voluntaria.

El modelo propuesto dio como resultado realizar la ruta de recolección por los diferentes puntos de entrega voluntaria ubicados en el municipio objeto de estudio en un total de 2,658 km de recorrido, siendo este el óptimo para el ente encargado de hacer la debida recolección.

La capacidad de almacenamiento en conjunto que poseen actualmente los diferentes entes recicladores informales que operan en el municipio, en el escenario planteado de recolección selectiva de residuos aprovechables confirma que con la capacidad ociosa que poseen, pueden emprender proyectos de crecimiento y formalización.

La propuesta permitirá con facilidad a la administración municipal o a la empresa privada que este interesada en implementar una alternativa viable para la red de

recolección de residuos aprovechables evaluando escenarios basados en el porcentaje recuperado de los residuos reciclables pudiendo abarcar tanto escenarios muy buenos, regulares y muy malos para conocer la capacidad de la red y la viabilidad de tratar con temas ambientales. Y así, tomar decisiones basadas en sus resultados, siendo la parte financiera la decisoria.

El desarrollo de esta propuesta brindaría facilidad para que la comunidad realice contribuciones en pro del medio ambiente e impulse la formalización de los entes recicladores que realizan su actividad sin ninguna organización ni vinculación gremial, como es lo común en poblaciones de menos de cincuenta mil habitantes, generando ideas amigables con el medio ambiente, las cuales generen mejora en la calidad de vida de las personas y un aumento sustancial en los ingresos del municipio.

Las herramientas utilizadas para el desarrollo de los modelos demuestran con los resultados de los mismos su pertinencia en la aplicación, así como la utilización de aplicaciones accesibles como lo son Google Earth, la cual nos brinda a la investigación un enfoque en el análisis espacial al momento de plantear soluciones locacionales en la búsqueda de eficiencia y equidad espacial de los servicios de recolección selectiva de residuos aprovechables, en este caso, la aplicación correspondiente a la distribución espacial de puntos de entrega voluntaria llamados coloquialmente “puntos verdes”.

La cantidad de residuos aprovechables del municipio que se debe recolectar para alcanzar un punto de equilibrio económico debe ser del 31,27%, lo que equivale alrededor de 396 kilogramos de residuos aprovechables en todo el sistema evidenciando que ni el peor escenario propuesto haría incurrir en pérdidas. Además, la inversión inicial en los escenarios tanto “Bueno” como “Regular” se ven remuneraciones económicas en menos del primer año de implementación del sistema.

RECOMENDACIONES

Proponer un sistema de incentivos para que las personas se interesen aún más en la utilización de alternativas amigables con el medio ambiente, siendo el valor monetario el factor clave para despertar tal interés comenzando desde la primera fase del ciclo de vida de los residuos, la separación en la fuente de los residuos domésticos.

Presentar una propuesta para crear gremios para la formalización de los recicladores generándoles más garantías en su trabajo como prestaciones, salud y reconocimiento por su labor desempeñada provocando así una mayor eficiencia en la recuperación hasta su disposición final .

Hacer uso de las rutas de recogida de residuos previamente establecidas por la entidad prestadora del servicio de aseo para así coincidir los días de la recolección habitual con la recolección selectiva de residuos aprovechables.

BIBLIOGRAFÍA

- Ananias, P. I. (2005). Resolución del Problema de Set-Covering utilizando un Algoritmo Genético "
- Araya, Níñez, O., Enrique, & Belmar, P. (2012). UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA MIXTA PARA EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHICULOS EN EL TRANSPORTE ESCOLAR.
- Arroyave, S. M. S., & Restrepo, F. J. C. (2009). ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO: REVISIÓN DE LA NORMATIVA Y POSIBILIDADES DE REGULACIÓN ECONÓMICA. *Semestre Económico Universidad de Medellín*, 12(23), 13–34.
- Bosques, et al (1999). Localización de centros de tratamiento de residuos: una propuesta metodológica basada en un SIG.
- Buzai-Claudia, G. D., Baxendale, A., Buzai, G. D., & Baxendale, -Claudia A. (2008). Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos: Análisis espacial de escuelas EGB en la ciudad de Luján.
- Daniel, R., Paz, C., & Gómez, G. (2013). Localización de Instalaciones.
- El Espectador. (2014). Cinco causas de sequía en Casanare | ELESPECTADOR.COM. Retrieved January 28, 2017, from <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/autoridades-apuntan-cinco-pecados-posibles-causa-de-seq-articulo-484127>
- Equipo PGIRS Zarzal. (2015). Zarzal le informa. Retrieved January 28, 2017, from <http://www.zarzal-valle.gov.co/noticias.shtml?apc=ccx-1-&x=2113876>
- García Cascales. (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión.
- García Sabater, J. P., Alarcón Valero, F., Albarracín Guillem, J. M., & Universitat Politècnica de València. Departamento de Organización de Empresas, E. F. y C. (2004). *Problemas resueltos de diseño de sistemas productivos y logísticos*. Universitat Politècnica de València.
- Jesús Fabían López Pérez. (2005). ALGORITMO GENÉTICO PARA UN Revisión bibliográfica de investigaciones previas. *CIENCIA UANL*, VIII(2).
- Lorena Bohorquez. (2012). DIME QUE DESECHAS Y TE DIRÉ QUIEN ERES.

Retrieved January 19, 2017, from
<http://es.calameo.com/read/0027541280a11bc93eee5>

Manual, S. (2008). Manejo de residuos sólidos. Retrieved January 19, 2017, from
<http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/rt/prINTERfriendly/1501/0>

Marina, L., Vélez, L., Elizabeth, P., Villamar, S., & Chica, V. V. (2012). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA Diseño de rutas de transporte de personal aplicando modelización matemática para resolver el Problema de Enrutamiento Vehicular Capacitado con Ventanas de Tiempo.

Maryluz Mejía de Pumarejo. (2014). Política de Estado para el manejo de los residuos sólidos | Finanzas | Economía | Portafolio. Retrieved January 28, 2017, from
<http://www.portafolio.co/economia/finanzas/politica-manejo-residuos-solidos-44112>

Medina Tapia, M., & Cerda Troncoso, J. (2008). MODELO DE LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE ACTIVIDADES NO DESEADAS APLICADO A LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 16(1), 211–219. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052008000100011>

Mentzer. (2008). Modelos de localización de plantas – TIS Consulting Group. Retrieved January 19, 2017, from <http://tisconsulting.org/es/blog/plant-location-models/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Ministerio de Ambiente. Retrieved from <http://www.minambiente.gov.co/>

Parra Ortega, O. J. (2011). Revisión del estado del arte en modelos de localización y relocalización de vehículos para atención de emergencias. *Elementos*, ISSN-E 2248-5252, Vol. 1, Nº. 1, 2011 (*Ejemplar Dedicado a: Elementos*), Págs. 85-99, 1(1), 85–99.

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

Singh. (2012). Modelos de localización de plantas – TIS Consulting Group. Retrieved January 19, 2017, from <http://tisconsulting.org/es/blog/plant-location-models/>

Singh, & Mind Tools Ltd. (2013). Modelos de localización de plantas – TIS Consulting Group. Retrieved January 19, 2017, from <http://tisconsulting.org/es/blog/plant-location-models/>

Villamil, B. (2013). " Por un control fiscal efectivo y transparente "; FONDO DE DESARROLLO LOCAL DE CIUDAD BOLIVAR "; Por un control fiscal efectivo y transparente ";, 314–3.