

**EVALUACION Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE  
RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS DE LAS MACRORUTAS 15,16 Y 7 DE  
LA CIUDAD DE POPAYÁN**

**MÓNICA ANDREA GALÍNDEZ ZÚÑIGA  
JULIAN ANDREY VILLANUEVA FLOREZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2008**

**EVALUACION Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE  
RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS DE LAS MACRORUTAS 15,16 Y 7 DE  
LA CIUDAD DE POPAYÁN**

**MÓNICA ANDREA GALÍNDEZ ZÚÑIGA  
JULIAN ANDREY VILLANUEVA FLOREZ**

Trabajo de grado investigativo para optar el Título de Ingeniero Ambiental

Director de Tesis  
**Ing. NAPOLEÓN ZAMBRANO ALFONSO**  
Magíster en Ingeniería Sanitaria

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2008**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Popayán; 27, 06, 2008**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios, pues es su plenitud la que hizo posible nuestro anhelo como estudiantes y continuará siendo nuestra fortaleza como profesionales.

También nuestros sinceros agradecimientos a nuestra familia por brindarnos su incondicional apoyo y su valiosa compañía, a nuestro director de grado Napoleón Zambrano Alfonso por su valioso asesoramiento durante el desarrollo de la tesis, al ingeniero Jhon Calderón Ramírez por realizar la revisión final del proyecto, a la Alcaldía de Popayán (secretaria de infraestructura- grupo de aseo) por su colaboración y de manera muy especial al personal de recolección de residuos sólidos de las macrorutas 7, 15 y 16 por su acompañamiento y colaboración en el proceso de recolección de datos, a los ingenieros Luis Fernando Tovar y Reynel Camayo por facilitar el trabajo de campo; a estos últimos esperamos con la propuesta de optimización retribuir su valioso acompañamiento durante la realización del trabajo de grado.

A la Universidad del Cauca por permitirnos desarrollarnos como profesionales, a nuestros profesores por contribuirnos con su conocimiento y experiencia, a los jurados Carlos Alberto Arboleda y Maria Elena Castro por sus pertinentes observaciones; a nuestros compañeros y amigos con quienes compartimos esta etapa tan importante de nuestras vidas. Por compartir su amistad.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	19
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
2 OBJETIVOS.....	25
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
2.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	25
3 ANTECEDENTES.....	26
4 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	30
4.1 RESIDUOS SÓLIDOS.....	30
4.1.1 Características de los residuos sólidos.....	31
4.1.1.1 Producción.....	31
4.1.1.2 Densidad o peso específico.....	33
4.2 RECOLECCION DE RESIDUOS.....	35
4.2.1 Sistema de Recolección.....	38
4.2.2 Métodos De Recolección.....	39
4.3 TRANSPORTE DE LAS BASURAS.....	41
4.3.1 Frecuencia de recolección.....	44
4.3.2 Rendimiento de la recolección.....	46
4.3.3 Horarios.....	48
4.3.4 Cobertura de recolección.....	49
4.3.5 Cuadrillas.....	49
4.3.6 Selección de equipo para recolección.....	50
4.3.7 Variables del servicio.....	51
4.4 RUTAS DE RECOLECCIÓN.....	54
4.4.1 Macrorutas.....	54

4.4.2	Microrutas.....	60
4.5	MÉTODOS HEURÍSTICOS.....	62
4.5.1	Algoritmos y Modelos Matemáticos.....	64
4.5.1.1	Algoritmo del Agente Viajero.....	65
4.5.1.2	Algoritmo del cartero chino.....	65
5	METODOLOGÍA.....	68
5.1	MATERIALES Y PERSONAL UTILIZADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS DE LAS MACRORUTAS 15, 16 Y 7.....	69
5.2	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE LA RUTA 15 Y 16.....	70
5.2.1	Producción de residuos sólidos .....	70
5.2.2	Tiempos de macroruteo .....	70
5.2.3	Levantamiento de información de la ruta de recolección.....	71
5.2.4	Barrios, instituciones y población atendida.....	71
5.3	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE LA RUTA 7.....	72
5.3.1	Densidad de la población atendida. ....	72
5.3.2	Determinación de los parámetros básicos de los residuos sólidos de la ruta 7.....	73
5.3.2.1	Determinación de la densidad de los residuos sólidos en el recipiente .....	73
5.3.2.2	Peso y volumen de los residuos sólidos en el carro recolector.....	77
5.3.3	Determinación de producción per cápita .....	77
5.3.4	Tiempos de macroruteo.....	78
5.3.5	Levantamiento de información de la ruta de recolección.....	78
5.3.6	Rendimiento de recolección.....	79
5.3.7	Configuración de la red.....	79

6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	81
6.1	EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA RUTA 15.....	81
6.1.1	Cantidad de basura recolectada por barrio.....	83
6.1.2	Tiempos de macroruteo de la ruta 15.....	89
6.2	PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RUTA 15.....	90
6.3	EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA RUTA 16.....	92
6.3.1	Cantidad de basura recolectada por barrio.....	95
6.3.2	Tiempos de macroruteo de la ruta 16.....	98
6.4	PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RUTA 16.....	101
6.5	EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA RUTA 7.....	103
6.5.1	Muestreo.....	104
6.5.2	Tasa de recolección de residuos sólidos.....	116
6.5.3	Tiempos de macroruteo.....	119
6.5.4	Cálculo del rendimiento y velocidad de recolección.....	122
6.5.5	Densidad de los residuos sólidos en el recipiente.....	124
6.5.6	Densidad de los residuos sólidos en el carro recolector.....	126
6.5.7	Ruta de recolección.....	127
6.5.8	Aplicación del algoritmo del cartero chino para una red par.....	132
6.5.9	Aplicación del algoritmo del cartero chino para una red impar..	134
6.6	PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RUTA 7.....	140
6.6.1	Aplicación de la herramienta <i>Arc Routing</i> de un sistema de información geográfico para solucionar el algoritmo del cartero chino en la ruta 7.....	141
6.6.2	Diseño del patrón de recolección de residuos sólidos para la ruta siete del municipio de Popayán.....	152
7	CONCLUSIONES.....	155
8	RECOMENDACIONES.....	160
	BIBLIOGRAFIA.....	162

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 4.1.Valores típicos de la PPC para municipios colombianos de acuerdo al NCS.....	33
Tabla 6.1.Barrios atendidos por la macroruta 15.....	81
Tabla 6.2.Densidades representativas sin compactación para componentes de residuos municipales.....	86
Tabla 6.3.Peso y volumen de los residuos sólidos recolectados por la macroruta 15.....	87
Tabla 6.4. Tiempos de macroruteo de la ruta 15.....	89
Tabla 6.5.Reasignación de puntos de recolección pertenecientes a la macroruta 15.....	90
Tabla 6.6.Barrios atendidos actualmente por la macroruta 16.....	92
Tabla 6.7.Peso y volumen de los residuos sólidos recolectados por la macroruta 16.....	95
Tabla 6.8. Tiempos de macroruteo de la ruta 16.....	98
Tabla 6.9.Reasignación de puntos de recolección pertenecientes a la macroruta 16.....	101
Tabla 6.10 Producción per-cápita de residuos sólidos de la macroruta 7.....	105
Tabla 6.11.Cálculo de las funciones para el límite inferior y superior de cada clase y el parámetro estadístico D.....	113
Tabla 6.12.Valores máximos, mínimos y promedio o verdaderos de generación de residuos sólidos producidos en la macroruta 7.....	115

Tabla 6.13.Tiempos de la macroruta 7.....	119
Tabla 6.14.Rendimiento de recolección de residuos sólidos.....	123
Tabla 6.15.Densidad de los residuos sólidos en el recipiente.....	125
Tabla 6.16.Densidad de los residuos sólidos en el carro recolector.....	126
Tabla 6.17.Distancia total de los emparejamientos.....	137
Tabla 6.18: Itinerario de la ruta .....	146

## LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICAS

	Pág.
Figura 4.1 Representación esquemática de los tiempos que intervienen en un macroruteo. ....	58
Figura 4.2 Representación gráfica para calcular los parámetros de velocidad de recolección.....	61
Figura 4.3 Un grafo de 6 vértices.....	66
Figura 5.1 Puntos de muestreo en la macroruta 7.....	75
Figura 5.2 Procedimiento de muestreo de residuos sólidos domiciliarios.....	76
Figura 5.3 Localización de la macroruta 7 en le plano de la ciudad.....	79
Figura 6.1 Cuadra al lado del Hospital Susana López.....	99
Figura 6.2 Cuadra entre Calle 17 con carrera 1ª .....	100
Figura 6.3 Calle 10 B entre carreras 23 y 22.....	100
Figura 6.4 Ubicación del área de estudio.....	103
Figura 6.5 Área servida por la Macroruta 7de recolección.....	104
Gráfica 6.1 Producción per cápita promedio mensual para la macroruta 7....	116
Gráfica 6.2 Variación en la cantidad mensual de residuos sólidos de la macroruta 7 en un periodo de seis meses.....	117
Gráfico 6.3 Variación de la cantidad diaria/ mensual de residuos sólidos de la macroruta 7 en un periodo de seis meses.....	118
Figura 6.6 Patrón de recolección de desechos sólidos en la macroruta 7.....	129
Figura 6.7 Número de viviendas atendidas por cuadra.....	130
Figura 6.8 Vías en mal estado en la macroruta 7.....	131
Figura 6.9 Matriz de distancias más cortas entre los miembros de S.....	137

Figura 6.10. Elaboración del grafo de la ruta 7.....	142
Figura 6.11. Representación esquemática del grafo de la red vial de la zona de estudio.....	143
Figura 6.12. Grafo simplificado de la red vial de la ruta 7 de residuos sólidos. ....	144
Figura 6.13. Recorrido en la macroruta 7 según el itinerario de la tabla 7.18	151
Figura 6.14. Patrón de recolección optimizado para la macroruta 7.....	154

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO No1	
Tabla A 1.1 Valores tabulados del área bajo la curva norma.....	168
Tabla A 1.2 Parámetros $Y_N$ y $\delta_N$ en función de N.....	169
Tabla A 1.3 Percentiles ( $X^2_p$ ) de la distribución Chi Cuadrado por v grados de libertad.....	170
Tabla A 1.4 Percentiles ( $t_p$ ) de la distribución de Student con v grados de libertad.....	173
ANEXO No 2	
Tabla A 2.1 Muestreo de la producción de basura por vivienda para la macroruta 7 del municipio de Popayán.....	174
Tabla A 2.2. Datos y resultados del muestreo realizado a las viviendas el día miércoles 14 de diciembre de 2007.....	176
Tabla A 2.3. Datos y resultados del muestreo realizado a las viviendas el día miércoles 16 de enero de 2008.....	178
Tabla A.2.4. Pesos de los residuos sólidos generados por la macroruta 15 y 16.....	179
Tabla A 2.5. Pesos de los residuos sólidos en el camión generados por la macroruta 7 durante un periodo de seis meses.....	180
Tabla A 2.6 Datos de entrada a la capa de arcos del sistema de información geográfica.....	183
Tabla A 2.7 Datos de entrada a la capa de nodos del sistema de	

información geográfica.....	184
-----------------------------	-----

### ANEXO No 3

Figura A 3.1. Tipos de recipientes usados para almacenar los residuos sólidos domiciliarios.....	185
Figura A 3.2. Tipos de bolsas usadas para almacenar los residuos sólidos domiciliarios.....	186
Figura A 3.3. Tipos de recipientes usados para almacenar los residuos sólidos comerciales e institucionales.....	187
Figura A.3.4. Factores que influyen en la disminución del rendimiento de recolección de los residuos sólidos. ....	188
Figura A 3.5. Estado de las vías de acceso a los lugares de recolección.....	189
Figura A 3.6. Estaciones de recolección de residuos sólidos.....	190
Figura A 3.7. Recolectores en el parque automotor del municipio de Popayán.....	191
Figura A 3.8. Recolección de residuos sólidos.....	191

## GLOSARIO

**ALMACENAMIENTO:** acumulación o depósito temporal, en recipientes o lugares, de la basura y residuos sólidos de un generador o una comunidad, para su posterior recolección, aprovechamiento, transformación, comercialización o disposición final.

**BASURA:** todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o recirculación a través de un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, no se reincorporan al ciclo económico y productivo, requieren de tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición.

**CANECA DOMÉSTICA:** recipiente retornable después de la recolección, de propiedad del usuario. Donde éste almacena temporalmente la basura doméstica.

**CANECAS PÚBLICAS:** recipientes para el almacenamiento temporal de los residuos que se generan en la vía pública, áreas de recreo, paseos, parques y plazas.

**CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS:** determinación de las características cualitativas y cuantitativas de un residuo sólido, identificando contenidos y propiedades de interés con una finalidad específica.

**CENTROS DE GRAN GENERACIÓN:** lugares en los cuales se genera diariamente una gran cantidad de residuos sólidos, que por sus características, deben almacenarse en forma segura, higiénica y sanitaria.

**COMPACTACIÓN:** proceso de unidad normalmente utilizado para incrementar el peso específico (densidad en unidades métricas) de materiales residuales para que puedan ser almacenados y transportados más eficazmente.

**CUADRILLA:** Personal encargado de retirar y recoger las basuras y residuos sólidos de uno o varios generadores, no incluye el conductor.

**DENSIDAD:** masa o cantidad de materia de los residuos, contenida en una unidad de volumen, en condiciones específicas.

**DESECHO:** término general para residuos sólidos excluyendo residuos de comida y cenizas sacados de viviendas, establecimientos comerciales e instituciones.

**DESPERDICIO:** residuo sólido o semisólido de origen animal o vegetal, sujeto a putrefacción, proveniente de la manipulación, preparación y consumo de alimentos para uso animal y humano.

**DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS:** proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en forma definitiva, efectuado por las personas prestadoras de servicios, disponiéndolos en lugares especialmente diseñados para recibirlos y eliminarlos, obviando su contaminación y favoreciendo la transformación biológica de los materiales fermentables, de modo que no representen daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

**ENTIDAD PRESTADORA DEL SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE ASEO:**

persona natural o jurídica, pública, privada o mixta, encargada de todas, una o varias actividades de la prestación del servicio público domiciliario de aseo.

**MACRORUTAS:** división de la ciudad en sectores operativos, a la determinación del número de camiones necesarios en cada una y a la asignación de un área del sector en cada vehículo recolector.

**MICRORUTAS:** recorrido específico que deben realizar diariamente los vehículos recolectores de residuos sólidos, en los sectores de la ciudad donde han sido asignados tratando de economizar al máximo los recursos, con un buen servicio.

**PRODUCCIÓN PERCÁPITA:** cantidad media de residuos sólidos generado por un habitante, expresado en peso, en el transcurso de un día (Kg/día\*habitante) se utiliza como indicador en el manejo integral de los residuos en general.

**RESIDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS (RSD):** el que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas familiares o en cualquier establecimiento asimilable a estas y son manejados en el ámbito municipal. Corresponde a todos los residuos generados en los hogares: restos de comida, botellas y envases, textiles, cueros, papeles, cartones, etc.

**RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU):** residuos que se generan en la ciudad. Incluyen los residuos domiciliarios, los provenientes del barrido de calles, los generados en cuarteles, establecimientos educacionales y residuos provenientes de otras fuentes como industrias, residuos de actividades de la construcción y residuos hospitalarios.

**RECOLECCIÓN:** acción y efecto de retirar y recoger las basuras y residuos sólidos de uno o varios generadores, efectuada por su generador o por la entidad prestadora del servicio público.

**RECOLECCIÓN EN ACERA:** es la que se efectúa cuando los residuos sólidos son presentados por los usuarios para su recolección en el andén ubicado frente a su predio o domicilio.

**RECOLECCIÓN EN ESQUINAS:** sistema de recolección en el que los residuos de un sector son colocados en una zona (esquina) próxima a la vivienda.

**RELLENO SANITARIO:** lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería. Confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final.

**RESIDUO SÓLIDO:** cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico. Se dividen en aprovechables y no aprovechables.

**RESIDUO SÓLIDO COMERCIAL:** residuo generado en establecimientos comerciales y mercantiles tales como almacenes, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías y plazas de mercado.

**RESIDUO SÓLIDO DOMICILIARIO:** residuo que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento asimilable a éstas.

**RESIDUO SÓLIDO INDUSTRIAL:** residuo generado en actividades propias de este sector, como resultado de los procesos de producción.

**RESIDUO SÓLIDO INSTITUCIONAL:** residuo generado en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, terminales aéreas, terrestres, fluviales o marítimos y edificaciones destinadas a oficinas, entre otros.

**RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS:** residuos generados en viviendas, parques, jardines, vía pública, oficinas, mercados, comercios, demoliciones, construcciones, instalaciones, establecimientos de servicios y, en general, todos aquellos generados en actividades urbanas que no requieran técnicas especiales para su control.

**SERVICIO PÚBLICO DOMICILIARIO DE ASEO:** servicio de recolección de residuos, principalmente sólidos, el barrido y limpieza de vías y áreas públicas, transporte y disposición final sanitaria, incluyendo las actividades complementarias de transferencia, tratamiento y aprovechamiento.

**USUARIO:** persona natural o jurídica beneficiada de la prestación del servicio público de aseo, en calidad de propietario y/o receptor del servicio.



## INTRODUCCIÓN

El término de residuos sólidos incluye todos los materiales sólidos desechados de actividades municipales, industriales o agrícolas. Aunque este concepto es muy amplio, en este proyecto se entenderá por residuos sólidos sólo aquellos que son responsabilidad de un municipio y que sólo son recolectados por él. Las áreas residenciales y comerciales, junto con ciertas operaciones industriales, son las fuentes de estos residuos municipales “no peligrosos”, y es el municipio el responsables de prestar el servicio de la recolección de estos residuos.

La recolección de residuos sólidos es el lazo de unión entre la disposición inicial en el domicilio y el sistema de disposición final. La recolección debe estar organizada de tal modo que permita un servicio eficiente, sin producción de malos olores, material particulado, ruidos molestos, desorden, y en condiciones aceptables para un servicio de esta naturaleza.

La recolección y el transporte de los residuos sólidos domiciliarios es de gran importancia ya que incide en el bienestar de todos los habitantes del municipio, debido a que tiene efectos directos sobre la salud pública. Así mismo es una de las actividades que involucra mayores porcentajes (50% a 80%) en los costos globales del sistema. Incluye el lugar de recolección, la frecuencia, el tipo y el número de equipos necesarios y las rutas de recolección.

El Decreto 1713 de 2002 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos, define en el Artículo 1 a los residuos sólidos o desechos como cualquier objeto,

material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final públicas.

En los artículos **365**, **366** y **367** de la Constitución Política de Colombia, se confiere a los municipios la responsabilidad de administrar y otorgar a la población la dotación y operación de servicios públicos.

Por lo anterior, la limpieza de las ciudades, así como el manejo de los residuos sólidos, constituyen grandes preocupaciones para las autoridades responsables de la prestación de estos servicios públicos en todos los centros urbanos, no importando el tamaño de su población y la extensión de su territorio. La concentración poblacional en áreas urbanas y la modificación de los hábitos de consumo, resultado de un proceso de comercialización excesiva, son factores que determinan los incrementos de residuos sólidos per cápita.

La organización racional del sistema de residuos sólidos de una comunidad, y en especial de una ciudad de gran población, es un problema de ingeniería aplicada. El rendimiento y eficacia de un sistema de recolección depende de la correcta armonía de una serie de factores que se entrelazan, tendiente a conseguir una recogida sanitaria efectiva con un desarrollo estético compatible con actividades de este tipo, tales como el tamaño de los vehículos de recolección, el número de hombres por vehículo, tipo de basura recogida, número de viajes por día al sitio de disposición final, magnitud del sector que sirve cada vehículo, etc.

Teniendo en cuenta la gran importancia que tiene la recolección dentro del sistema de aseo de un municipio es necesario este estudio donde inicialmente se hace la evaluación actual de de la macrorutas 15, 16 y 7 objeto de estudio y posteriormente se presenta una propuesta de optimización de estas rutas de recolección de residuos domiciliarios. Esto con el propósito de disminuir factores tan importantes como el tiempo de recolección, distancia recorrida por el vehículo recolector y mejorar otros como los métodos de recolección etc.

Debido a que las rutas de recolección de los residuos sólidos en la ciudad de Popayán se hacen bajo el criterio de los conductores, se vio la necesidad de hacer un estudio de una de las macrorutas pertenecientes al casco urbano (macroruta 7) donde se involucraran muestreos para conocer algunas variables propias de los residuos generados, como la densidad (en el recipiente y en el vehículo recolector) y la producción per cápita, también fue importante el conteo de las viviendas servidas. En una segunda etapa de este estudio se hizo una recolección de datos en el carro recolector para tomar tiempos de macroruteo y hacer la señalización de la ruta de recolección.

En este documento se encuentra finalmente el rediseño de la macroruta 7 que se hizo con base en la aplicación del algoritmo del cartero chino en un sistema de información geográfico, con la ayuda de este software y teniendo en cuenta el recorrido actual de la macroruta se presenta una propuesta que optimiza variables como la distancia recorrida por el vehículo recolector y el tiempo gastado en realizar la tarea de recolección.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el municipio de Popayán hace la recolección de sus residuos sólidos domiciliarios mediante 16 Macrorutas y una destinada para las galerías, de las cuales las macrorutas 15 y 16 sirven a las veredas y lugares de difícil acceso dentro del casco urbano, y han estado sujetas a variaciones en sus rutas por la solicitud de nuevos usuarios del servicio de recolección; debido al crecimiento normal de estas zonas. La anterior situación ha generado que las rutas se diseñen de manera intuitiva, en vez de ser creadas a partir de un estudio técnico, de ahí que los tiempos y gastos en combustibles pueden ser excesivos. Las personas también contribuyen con este problema depositando en cualquier lugar sus residuos, complicando los procesos de recolección y obligando a los camiones a detenerse por más tiempo en un lugar o recorrer mas distancias de las programadas en la ruta original de recolección.

El sistema usado para la recolección de los residuos sólidos en el municipio de Popayán, se ha realizado de acuerdo al juicio y experiencia de los conductores de los vehículos recolectores, quienes hacen las veces de “proyectistas”. Estos criterios no son siempre los mejores en cuanto a aspectos de operación y funcionamiento y esto incrementa los gastos y costos de recolección y transporte. Si se tiene en cuenta que alrededor del 80% del presupuesto total de las empresas de aseo se utiliza en labores de recolección, se comprenderá la importancia de organizar adecuadamente esta tarea.

Adicionalmente un mal diseño de rutas, trae como consecuencia, graves daños al sistema de recolección, entre los que se pueden citar los siguientes:

- Deficiente operación y funcionamiento del equipo.
- Pérdidas de horas laborales.
- Reducción de las coberturas del servicio.
- Proliferación de botaderos clandestinos a cielo abierto en diferentes puntos de la ciudad. <sup>1</sup>

Actualmente las autoridades municipales tienen, en general, un escaso conocimiento de las técnicas de manejo de los residuos sólidos que genera la población, y por ello los datos que manejan en cuanto a la cantidad y composición de los mismos son sólo estimaciones que realizan los departamentos de Aseo Urbano, sin basarse en estudios metodológicos.

La ciudad de Popayán aún no tiene proyectadas las microrutas. Dentro del Plan de Desarrollo 2004-2007 uno de los objetivos señalados es realizar el estudio para determinar las microrutas, objetivos que aún no se han llevado a cabo y los cuales son:

- Tiempo promedio efectivo de recolección (expresado en horas). No disponible por carecer de microrutas.

---

<sup>1</sup> Fuente: SEDESÓL, 1999. Manual de Técnicas Administrativas para el Servicio de Limpia Municipal. Editado por Ingeniería para el Control de Residuos Municipales e Industriales. S.A. De C.V.D.F. México.

- Tiempo promedio improductivo de viaje (expresado en horas). No disponible por carecer de microrutas

Para el año 2007 el municipio adquirió nuevos vehículos de recolección, lo que se considera un factor importante en el rendimiento y a su vez afecta el diseño de las rutas; ante estas situaciones, este estudio pretende optimizar el diseño de las macrorutas 7, 15 y 16 del municipio de Popayán, determinar la cantidad de residuos sólidos generados, los tiempos de macroruteo, y otros parámetros como: Densidad de los residuos, Producción Percápita, Número de viviendas servidas, Velocidad de recolección, Eficiencia por operario, Características de las vías y Cobertura de recolección actual y finalmente la ruta de recolección optimizada.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar y optimizar el sistema de recolección de residuos sólidos domiciliarios para la ciudad de Popayán correspondientes a las macrorutas 7,15 y 16.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el estado actual de las macrorutas 7, 15 y 16 de recolección de residuos sólidos domiciliarios.
- Optimizar las variables para el rendimiento de recolección como el tiempo de recolección, la distancia recorrida por el vehículo recolector, los métodos de recolección y escoger la ruta más corta.
- Obtener y actualizar parámetros para la recolección de residuos sólidos domiciliarios en las rutas.
- Elaborar el balanceo de las rutas de acuerdo a la capacidad de los nuevos vehículos.

- Rediseñar las macrorutas 7, 15 y 16 y nuevas microrutas de acuerdo con el estado actual de estas.

### **3. ANTECEDENTES**

El manejo de los residuos sólidos en Colombia, se ha hecho históricamente en función de la prestación del servicio de aseo. La preocupación por los residuos generados en los centros urbanos partió de las consideraciones de tipo higiénico y sanitario, el problema se abordó desde el momento en que la comunidad presentaba los residuos en la vía pública para que alguien los retirara, en ese momento se vio la necesidad de establecer un proceso de recolección como parte fundamental de un servicio público, sin tener en cuenta donde irían a disponer dichos residuos, o estableciendo como métodos de disposición la descarga al aire libre o a los cuerpos de agua sin considerar las externalidades de tipo ambiental, lo cual dio pie a una disposición incontrolada.

En el año 1975 la Dirección de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Salud, realizó el primer estudio para conocer la situación de los residuos sólidos en Colombia. En este estudio se encontró que la producción de basura por habitante era de 0.52 kg/hab.día; en 1989 el Programa de Investigación sobre Residuos Sólidos (PIRS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia efectuó otro muestreo y encontró que esta cifra era de 0.8 kg/hab.día, lo que ratifica que en general la producción por habitante tiende a aumentar con el tiempo. La información obtenida permitió formular el Programa Nacional de Aseo Urbano –PRONASU-. El diagnóstico identificó problemas tales como: muy bajos

niveles de cobertura, uso de equipos inadecuados, ausencia de servicio de aseo en centros urbanos menores y zonas periféricas, cobro del servicio como impuesto y no como tarifa, se destacaba que ni un solo centro urbano utilizaba un proceso de disposición final controlado, pero si tenían presencia importante las actividades de recuperación de papel, cartón, vidrio como envase, chatarra y hueso, entre los elementos de mayor mercado.

La minimización de la cantidad de residuos que llegan a los sitios de disposición final y la maximización del aprovechamiento, constituyen los objetivos centrales de la política y de la gestión integral de residuos sólidos.

En Colombia el crecimiento acelerado de la población en los últimos años, así como el proceso de industrialización han aumentado la generación de residuos, haciendo que la logística de recolección sea más compleja; hoy en día la generación de residuos por persona se estima entre 500 gr/hab/día y 1.000 gr/hab/día, aunque este problema siempre ha existido, en la actualidad se ha convertido en un aspecto crítico debido a los altos costos de transporte y mano de obra, en 1992 se estimó que el costo de recolección puede llegar a representar entre un 50 % y un 70 % de los costos totales del manejo de residuos sólidos (Tchobanoglous, 1993), en Santafé de Bogotá para el año de 1997 este costo fue del 64.3%.

Estos costos se podrían disminuir si existiera una buena planeación y diseño de las rutas de recolección; el problema de asignación de rutas de vehículos tiene como objetivo el desarrollar una secuencia de recolección para una flota de vehículos que satisfaga la oferta de los clientes. En la formulación de modelos

matemáticos para la planeación y asignación de rutas de vehículos de recolección de residuos sólidos se destaca el estudio realizado por Beltrami & Bodin, quienes en 1974 exploraron las técnicas desarrolladas para solucionar este tipo de problemas, motivando el desarrollo de otras investigaciones debidas a Shuster & Schur(1974), Male & Liebman(1978), Bodin & Goleen(1981), Eisentein & Iyer(1997) y Or & Curi(1993)<sup>2</sup>.

El uso de modelos matemáticos asociados con la capacidad de análisis espacial de los Sistemas de Información Geográfica es el nuevo enfoque de los estudios relacionados con la asignación de rutas de vehículos para la recolección de residuos sólidos, ejemplo de ello son los trabajos realizados por Massie(1995), Cargin & Dwyer(1995), Oseguera(1999) y Chang(1997).

Para determinar el tipo de algoritmo a ser utilizado en el proceso de asignación de rutas de vehículos es necesario hacer un análisis de la red y de los resultados que se esperan. Si un vehículo es el que debe ser dirigido a través de todos los nodos de la red se tiene un Problema de Rutina de Nodos (Node Routing Problem, NRP) tal como el Problema del Agente Viajero (Traveling Salesman Problem, TSP), Laporte; en cambio sí un vehículo debe recorrer todos los arcos de la red se tiene un Problema de Rutina de Arcos (Arc Routing Problem, ARP) como el Problema del Cartero Chino (Chinese Postman Problem, CPP) Edmons & Johnson y Eiselt.

En el municipio de Popayán la Administración Municipal tiene a su cargo el servicio público de Aseo, delegando esta actividad a la Secretaria de

---

<sup>2</sup> AYALA Alexander, Revista Ingeniería: Universidad de los Andes. No.13 (Mayo 2001); p. 5-11

Infraestructura a través del Grupo de Aseo, el cual es el responsable de la recolección y transporte de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad. Para el año 2003 la cantidad total de residuos sólidos recolectados al mes, en el municipio de Popayán, fue de 5160.57 ton / mes <sup>3</sup>. Si se tiene en cuenta que la proyección de la población para el año 2003 fue de 237.157 habitantes <sup>4</sup> (incluye habitantes del sector rural), se obtuvo que la producción per cápita era de 112 Kg. /usuario/mes

---

<sup>3</sup> Fuente: Grupo de Aseo, Informe final de Residuos Sólidos 2003

<sup>4</sup> Fuente: POT y Grupo de Aseo, Ing. Luis F. Tobar.

## 4. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 4.1 RESIDUOS SÓLIDOS

En términos generales, los residuos sólidos se definen como aquellos desperdicios que no son transportados por agua y que han sido rechazados por que ya no se van a utilizar. En el caso de residuos sólidos municipales se aplican términos más específicos a los residuos de alimentos putrescibles (biodegradables), llamados basura, y a los residuos sólidos no putrescibles, los cuales se designan simplemente como desechos. Los desechos incluyen diversos materiales que pueden ser combustibles (papel, plásticos, textiles, etc.) o no combustibles (vidrio, metal, mampostería, etc.). La mayor parte de estos residuos se desechan con regularidad desde localidades específicas. Existen residuos en ocasiones llamados especiales como los escombros de las construcciones, las hojas de los árboles y la basura callejera, los automóviles abandonados y también los aparatos viejos, que se recolectan en intervalos esporádicos en diferentes lugares. (Henry and Heinke, 1999)

La generación per cápita de residuos sólidos se ha incrementado en las últimas tres décadas en casi siete veces, así como las características de los residuos biodegradables a elementos de lenta y difícil degradación.

La composición de los residuos depende esencialmente de los siguientes factores:

- El nivel de vida de la población.
- La estación del año.

- El día de la semana.
- Las costumbres de los habitantes.
- La zona donde se habita.

**4.1.1 Características de los residuos sólidos.** Para su estudio los residuos sólidos se pueden clasificar de acuerdo con su fuente de origen en: domiciliarios, comerciales, de sitios públicos, institucionales, hospitalarios e industriales. A su vez existe otra clasificación de acuerdo con el manejo que debe darse a cada uno, en:

- Residuos municipales
- Residuos especiales

Los residuos municipales comprenden aquellos generados en casas de habitación, comercios, mercados, instituciones, vías públicas, parques y jardines, demolición y construcciones. Los residuos especiales son los generados en procesos industriales, servicios hospitalarios y de laboratorios, actividades agrícolas y actividades nucleares, los cuales por sus características físicas, químicas y biológicas deben ser manejados, tratados y dispuestos utilizando métodos adecuados para evitar riesgos a la salud y al ambiente. (Documento Internet: Manual Técnico sobre Generación, Recolección y Transferencia de Residuos Sólidos Municipales, 1999)

**4.1.1.1 Producción.** Según Collazos y Duque (1998) el primer problema que se presenta en cuanto a los residuos sólidos, es conocer cuanta basura y de que tipo se produce en la ciudad o población en estudio para ser manejada por el sector municipal. El conocimiento de esta información permite establecer, entre otros,

cuales deben ser los equipos de recolección, el personal, el ruteo, la frecuencia de recolección, el establecimiento de tarifas y la disposición final.

Es también importante relacionar la cantidad de basura producida, con los productores. De aquí surge el concepto de *producción por habitante*; sin embargo, la unidad de medida puede ser además del habitante, la vivienda y surge el concepto de *producción por vivienda*; puede ser también la cuadra y surge el concepto de *producción por cuadra*.

Tradicionalmente se ha trabajado con la producción por habitante, la cual tiene la ventaja que al conocer el número de habitantes, con una simple multiplicación se calcula la basura que produce, pero en muchas poblaciones la información censal no es confiable, sobre todo al final del periodo censal; la producción por vivienda tiene la ventaja de la facilidad de contar las casa de habitación y de ser la verdadera unidad, porque siempre la basura se entrega “por vivienda y no por persona”. Parece ser que se facilita el conteo si se introduce el concepto de producción por cuadra y además posteriormente, al diseñar las rutas, se le asigna a cada camión recolector, un número de cuabras determinado por su producción de basura.

Según el RAS, título F (2000), a nivel de prediseño del sistema deben considerarse los rangos que se muestran en la Tabla 5.1, si no se ha realizado un estudio de la producción per cápita (PPC).

**Tabla 4.1** Valores típicos de la PPC para municipios colombianos de acuerdo al Nivel de Complejidad

<b>Nivel de complejidad</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor máximo</b>	<b>Valor promedio</b>
Bajo	0.30	0.75	0.45
Medio	0.30	0.95	0.45
Medio Alto	0.30	1.00	0.53
Alto	0.44	1.10	0.79

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) 2000. Título F, valor típico de la producción per cápita.

Los datos de producción per cápita de un sistema de aseo deberán registrarse anualmente, con el objetivo de verificar la eficiencia del servicio y, en caso de deficiencias, tomar medidas correctivas.

**4.1.1.2 Densidad o peso específico.** El peso específico de los residuos sólidos es de primordial importancia, ya que esta medida define las relaciones entre el peso y el volumen de los residuos sólidos que se han de manejar y por tanto se utiliza para definir criterios como volúmenes de recipientes para almacenamiento domiciliario, comercial o industrial, volúmenes de recipientes para recolección; especificaciones de los equipos para recolección y transporte, necesidades de equipos en sitios de disposición final y capacidad del relleno sanitario.

Por las razones anteriores y atendiendo las diferentes posibilidades de manejo, se requiere:

- Peso específico de la basura, tal como se presenta para la recolección.
- Peso específico de la basura en los vehículos de recolección.
- Peso específico de la basura al ser entregada al sistema de disposición final.
- Peso específico de la basura colocada finalmente en el sitio de disposición final.

Estas mediciones han de ser efectuadas en el sitio en donde ocurren y todas se fundamentan sobre la medición del peso que tienen los residuos en un volumen determinado. Aún cuando no existen métodos normalizados para hacer la determinación, la recomendación más importante es la de dispersar lo menos posible el volumen original ocupado por la muestra que va hacer medida. Así, por ejemplo, la densidad de la basura dentro de los vehículos de recolección puede ser determinada midiendo cuidadosamente el volumen que realmente ocupan los residuos dentro del vehículo y pesando este con basura y sin basura (Collazos, 1998).

Los valores, que como es lógico dependen del grado de compresión para estas variables son en promedio y en forma general las siguientes (Calderón y Zambrano, 2001):

Densidad de la basura en el recipiente:	120 Kg/m <sup>3</sup> a 160 Kg/m <sup>3</sup>
Densidad de la basura en el camión:	200 Kg/m <sup>3</sup> a 360 Kg/m <sup>3</sup>
Densidad de la basura en el relleno sanitario:	450 Kg/m <sup>3</sup> a 600 Kg/m <sup>3</sup>

Davis y Masten (2005), reportan que la densidad de los residuos sólidos recolectados es de 180 Kg/m<sup>3</sup> a 450 Kg/m<sup>3</sup>. En el relleno sanitario los residuos sólidos compactados pueden tener una densidad que va desde 350 Kg/m<sup>3</sup> a 500 Kg/m<sup>3</sup>, y la densidad de los residuos sólidos bien compactados puede ser de 600 Kg/m<sup>3</sup> a 750 Kg/m<sup>3</sup>.

## 4.2 RECOLECCION DE RESIDUOS

El termino recolección, incluye no solamente la recolección o toma de los residuos sólidos de diversos orígenes sino también el transporte de estos residuos hasta el lugar donde los vehículos de recolección se vacían. La descarga del vehículo de recolección también se considera como parte de la operación de recolección. Mientras las actividades relacionadas con el transporte y la descarga son similares para la mayoría de los sistemas de recolección, la recolección o toma de los residuos sólidos variará según las características de las instalaciones, actividades o localización donde se generan residuos, y los métodos utilizados para el almacenamiento *in situ* de los residuos acumulados entre recolecciones.

La recolección de residuos sólidos, no seleccionados o separados en una zona urbana es difícil y compleja, ya que la generación de residuos sólidos comerciales-industriales y domésticos se producen en cada casa, en cada bloque de vivienda y en cada instalación comercial e industrial, así como en las calles, en los parques, e incluso en zonas vacías. El siempre creciente desarrollo de la afueras de la ciudades a lo largo del país ha complicado todavía más la tarea de recolección. Mientras las formas de generar residuos se vuelven más difusas y se incrementa la cantidad total de residuos, la logística de recolección se vuelve más compleja. Aunque estos problemas siempre han existido en algún grado, actualmente han

llegado a ser críticos por los altos costos en el combustible y en la mano de obra. (Tchobanoglous, 1994)

Unda y Salinas (2002) dividen las etapas de recolección en cuatro: recolección propiamente dicha, transporte, descarga y fuera de ruta.

Recolección propiamente dicha: esta etapa abarca todo el tiempo empleado por el personal desde el momento que se inicia el vaciamiento del primer recipiente hasta que el último se ha descargado en el camión. La evaluación de la operación puede expresarse de varios modos, tales como: porcentaje del tiempo total empleado en cada viaje, hombres-minuto por viaje, u hombres-minuto por unidad de basura recogida (toneladas, yardas cúbicas, servicios o recipientes). La unidad más empleada para evaluar la recolección propiamente dicha corresponde a los hombres-minuto por tonelada de basura recolectada. Eso supone que el tiempo para esta operación de recogida, en las mismas condiciones, es proporcional al peso de la basura recogida. El tiempo utilizado en la recolección propiamente dicha puede subdividirse en siete etapas:

- a) En el camión: Tiempo gastado por el empleado en el vehículo, ya sea en recorrido, compactando la basura o esperando.
- b) En la calle: Tiempo ocupado por el empleado en caminar por la calle o acera.
- c) En la propiedad: Tiempo gastado por el empleado al caminar por las propiedades privadas.

- d) En el recipiente: Tiempo destinado a acomodar la basura en un recipiente adecuado.
- e) En carga: tiempo empleado en vaciar la basura en el vehículo transportador. Incluye el tiempo gastado desde la iniciación de la descarga hasta que el operario tiene totalmente vaciado el recipiente o ha completado la operación de descarga.
- f) En espera: Tiempo utilizado por el empleado en espera del camión durante la operación de carga.
- g) En descanso: Tiempo improductivo del empleado (conversaciones o actividades personales) este no incluye el tiempo indispensable a otros propósitos, como, por ejemplo, para desayunarse, almorzar, etc., o tiempo requerido para obtener combustible, atender al público o a los supervisores.

Transporte: La operación de transporte corresponde al tiempo empleado por el camión desde el momento en que recibió la basura del último recipiente hasta que se vacía la basura del primer recipiente del siguiente viaje de recolección, excluyendo el tiempo empleado en la operación de descargas en el sitio de disposición final.

Descarga: La operación definida como descarga corresponde al tiempo utilizado por el vehículo de recolección en el sitio de disposición final. Normalmente representa una pequeña proporción del tiempo total ocupado en la recogida. Depende fundamentalmente de dos factores: Tipo de camión (sistema de descarga) y tamaño de área receptora disponible en el sitio de disposición final. Hay que destacar que tanto el tiempo empleado en la operación de descarga

como de transporte es tiempo improductivo para el personal encargado de la recogida, siendo muy difícil encontrar un trabajo de reemplazo apropiado para estos obreros y el cual no perjudique la recolección. El tiempo gastado en la descarga varía dentro de límites relativamente bajos.

Fuera de ruta: la operación fuera de ruta incluye la actividad relacionada con el personal de la recolección, que no es productivo con relación a su trabajo, pero es esencial e inherente al sistema, como, por ejemplo, el tiempo empleado para: comer, descansar, atenciones menores al vehículo, abastecimiento de combustible, reuniones con supervisores, etc. (UNDA y SALINAS, 2002)

**4.2.1 Sistema de Recolección.** Con el fin de diseñar un sistema adecuado de recolección, los municipios deben contar con ciertos parámetros técnicos y demográficos como:

- Procedencia y volumen de los desechos sólidos
- Tipo de almacenamiento
- Frecuencia de recolección
- Método de recolección y tripulación
- Tipo de vehículos, etc.
- Población en el área de recolección.

Para el diseño del sistema de recolección, una de las primeras decisiones que debe tomarse, es acerca del método de recolección de residuos. Entre los más comunes se tiene “de parada fija”, “de acera” y “de contenedores”; esta es una decisión importante porque incide en las otras variables de recolección, incluyendo

el tipo de recipiente para el almacenamiento, tamaño de la cuadrilla y en la selección de los vehículos recolectores.

Otro tipo de decisión es la frecuencia de recolección. Ambos factores; el método y la frecuencia deben considerarse en cuanto a su impacto en los costos de recolección. Dado que el costo de la recolección constituye entre el 70 y el 85 por ciento del costo total del manejo de los residuos sólidos y, a su vez, el costo de mano de obra representa del 60 al 75 por ciento del costo de la recolección. El incremento en la productividad del personal de recolección puede reducir significativamente los costos globales.

**4.2.2 Métodos De Recolección.** La recolección de los residuos tiene como objeto primordial preservar la salud pública mediante la recolección de los residuos en todos los centros de generación y su transporte al sitio de tratamiento y/o disposición final, de la manera más sanitaria posible, eficientemente y con el mínimo costo.

- Método de parada fija o de esquina. Este método consiste en recoger los residuos en las esquinas de las calles, en donde previamente y por medio de una campana se comunica la llegada del camión y los usuarios acuden a entregar sus residuos. El método de parada fija es de los más comunes y económicos, sin embargo cuando no hay quien disponga la basura en el sitio de recolección, ésta puede acumularse en exceso y ser arrojada clandestinamente.
- Método de acera. Consiste en que simultáneamente al recorrido del camión por su ruta, los “integrantes” de la cuadrilla van recogiendo los residuos, previamente colocados por los residentes en el frente de sus casas.

Este método debe tener un horario y una frecuencia cumplida, y los residentes deben estar informados de ello, para sacar sus bolsas con residuos en el momento adecuado, evitando así que los perros u otros animales rompan las bolsas y derramen los residuos cuando se colocan con demasiada anticipación al paso del vehículo. Con este fin, pueden instalarse soportes con canastillas metálicas para colocar las bolsas lejos del alcance de los animales.

La cuadrilla del vehículo puede estar integrada por un chofer y un hombre recolector, un chofer y dos hombres recolectores o un chofer y tres hombres recolectores, los cuales se encargarán de ir recogiendo las bolsas plásticas con los residuos y depositarlas en el vehículo, cada hombre recolector tendrá a su cargo una acera.

El chofer de cada camión tiene como obligación cumplir con las rutas, horarios y frecuencias que se le hayan asignado, así como accionar el mecanismo de compactación cada vez que sea necesario. Los residentes de la vivienda tienen como única obligación el colocar sus residuos en el frente de su casa, preferentemente protegidos en la forma ya indicada.

- Método de Contenedores. La recolección mediante contenedores, requiere de empleo de camiones especiales y que los contenedores estén ubicados en forma accesible al vehículo recolector. Es un método ideal para centros de gran generación de basura; hoteles, mercados, hospitales, industrias, tiendas de autoservicio, etc., exige que la recolección se de con la debida frecuencia, ya

que de lo contrario puede ocasionar focos de contaminación, al mantener almacenados grandes cantidades de residuos, en diferentes sitios de la ciudad.

#### **4.3 TRANSPORTE DE LAS BASURAS**

Si se tiene en cuenta que alrededor del 80% del presupuesto total de las empresas de aseo se utiliza en labores de recolección, se comprenderá la importancia de organizar adecuadamente esta tarea. Cualquier mejora en el uso de los recursos que se pueda hacer en ella, por pequeña que sea, significará una economía grande debido al carácter repetitivo que tiene la operación.

Dentro de ambos problemas Collazos y Duque (1998) conjugan una serie de variables de cuyo conocimiento es necesario disponer. Estas se refieren a:

Características de la población.

- Población y Proyecciones.
- Cobertura de recolección actual.
- Densidad de población por área o por longitud de vías.

Características de la ciudad.

- Clima: lluvias, severidad del invierno y del verano.
- Plano de vías.
- Características topográficas.
- Diagrama del tráfico en vías.
- Zonificación residencial, comercial e industrial.

#### Características de los residuos sólidos.

- Tipo y cantidades producidas.
- Peso específico.
- Cantidad recuperable en la vivienda.
- Cantidad recuperable en el sitio de disposición final.

#### Características del servicio con relación a la recolección.

- Responsabilidad del servicio
- Alcance de la separación de los residuos
- Puntos de disposición
- Frecuencia de la recolección
- Métodos sobre manejo y almacenamiento domiciliario
- Organización de las cuadrillas
- Localización de los recipientes de los desechos
- Rendimientos de la recolección
- Regulaciones sobre control de la contaminación y el tránsito de las calles

#### Equipo disponible

- Capacidad de las unidades en peso y volumen
- Operación del equipo
- Mantenimiento del equipo

Algunas de éstas variables son fijas, pero otras, como la frecuencia o los métodos de recolección, por ejemplo, son variables que el servicio puede modificar para encontrar una mejor solución al problema.

Antes de iniciar un programa de trazado de rutas es necesario definir y aclarar todos los aspectos y políticas que encierra un plan de recolección. Algunos servicios son pobres debido a que ha faltado planificación, desconocimiento de los puntos de vista de la comunidad o falta de claridad en el análisis de ciertas condiciones que dificultan el funcionamiento permanente del servicio de recolección.

Otras veces, los factores previos al diseño se refieren a aspectos laborales como tipo de salarios, horas de trabajo, políticas de sobre tiempo, trabajo nocturno y dominical, trabajo a tarea o destajo. Tal vez, este conjunto de factores es uno de los aspectos fundamentales en el diseño de rutas, ya que una modificación del método de recolección podría involucrar una controversia laboral, solucionable a nivel de convención obrero patronal o inclusive a nivel jurídico.

La ubicación de los recipientes en las ciudades es un factor importante. Queda claro que el establecimiento de políticas al respecto es fundamental puesto que no será igual dejar el recipiente en la acera que en la entrada de la casa o edificio, o dentro de éste y esto quedará reflejado en el rendimiento de las cuadrillas en las rutas.

El sistema de recolección debe estar ajustado al sistema de disposición final, en consecuencia, para el diseño de rutas será necesario que el sitio y tipo de disposición final ya haya sido definido.

La ubicación del sitio de disposición final, puede influir en la selección de la capacidad y tipo de los vehículos recolectores y en la utilización de las estaciones de transferencia.

**4.3.1 Frecuencia de recolección.** La frecuencia de la recolección está en función de la producción por habitante, el clima, la capacidad del servicio y los hábitos y conveniencia de la comunidad.

En primera instancia se puede pensar que la frecuencia está determinada básicamente en función del período durante el cual los residuos puedan permanecer almacenados en los locales donde son generados, sin producir descomposición. Este criterio hace jugar un papel muy importante al clima y es eminentemente sanitario, pues evita la proliferación de moscas, otros insectos y roedores. Además, si la recolección es frecuente, los depósitos utilizados son más pequeños en capacidad, disminuyendo apreciablemente el rendimiento en la recolección.

Desde el punto de vista de costos, en las actuales circunstancias de altos precios de la energía, un aumento en la frecuencia de recolección significa un incremento substancial en los costos totales. Esto se debe a que para recolectar cantidades pequeñas de basura el vehículo deberá hacer recorridos más largos para completar su carga. Por consiguiente esto supone más labores del personal, mayores tiempos, distancias, equipos y mayor desgaste de éstos.

La frecuencia más apropiada para un servicio satisfactorio y económico está determinado por la cantidad de basura a ser recolectada, el clima y las

demandas ciudadanas. El máximo período para la recolección de desperdicios orgánicos deberá establecerse con base en:

- El tiempo que pueda almacenarse la basura producida en un depósito de dimensiones razonables y manejables por los operadores de recolección.
- El tiempo que los desperdicios orgánicos al descomponerse puedan producir olores bajo condiciones normales de almacenamiento.
- El período en el ciclo de la mosca, para pasar de huevo a larva y que en época de verano es frecuentemente menor que 10 días.

Un tiempo mayor entre las recolecciones puede conducir a someter al personal recolector a levantar pesos mayores a 25 kilogramos, el cual es el límite en la recolección domiciliar.

Existen diferentes alternativas de frecuencia de recolección:

*Diaria:* Es una frecuencia costosa, aunque protege el aspecto sanitario adecuadamente. Generalmente, se hace durante 6 días a la semana exceptuándose los domingos. Por consiguiente hay sobrecarga los días lunes. Se utiliza para establecimientos especiales como hospitales, plazas de mercado, hoteles y otros similares. Esta frecuencia se llegó a utilizar en Colombia en algunas ciudades pero está siendo abandonada por su alto costo.

*Interdiaria:* También se puede considerar como frecuencia de tres veces a la semana. En esta alternativa generalmente no se trabaja los domingos. Se sobreentiende que cuando no se trabaja los domingos habrá sobrecarga los lunes.

*Dos veces por semana:* Esta clase de frecuencia es muy utilizada en América Latina. Hasta la fecha es la que mejores resultados ha arrojado, especialmente en la zona residencial. En ella tampoco se trabaja los domingos por lo que hay que prever un recargo en una de las dos recolecciones semanales.

*Una vez por semana:* Este tipo de frecuencia, si bien su empleo puede causar problemas con basuras que contienen alta composición de materia putrescible, es muy aplicable cuando los componentes son cenizas, desechos no combustibles y combustibles, basura combinada y material inerte. La basura de poco peso específico, como por ejemplo la del comercio, puede recogerse con esta frecuencia combinando el almacenamiento con una buena compactación. El hecho es que en Colombia, donde el sistema de recolección presenta fallas, en muchas ciudades la frecuencia “normal” es de una vez por semana. Una ventaja de la recolección de basura en zonas residenciales de una vez por semana sobre la de dos veces por semana, es que se requieren menor número de vehículos en un 23% a 33%. En segundo lugar, los costos son menores pues utilizan menos vehículos, combustible y mano de obra, lo que puede significar una reducción de hasta el 50% de los costos.

**4.3.2 Rendimiento de la recolección.** Este es el factor que con la producción y el tiempo para recolección, determinará el tamaño de la zona. Mide el tiempo

que se tomará una determinada cuadrilla, bajo condiciones definidas, para recolectar una cantidad de basura.

Se utilizan varias medidas para definir este parámetro, las cuales se indican a continuación.

- Minuto Hombre- /tonelada
- Tonelada/minuto
- Metro cúbico/minuto

No existen estudios que indiquen cual es el rendimiento que se debe adoptar en Colombia. Comúnmente se está utilizando, para efectos de diseño, 120 *minuto hombres- /tonelada* que equivale a 30 minutos/tonelada, para las cuadrillas de 4 hombres.

Es evidente que el rendimiento en la recolección dependerá de:

- Tipo de equipo: En general son mucho más eficientes los equipos de cargue trasero con compactación y menos los equipos abiertos con alturas de cargue mayores de 1,50 metros.
- Mantenimiento del equipo: Un buen mantenimiento evitará pérdidas de tiempo en la recolección aumentando así el rendimiento.

- Frecuencia de recolección: A mayor frecuencia los tiempos serán los mismos para recoger menor cantidad de basura.
- Número de hombres en la cuadrilla: La eficiencia no aumenta proporcionalmente con éste y lógicamente, cuando el número es excesivo, decrece. En la información de rendimiento generalmente se indica el número de hombres en la cuadrilla, el cual no debe incluir al conductor.
- De las condiciones topográficas de las vías.
- De los métodos de recolección: Será mayor recogiendo la basura de las aceras de las casas que en los patios. Igualmente aumenta cuando los recipientes pueden disponerse con la basura como es el caso de las bolsas de plástico o cuando son de tal tamaño que pueden ser manejados sin dificultad por un hombre.

El rendimiento se medirá contando el tiempo transcurrido desde que se recoge el primer recipiente de basura hasta que se recoge el último, el cual, multiplicado por el número total de obreros que intervienen en la operación de recolección (sin contar el conductor) dará como resultado los minutos - hombre. Midiendo la cantidad de basura recolectada, ya sea en peso o en volumen, se podrá obtener el rendimiento. La información deberá registrar, junto con el valor del rendimiento, las demás condiciones bajo las cuales fue obtenido.

**4.3.3 Horarios.** El horario está relacionado con la duración de la jornada de trabajo. El diurno presenta la ventaja de su menor costo pero la desventaja que hay mayor tráfico vehicular; el horario nocturno presenta las ventajas del clima más benigno en zonas cálidas y menor tráfico, pero las desventajas del mayor costo y del ruido al manejar los recipientes.

**4.3.4 Cobertura de recolección.** La cobertura se define como la zona a la cual se le presta el servicio “regular” de recolección de basuras. La cobertura es la parte más importante en el servicio de aseo y la empresa debe conocerlo al detalle para tener un índice de eficiencia de los programas de mejoramiento o manutención del servicio.

Para conocer la cobertura se calcula, sobre un plano de la ciudad, la población del área a la cual se le presta el servicio “regular”; ésta, comparada con la población total definirá la cobertura.

**4.3.5 Cuadrillas.** El rendimiento de la recolección depende del número de hombres de la cuadrilla de recolección. Todas las cuadrillas se deben plantear con el conductor excluido. Las cuadrillas pueden ser:

- Con un hombre: la experiencia indica que el rendimiento es bajo por que hace detener frecuentemente al vehículo recolector.
- Con dos hombres: Dependiendo del clima, la topografía y la cantidad de basura a recoger estas cuadrillas pueden variar ligeramente el rendimiento; en zonas normales éste puede ser del orden de 50 minutos/tonelada.
- Con tres hombres: En algunos lugares refuerzan la cuadrilla de dos hombres con un tercero para que éste ayude por el lado de mayor carga. Aunque la intención es buena, se debe tener cuidado porque en algunos lugares lo que se ha podido observar es que trabajan dos hombres y descansa uno, lo que hace bajar el rendimiento.

- Con cuatro hombres: De igual manera que con dos hombres el rendimiento de ésta cuadrilla depende del clima, la topografía y la cantidad de basura a recoger; en condiciones normales el rendimiento para estas cuadrillas puede ser del orden de 25 minutos por tonelada.

De todas maneras, en cada caso particular, es necesario estudiar los rendimientos de las diferentes cuadrillas. No existe una fórmula que permita decidir para una ciudad o barrio cual es el número óptimo de hombres de la cuadrilla. Por esta razón es muy conveniente realizar constantemente estudios y análisis al respecto.

**4.3.6 Selección de equipo para recolección.** Uno de los componentes esenciales en un servicio de aseo, es el equipo mecánico. La elección en particular depende de las condiciones locales, por tanto, se dan solo guías generales para la selección del equipo. Las cualidades que se requieren de un vehículo son:

- Rapidez de llenado.
- Llenado máximo y facilidad de vaciado.
- Tolva de carga que permita asegurar las operaciones de vaciado de los recipientes de los usuarios fácilmente y en las mejores condiciones de higiene.
- Funcionamiento silencioso.
- Manejabilidad máxima de circulación.
- Hermetismo, facilidad de mantenimiento y lavado.

- Reparto correcto de las cargas sobre los ejes.
- Seguridad.
- Estética.
- Económico tanto en la adquisición como en la operación.

La mayoría de los vehículos de recolección se componen de dos elementos: el chasis y la caja recolectora, se han de tener en cuenta ciertos aspectos que definen el equipo necesario y que se refieren a:

- Variables del servicio.
- Condiciones del chasis.
- Condiciones de la *caja*.

**4.3.7 Variables del servicio.** Se refieren a las condiciones locales que intervienen en la escogencia del equipo, algunas de las cuales son:

- Cantidad de Basura: Este factor depende de la población y de la producción unitaria de basura. Su volumen total define la capacidad del equipo requerido.
- Topografía: La topografía del área de servicio influye sobre las especificaciones que debe tener el equipo, tales como la relación entre el peso bruto y la potencia *del vehículo, la transmisión y el tipo de motor*. Las *cuestas y pendientes de la vía* disminuyen la velocidad a la que puede transitar el vehículo.

La velocidad máxima de un camión depende de los declives de las calles o vías en el área de servicio. Las zonas quebradas con pendientes largas o frecuentes requieren camiones con relaciones más bajas entre el peso bruto del vehículo y la potencia (GVW/hp). Estos vehículos pueden moverse más rápidamente en pendientes.

- Ancho y estado de las vías: Las calles angostas, el estacionamiento de los carros, los árboles con ramas bajas, o líneas eléctricas tendidas a poca altura, deben tomarse en cuenta al determinar las dimensiones y accesorios de los vehículos.

La manejabilidad de un carro recolector depende de su tamaño, radio de giro, e impedimentos físicos externos. Es necesario analizar el estado de las vías en cualquier época del año.

Generalmente son críticas en la época de lluvias.

- Aspectos Climáticos: Las condiciones climáticas también influyen sobre las especificaciones de vehículos recolectores.

El viento puede llevarse la basura cuando se están vaciando los recipientes dentro del receptor de la carrocería. La humedad y la salinidad del ambiente, dos aspectos críticos especialmente en nuestras ciudades costeras, determinan la calidad del material utilizable para carrocerías y cajas de recolección.

- Tipo de Basura: La clase de basuras que se generan en el área de servicio determinará en algunos casos la necesidad de especificar una carrocería impermeable al agua, el tamaño y aberturas de acceso de la misma, y la potencia de compactación, que se requieren. La recolección de basuras abultadas no debe obstaculizar la operación del recolector. Las aberturas del vehículo deben ser lo suficientemente grandes para dar cabida a basuras voluminosas. Estas no deben atascar los mecanismos de carga, ni caer del vehículo. Los derrames retardan la operación de recolección y pueden ocasionar quejas de los usuarios del servicio. Los objetos de tamaño grande pueden requerir bastante espacio, pero pueden ser de poca densidad. En estos casos, un compactador de alta potencia producirá una buena reducción.
- Tipo de Recipientes: Según el área de servicio, los recipientes pueden influir considerablemente en la decisión del vehículo que debe especificarse. Si deben atenderse recipientes grandes y pesados, los mecanismos del vehículo deben ser capaces de manejar con seguridad el peso máximo calculado de tales recipientes. Las basuras sueltas generalmente pesan alrededor de  $250 \text{ kg/m}^3$  pero pueden llegar hasta  $650 \text{ kg/m}^3$ . En algunos casos, cuando hay que recoger regularmente grandes cantidades de basura de un solo usuario o de un solo sitio, puede resultar económico un compactador estacionario y un camión de servicio.

Camiones montacargas especiales pueden prestar servicio a compactadores portátiles grandes y permitir la recolección de cargas densas y pesadas a intervalos menos frecuentes.

- **Velocidad de recolección:** El número y la frecuencia de las detenciones en una ruta de recolección, influyen sobre la selección del camión que deba usarse. Si se multiplica el corto tiempo que se ahorra con cada recipiente, el total resultará considerable, en esta economía de tiempo. Este tipo de recolector tiene gran importancia. El lapso necesario para alzar, vaciar y volver a colocar el recipiente es la “duración del ciclo de cargue” de la operación. Este tiempo adquiere mayor importancia a medida que aumenta el número de recipientes servidos. Una diferencia de 10 segundos en la duración del ciclo de cargue, representa un ahorro de 25 minutos en el manejo de 150 recipientes.

#### **4.4. RUTAS DE RECOLECCIÓN.**

Una fase importante del sistema de recolección de residuos sólidos municipales, es la que comúnmente se conoce como ruta, la cual no es otra cosa que los recorridos específicos que deben realizar diariamente los vehículos recolectores en las zonas de la localidad, donde han sido asignadas con el fin de recolectar en la mejor forma posible los residuos generados por los habitantes de dicho sector.

**4.4.1. Macrorutas.** Se denomina macrorutas a la división de la ciudad en sectores operativos, a la determinación del número de camiones necesarios en cada una y a la asignación de un área del sector en cada vehículo recolector.

Básicamente el macroruteo consiste en dos etapas: proyecto de gabinete y ajuste de campo; en el primero se hace el cálculo teórico de las necesidades u áreas

asignadas a cada vehículo, y en el segundo se afinan los contornos de las mismas para balancearlos y nivelar las cargas de trabajo entre las diferentes cuadrillas.

En forma general, se puede decir que el diseño de las macrorutas se puede llevar a cabo de la siguiente manera:

a. Sectorización: La sectorización consiste en dividir la ciudad (si es lo suficientemente grande), en sectores operativos, de manera que cada uno tenga los vehículos de recolección requeridos, oficinas y garaje, buscando que sea una sección administrativa autónoma con servicios de mantenimiento preventivo y limpieza.

b. Zonificación del sector: Cada sector se debe dividir en zonas que serán cubiertas por un vehículo recolector durante la semana. Para realizar esto, se debe contar con la siguiente documentación, para cada barrio dentro del sector:

- Planos que contengan: urbanización, áreas pavimentadas, topografías y tipos de disposición y/o tratamientos.
- Zonas de habitación unifamiliar: nivel socioeconómico, número de casas, tránsito, vialidad y número de habitantes por vivienda.
- Localización de puntos de generación de residuos sólidos: mercados, supermercados, centros comerciales, cines, hospitales, restaurantes, etc.
- Generación unitaria de residuos sólidos de los elementos anteriores.
- Método de recolección a utilizar.

- Frecuencia de recolección.

c. Población: Generalmente la vida de un proyecto de recolección es corta, entre 5 y 8 años, según la vida útil del equipo, por lo tanto es necesario estimar la población para unos 10 años y establecer un programa de reposición de equipo.

d. Producción de residuos: Para determinar la producción de residuos sólidos, en kilogramos/habitante/día, es preciso pesar todos los vehículos recolectores durante una semana y dividir la carga total por la población atendida y por siete días.

e. Frecuencia de la recolección: Resulta de las decisiones previas a tomar en la recolección; mientras menor sea la frecuencia, más económica es la recolección. Como la mosca tarda entre 9 y 20 días en llegar del huevo a adulto, no existe inconveniente en que la frecuencia de recolección se realice 2 veces por semana e inclusive una vez por semana.

f. Capacidad del vehículo: La capacidad depende del volumen de la caja y de la densidad que alcanzan los residuos sólidos, dependiendo está de la existencia de mecanismos compactadores.

g. Número de viajes por turno: El número de viajes por turno puede ser 1, 2, ó 3, y eventualmente 4.

h. Número de viajes por vehículo: Una vez seleccionado un vehículo el número de viajes se convierte en un parámetro clave para medir la eficiencia del sistema de recolección. Para estimar el número de viajes es necesario definir los tiempos requeridos por el vehículo (ver figura 4.1), para realizar cada una de las acciones que forman su ciclo de trabajo, estos son:

T1= Chequeo inicial en el garaje antes de salir a la ruta.

T2= Tiempo de viaje desde el garaje hasta el inicio de la ruta.

T3= Tiempo de viaje desde el fin de la ruta hasta el sitio de disposición final.

T4= Tiempo de descarga de los desechos sólidos en el sitio de disposición final.

T5= Tiempo para almorzar.

T6= Tiempo de viaje desde el sitio de disposición final hasta el garaje, al final del día laboral.

T7= Tiempo requerido para limpieza del equipo y para reparaciones menores del vehículo.

T8= Tiempo para el viaje, desde el sitio de disposición hasta el sitio de recolección para continuar recogiendo residuos sólidos.

T9= Tiempo de recolección en la ruta en cada viaje

TR= Tiempo total de recolección en la ruta

TN= Tiempo normal de recolección.

Figura 4.1. Representación esquemática de los tiempos que intervienen en un macroruteo.



Fuente: Elaboración propia

Los tiempos aquí considerados pueden denominarse de no recolección efectiva de desechos sólidos y aumentar con el número de cargas, teniendo que hacer T3 Y T8 varias veces al día cuando se tiene un camión recolector pequeño. De acuerdo con esta serie de consideraciones, es más efectivo un carro recolector grande, pero en la mayoría de los casos no son adecuados por el tamaño de las vías en las ciudades.

i. Capacidad útil del vehículo: La capacidad depende del volumen de la caja y de la densidad que alcanza el residuo sólido, dependiendo esta última de la existencia de mecanismos compactadores.

Después de efectuar la zonificación es necesario diseñar cada ruta en detalle, para lo cual es preciso considerar las reglas básicas, que se sustentan en una serie de variables de acuerdo con la localidad en cuestión, los cuales se enuncian a continuación:

- Trazado urbano de la localidad
- Topografía de la localidad
- Ancho y tipo de las calles
- Método de recolección
- Equipo de recolección
- Densidad de población
- Generación de residuos sólidos

j. Ajuste para domingo: Si el servicio es tres veces por semana, los lunes y martes habrá un 50% más de residuos sólidos que el resto de los días. Esto no se tomó en cuenta al zonificar, por lo que al estar las rutas programadas para que los

vehículos trabajen a su máxima capacidad, los lunes y martes tendrán que hacer un viaje adicional.

**4.4.2. Microrutas.** Se denomina microruteo, al recorrido específico que deben realizar diariamente los vehículos recolectores de residuos sólidos, en los sectores de la ciudad donde han sido asignados, tratando de economizar al máximo los recursos, con un buen servicio.

El diseñador de rutas deberá tomar en consideración lo indicado en diversos métodos y algoritmos utilizados, para facilitar su trabajo y contar con prediseños factibles que necesariamente se probarán en campo.

Según Salazar y Jaramillo, el diseño de microrutas debe hacerse con base en una serie de factores variables de acuerdo con la ciudad en estudio, los cuales se enuncian a continuación:

- Plano que contenga; trazado urbano, topografía, ancho y tipo de calles y tipos de disposición final.
- Método de recolección.
- Equipo de recolección.
- Densidad de población.
- Generación de residuos sólidos.
- Tiempo normal de recolección (TN).

$$TN = (1 + S) * \left( \frac{7}{N} \right) \left\{ \frac{T_4 + 2E / V_C}{1000f * P_C} \left[ \sum_{i=1}^n m_i * \partial_i (P_{PC}) i \right] + \sum_{i=1}^n \frac{m_i * \partial_i (P_{PC}) i}{a + b * \partial_i} \right\} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$\frac{2E}{V_C} = T_3 + T_8 \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$S = \frac{T_1 + T_2 + T_5 + T_6 + T_7}{T_{TOTAL}} \approx 0.1 \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde:

S= Tiempos muertos.

N= Frecuencia de Recolección.

E= Distancia del centro de Producción al sitio de disposición final.

Pc= Peso de la Basura en el camión. (Ton.)

m<sub>i</sub>= Numero de manzanas o hectáreas en el sector i.

∂<sub>i</sub>= Densidad de población en el sector i. (Hab/ha)

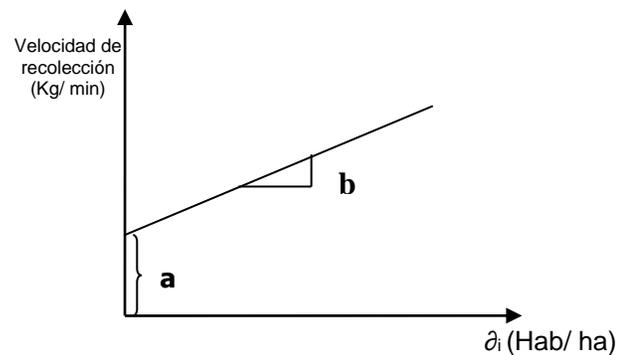
f= Factor de carga.

V<sub>c</sub>= Velocidad del camión.

P<sub>PC</sub>= Producción percápita.

a,b = Parámetros de velocidad de recolección.

**Figura 4.2** Representación gráfica para calcular los parámetros de velocidad de recolección.



## 4.5. MÉTODOS HEURÍSTICOS

Algunos lineamientos heurísticos que deben ser tomados en consideración cuando se planean las rutas de recolección, son las siguientes:

- Existencia de políticas y regulaciones relativas a detalles como el punto de recolección y la frecuencia de recolección.
- Características de los vehículos como son el tamaño del equipo y el tipo de camión que deben ser coordinados.
- Cuando sea posible, las rutas deben ser planeadas para comenzar y terminar cerca de calles arteriales, usando barreras topográficas y físicas como fronteras de las rutas.
- En áreas de colina, las rutas deben comenzar en la parte alta y continuar colina abajo, de tal manera que, cuando el camión esté totalmente cargado no tenga necesidad de ir cuesta arriba.
- Las rutas deben ser planeadas para que el último contenedor a ser recolectado en la ruta esté localizado lo más cerca del sitio de disposición final.

Los desechos generados en las localidades de tráfico congestionado, deberían ser recolectados lo más temprano del día que sea posible, o en un horario en el que el tráfico afecte lo menos posible el recorrido del vehículo.

- Las fuentes en las cuales cantidades extremadamente grandes de desechos sean generados, deben ser servidas durante la primera parte del día.

- En puntos dispersos, en donde pequeñas cantidades de desechos sólidos son generados y que reciben la misma frecuencia de recolección, deberán, si es posible, ser servidos durante un viaje o en el mismo día.

Según Tchobanoglous (1994), los pasos necesarios para el diseño de rutas de recolección de acuerdo al método en acera son:

**Paso 1.** En un mapa de escala adecuada para distinguir el trazo de la ciudad o de la zona a recolectar, los siguientes datos deberán ser establecidos para cada uno de los puntos de recolección: localización, frecuencia de recolección, número de contenedores o casas habitación a atender. A causa de que la asignación de rutas involucra una serie de dificultades sucesivas, el trazo definitivo deberá ser realizado una vez que los datos básicos han sido ingresados en el mapa de trabajo.

Dependiendo del tamaño de la ciudad o del área de servicio, esta deberá ser subdividida en áreas a ser atendidas por un solo vehículo (macrorutas). Para localidades o áreas muy pequeñas de servicio, este paso usualmente no es necesario.

**Paso 2.** Estimar la cantidad total de residuos sólidos a ser recolectados de las localizaciones de carga servidas cada día que la operación de recolección es conducida. Usando el volumen efectivo del vehículo de recolección (volumen nominal de recolección de vehículo por eficiencia de carga), determinar el número promedio de residencias a las cuales le serán recolectados los residuos durante cada viaje de recolección.

**Paso 3.** Una vez que los datos son conocidos, la asignación de las rutas de recolección se procede a realizar como sigue: Empezando en el garaje, se debe fijar un itinerario que conecte todos los puntos de toma que hay que servir en cada día de recolección. El siguiente paso es modificar el itinerario básico para incluir los puntos de toma adicionales que habrá que servir para completar la carga. Estas rutas deben ser planeadas para que la última de estas localizaciones sea la más cercana al sitio de disposición final.

**Paso 4.** Cuando las rutas de recolección han sido planeadas, el volumen del actual carro recolector y distancia de transporte para cada ruta, debe ser determinada. Usando estos datos, el trabajo de requerimientos por día debe ser ajustado de acuerdo al tiempo disponible por día. En algunos casos puede ser necesario reajustar las rutas de recolección para balancear la carga de trabajo. Después de que las rutas han sido establecidas, deben ser trazadas en el mapa maestro.

**4.5.1 Algoritmos y Modelos Matemáticos.** Los métodos determinísticos son los más recomendables, ya que en ellos se pueden involucrar todos los parámetros que inciden en el diseño de las rutas de recolección, además de que con estos métodos sí se obtienen rutas óptimas, es decir, rutas en las que a costo y tiempo mínimos se recolecta la máxima cantidad de residuos sólidos posible.

Los dos métodos determinísticos más usados para el diseño de las microrutas son: Algoritmo del problema del Agente Viajero, utilizado para diseñar rutas utilizando el método de parada fija y el de contenedores. Algoritmo del problema del Cartero Chino, utilizado en el método de recolección por acera y el intradomiciliario.

**4.5.1.1 Algoritmo del Agente Viajero.** El problema del agente viajero consiste en encontrar, en un conjunto de rutas que conectan diversos puntos, el camino de menor costo (el mas corto) que recorra cada uno los puntos. El problema lleva ese nombre por la problemática que viven los agentes viajeros, que deben ir a determinadas ciudades, y hacer el recorrido con un costo mínimo.

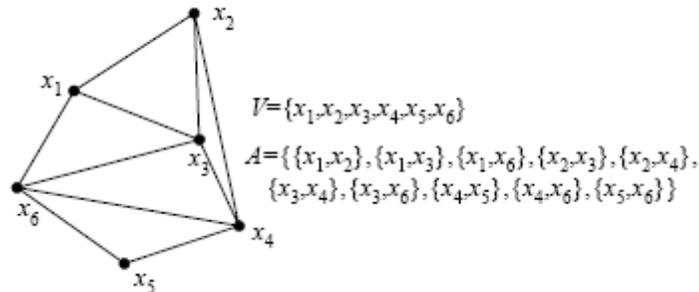
Aplicado a la recolección de residuos, se puede establecer: Un vehículo de recolección de basura, al iniciar el día de trabajo, se propone visitar un número determinado de paradas de recolección, pasando por ellas una vez, recolectando basura, al costo mínimo. Las calles y vialidades que puede emplear forman una red y se supone que viajará siguiendo siempre los arcos de dicha red.

**4.5.1.2 Algoritmo del cartero chino.** Consiste en encontrar un recorrido a través de una red que representa una zona limitada de un asentamiento humano, pasando por cada calle cuando menos una vez, de tal manera que la distancia recorrida sea mínima. A diferencia del problema del agente viajero, en el que se requería de ir a todos los nodos o vértices, el problema del cartero chino propone visitar todos los arcos, sin importar cuantas veces se pase por un determinado nodo.

El primer paso para determinar una ruta en una red no dirigida es especificar si la red es o no par; una red par es aquella en la que el número de arcos que inciden a todo nodo es par. Si alguno de los nodos tiene un número de arcos incidentes impar, entonces se dice que la red no es par.

ALVARÉS *et. al* (2005), define un grafo como una estructura  $G(V;A)$  que consta de dos partes: un conjunto  $V$  de nodos y un conjunto  $A$  de pares no ordenados  $\{x; y\}$  de nodos que forman arcos.

**Figura 4.3.** Un grafo de 6 vértices



Fuente: Notas orientativas para matemática discreta (2005)

Dos vértices  $x$  e  $y$  se dicen adyacentes cuando el par  $e = \{x; y\}$  conforma un arco. Por otra parte, un nodo  $x$  se dice incidente con un arco  $e$  cuando  $x$  es extremo de  $e$ . Asimismo, dos arcos  $e$  y  $f$  se dicen incidentes, si comparten un nodo en común, tal como muestra la Figura 4.3.

En una red par se puede encontrar una ruta por la que se transite una sola vez en cada arco. Dicha ruta se denomina ruta Euleriana o de Euler.

Para la realización del algoritmo de solución, como primer paso se requiere saber si la red es o no par; esto se realiza simplemente contando los arcos que inciden en cada nodo. Si existe un nodo con un número impar de arcos, entonces no existe ruta de Euler. Los nodos con un número impar de arcos incidentes ocurren por pares, ya que cada arco en la red, contribuye con dos unidades a la suma de los grados de todos los nodos, una en cada una de sus nodos terminales. Así, la suma de todos los arcos incidentes es par, pero esta suma contiene sumandos

pares e impares (ya sea que el nodo sea par o impar respectivamente). Es por ello que en estos sumandos debe haber un número par de sumandos impares para que la suma total sea par.

En una red par, encontrar la ruta de Euler es sencillo: para tal propósito los arcos se dividen en dos conjuntos, aquellos que no han sido usados y el resto (los ya transitados en la ruta). Una ruta se construye transfiriendo arcos del último conjunto al primero. Inicialmente, todos los arcos están en el segundo. Empezando con el origen de la ruta deseada, cualquier arco no usado a este nodo incidente se selecciona. Este arco se convierte en usado; el proceso se repite, encontrando un arco que no ha sido usado en el nodo terminal que une el arco usado y el proceso continúa, hasta que el origen se alcanza. Si en esta etapa, todos los arcos ya se han usado, entonces la ruta está completa. De otra forma, una o mas partes extras deberán agregarse a la ruta; estas partes se encuentran seleccionando un nodo en la ruta que posee un arco incidente no usado.

Este nodo se utiliza como punto inicial para una ruta de arcos no usados y esta mini - ruta se inserta en la ruta en el punto donde la ruta original visita el nodo seleccionado. Este proceso continúa hasta que todos los arcos han sido usados.

## 5. METODOLOGÍA

La metodología se enfoca en tres principales puntos:

**Primero**, destinada a la recolección de información general, revisión rápida de estudios realizados, textos, publicaciones oficiales, informes estadísticos, búsquedas por Internet de publicaciones electrónicas, entrevistas con especialistas en el manejo de residuos sólidos, visita a bibliotecas de instituciones relacionadas con el tema.

**Segundo**, consiste en la preparación de materiales y equipos para la recopilación de datos en terreno y la recolección de dicha información. Se inicia con una revisión amplia de los factores que caracterizan los dos componentes del manejo de residuos: primero la población que los produce, con todas sus variables inherentes y segundo los residuos mismos de las actuales rutas objeto de estudio (determinación del peso y densidad). Se realiza el diseño de los formatos para el registro de datos, y aplicación del muestreo a una población representativa objeto de estudio. Además, algunas pruebas con el vehículo donde se hace un análisis de los tiempos de recolección que conforman el macroruteo, también se tiene en cuenta la topografía general de la zona, características de las vías, tipo de superficie, pendientes y trazado.

**Tercero**, consiste en el procesamiento e interpretación de los datos recopilados, para evaluar las actuales rutas de recolección se estima la eficiencia y eficacia de estas rutas con el objeto de optimizar el proceso de recolección. Finalmente se implementa el rediseño de rutas con el fin de ajustar los resultados teóricos con el trabajo en campo.

## **5.1 MATERIALES Y PERSONAL UTILIZADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS DE LAS MACRORUTAS 15, 16 Y 7.**

Para las labores de terreno, como se indica en este proyecto de grado se utilizaron los siguientes materiales:

### Materiales

- Carros recolectores
- Cronómetro
- GPS
- Cámara fotográfica
- Bolsas de Polietileno (0,5m x 0,9 m)
- Cinta métrica
- Fichas de caracterización de RSD y encuestas a hogares
- Balanza de gancho hasta 200 Kg.
- Báscula
- Vehículo
- Plano Catastral de las zonas estudiadas.
- Tableros de campo
- Guantes profilácticos y Mascarillas
- Bodega de almacenamiento para la medición de parámetros de los RS.
- Recipiente cilíndrico (0.88m x 0.575 m)

### Personal

Para labores en terreno se contó con el apoyo del siguiente personal:

- Dos Encuestadores (universitarios) para aplicar encuestas, contar el número de viviendas servidas, realizar el muestreo, llevar a cabo mediciones de los

tiempos de la macroruta, volumen y peso de los RS, así como obtener toda la información necesaria de la ruta de recolección, durante nueve semanas.

- Cuadrilla de recolección, conformada por tres personas (de la empresa municipal de recolección de residuos sólidos de la macroruta 7, 15 y 16) y un conductor para realizar las labores de recolección durante cinco semanas.

## **5.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE LA RUTA 15 Y 16**

La recolección de datos se inició con las macrorutas 15 y 16, donde inicialmente se obtuvo información acerca del peso recolectado; los tiempos de macroruteo; el número de viviendas, barrios, instituciones servidos; la frecuencia y días de recolección; el trazado de la ruta actual; los tipos de recipientes; el estado de las vías y registros fotográficos.

**5.2.1 Producción de residuos sólidos.** Al final de cada viaje se pesó el carro recolector con los residuos sólidos en una báscula de plataforma en el relleno sanitario, obteniendo el peso bruto, es decir el peso del carro más el peso de los R.S.D; después se pesó el vehículo recolector vacío con el fin de calcular el peso neto de los residuos. Para determinar el peso total de la ruta se sumaron los pesos obtenidos en cada viaje.

**5.2.2 Tiempos de macroruteo.** Los tiempos de viaje de recolección efectivo y los tiempos muertos, se conocieron mediante el siguiente procedimiento:

- En un periodo de cinco semanas consecutivas, se registraron los datos de tiempo efectivo de recolección y tiempo improductivo de viaje para cada macroruta.
- Después de realizar varias medidas, se obtuvo el promedio de los tiempos de macroruteo.

**5.2.3 Levantamiento de información de la ruta de recolección.** En esta etapa se detalla el recorrido de la recolección dentro de los límites ya definidos para cada macroruta, para ello con la ayuda de un plano a escala apropiada de la zona de estudio, se fue trazando el recorrido a medida que el carro iba realizando la recolección. En el plano se detallaron las reversas, el sentido y estado de las vías, el tipo de recolección (método de acera y parada fija), el inicio y fin de la ruta. Algunos puntos de recolección no se encontraban en el plano de la ciudad, por lo tanto se ubicaron mediante coordenadas geográficas con la ayuda del GPS.

**5.2.4 Barrios, instituciones y población atendida.** Durante el recorrido de recolección de estas zonas se preguntó a las personas los nombres de los barrios atendidos y simultáneamente se realizó el conteo de las viviendas de cada barrio, también se identificaron las instituciones educativas y comerciales. Se recolectó información general de las zonas como tipos y estado de las vías, clases de recipientes de almacenamiento de residuos.

Debido a que la ruta 15 y 16 no son compactas y la mayoría de sus vías de acceso no se encuentran registradas en el plano catastral, por pertenecer a la zona rural del municipio en su gran mayoría, las características de estas zonas no permiten desarrollar el algoritmo del cartero chino, por esta razón fue necesario

tomar la ruta 7 que sí cumple con las condiciones para aplicar dicho algoritmo. Por lo anterior esta zona se estudió más a fondo con el objeto de obtener los datos de entrada para resolver el problema de rutina de arcos mediante un sistema de información geográfica (SIG).

### **5.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE LA RUTA 7**

Posteriormente se inició el trabajo de obtención de datos para la macroruta 7, se tomaron los datos anteriormente nombrados para las rutas 15 y 16 y adicional a esto se desarrollaron muestreos con el objeto de determinar la producción per cápita, la densidad en el recipiente y en el vehículo de los residuos, y la densidad de población en el sector.

**5.3.1 Densidad de la población atendida.** Inicialmente se obtuvo el plano digital de la ciudad de Popayán y el plano catastral de la distribución de las macrorutas en la ciudad<sup>5</sup> a escala 1: 10000, en este plano se identificó la macroruta 7 y se digitalizó sobre el plano magnético los límites de la zona con AutoCAD R14, de esta manera se encontró el área correspondiente a la macroruta.

Mediante un conteo directo se obtuvo el número de casas servidas y el número de habitantes promedio por casa se calculó con base en el muestreo que se realizó para determinar el peso y densidad de los RSD en el recipiente. Finalmente, teniendo los datos de área y población se determinó la densidad de la población atendida.

---

<sup>5</sup> Fuente: Municipio de Popayán, Secretaria de Infraestructura, Grupo de Aseo.

### 5.3.2 Determinación de los parámetros básicos de los residuos sólidos de la ruta 7

#### 5.3.2.1 Determinación de la densidad de los residuos sólidos en el recipiente.

Para la determinación de la densidad de los residuos sólidos se realizó un muestreo durante dos días, en donde a cada familia de las casas seleccionadas, de forma aleatoria simple, se le entregó una bolsa plástica debidamente rotulada a cambio de la bolsa con residuos; a cada jefe de familia se le indicó que los residuos generados de dos días se depositaran en las bolsas plásticas, con el objeto de conocer la densidad de los residuos sólidos en el recipiente, adicionalmente se aprovecho para preguntar cuantas personas habitaban en la residencia.

Para determinar el número de muestras se partió de las siguientes restricciones, sugeridas para residuos sólidos por Calderón y Zambrano, (2001) debido a que no se encontraron datos de desviación estándar y margen de error permisible para la densidad, en este estudio se trabajo con los datos utilizados para la producción per cápita con el fin de conocer el número de casas a muestrear:

- Desviación estándar: 0.2 Kg/hab-día
- Margen de error permisible: 0.06 Kg/hab-día
- Confiabilidad: 95%
- Número total de viviendas=2701 viviendas

El tamaño de la muestra estará definido por

$$n = \frac{N * Z^2 * \delta^2}{d^2 (N - 1) + Z^2 * \delta^2} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

N= Tamaño de la población finita, en unidades muestrales

Z= Coeficiente de confiabilidad

d= Margen de error permisible

$\delta$ = Desviación estándar

Con un 95% de certeza, el área bajo la curva de cero a Z es igual a:

$$\frac{1-0.05}{2} = 0.475, \text{ y de la tabla A 1.1 } Z=1.96$$

Reemplazando los valores en la formula de la población finita (ecuación 5.1)

$$n = \frac{2701 * 1.96^2 * 0.2^2}{0.06^2 * (2701 - 1) + 1.96^2 * 0.2^2}$$

$n = 42 \text{ viviendas}$

Tomando como base 2701 viviendas que son atendidas por la macrorruta 7, el número de muestras para el estudio resulta de 42 hogares, pero para tener un margen de seguridad se tomaron 47 muestras. En la figura 5.1 se indican los puntos de muestreo de la macrorruta 7.

Para la determinación de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios se acondicionó un recipiente cilíndrico de 88 cm de alto y diámetro 57.5 cm, para un volumen de 0.229 m<sup>3</sup>. Las bolsas ya pesadas y registradas se depositan en el recipiente cilíndrico hasta llenarlo, este procedimiento se realizó varias veces con diferentes bolsas de residuos, en caso de no quedar lleno el recipiente, se mide la altura libre y se registra el dato en el formato correspondiente. Conociendo el volumen del recipiente y el peso de los residuos sólidos se determinaron varias densidades y posteriormente se calculó el promedio. El procedimiento de muestreo de los residuos sólidos domiciliarios para determinar la densidad se representa en la figura 5.2.

Figura 5.1. Puntos de muestreo en la macrorruta 7.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5.2.** Procedimiento de muestreo de residuos sólidos domiciliarios.



Fuente: Elaboración propia

**5.3.2.2 Peso y volumen de los residuos sólidos en el carro recolector.** El análisis del volumen-peso de los RSD en el carro recolector se determinó mediante el siguiente procedimiento:

- En cada viaje, se pesa el carro recolector con los residuos en una báscula de plataforma en el Relleno Sanitario, obteniendo el peso bruto (peso del carro mas el peso de los RSD).
- Después de descargar los RSD en el relleno sanitario, se pesa el carro recolector vacío. Con este peso se puede calcular el peso neto de los residuos.
- Al final de la jornada laboral se suman los pesos por viaje, para conocer el peso total de la ruta.
- El volumen de los RSD en el carro recolector es equivalente al volumen de la tolva de carga expresada en yardas cúbicas (25 yd<sup>3</sup>). Estas mediciones se realizaron con los pesos de los viajes en el que la tolva del carro recolector estaba completamente llena.

**5.3.3 Determinación de producción per cápita.** Para conocer cuanta basura de produce en la macrorruta 7, se efectuó el siguiente procedimiento:

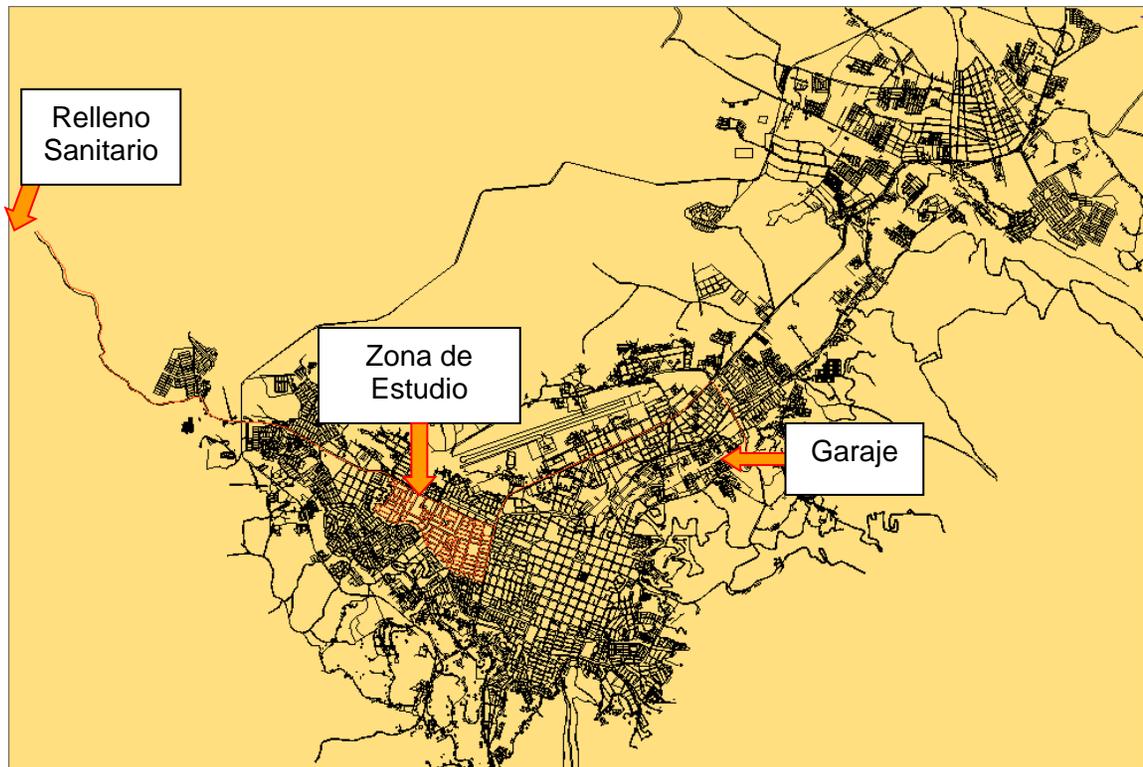
- Durante un periodo de seis meses se tomó el registro de los pesos recolectados en cada viaje.
- Finalizada la jornada laboral de recolección se sumaron los pesos de cada viaje para obtener el peso total recolectado en la ruta.

- Con los datos de los pesos diarios y conociendo la población atendida se determinó la producción per cápita de residuos generados por persona, a estos resultados se les aplicó las pruebas estadísticas del test chi cuadrado y t-student, con el objetivo de realizar el respectivo análisis estadístico, adicionalmente se calcularon los valores punta, mínimos y medios de generación de residuos sólidos por días, semanas y meses.

**5.3.4 Tiempos de macroruteo.** Se realizó el mismo procedimiento que se desarrolló para las macrorutas 15 y 16.

**5.3.5 Levantamiento de información de la ruta de recolección.** En esta etapa se detalla el recorrido de la recolección dentro de los límites ya definidos de la macroruta 7, para ello con la ayuda de un plano a escala apropiada de la zona de estudio (ver figura 5.3), se fue trazando el recorrido a medida que el carro iba realizando la recolección. En el plano se detallaron las reversas, el sentido y estado de las vías, el tipo de recolección (método de acera y parada fija), el inicio y fin de la ruta.

**Figura 5.3.** Localización de la macrorruta 7 en el plano de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia

**5.3.6 Rendimiento de recolección.** El rendimiento de recolección se determinó tomando el tiempo efectivo transcurrido desde que se recoge el primer recipiente de basura hasta que se recoge el último, el cual, se multiplica por el número total de obreros que intervienen en la operación de recolección, lo que proporciona como resultado los minutos-hombre; al final de la recolección de cada viaje, en una báscula de plataforma se mide la cantidad de basura recolectada y de esta manera se obtiene el rendimiento por hombre expresada en hombre\*min/Ton .

**5.3.7 Configuración de la red.** En esta etapa se convierte el mapa topográfico de la macrorruta 7 en una red formada por un conjunto de nodos y arcos para lo cual

se requiere conocer el sentido de circulación de las vías, distancia entre puntos de recolección, características del tráfico, estado de las vías, velocidad promedio de circulación, ubicación del garaje o base de operaciones y del sitio de disposición final.

Con esta información y con los datos obtenidos de la ruta 7, se hizo una sistematización para ingresarlos a un SIG, con el objetivo de elaborar la ruta que permita hacer el recorrido en la menor distancia posible, mediante la utilización del algoritmo del cartero chino (**Arc Routing**).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA RUTA 15

La ruta número 15 recolecta a un total de 27 barrios, además de la Galería de Bello Horizonte, ICOBANDAS y POSTOBON, Manjar Payanés, El penal San Isidro, el Parque Industrial, los cementerios de Jardines de Paz y Los Laureles, La Subestación San Bernardino, Fundación FUNDASER (ver tabla 6.1). En esta macroruta se realiza la recolección los días martes, jueves y sábado, en un viaje.

En la tabla 6.1 se muestran los barrios, número de casas servidas y observaciones del estado de las vías y el acceso a estas, el orden de recolección corresponde al que se presenta en la tabla.

**Tabla 6.1.** Barrios atendidos por la macroruta 15

Barrio	# Casas	Observaciones
Vereda Pomona	100	Vía destapada, cuando llueve el carro se entierra.
Real Pomona	60	Vía destapada y amplia, existe 1 estación, los recipientes son tarros de pintura y bolsas
Alrededor de la Iglesia Yanaconas	18	Calle en adoquín y angosta, entra vehículo grande
Urbanización Arcos de Yanacona	22	Conjunto cerrado, vía pavimentada, recipientes: bolsas plásticas

<b>Barrio</b>	<b># Casas</b>	<b>Observaciones</b>
Bosques Campestre y Ciclovía	33	Vía pavimentada, angosta y en buen estado.
Vereda González	239	Vía pavimentada en buen estado
Los Robles	20	Vía destapada
Galería Bello Horizonte		La basura se deposita en góndolas.
Zulemaída	152	Vía destapada y angosta
San Gerardo	35	Vía destapada y angosta
Capri	22	Vía destapada y angosta
Postobón e Icobandas		Recipientes: Tarros grandes
Cerritos de Paz	16	Vía pavimentada en buen estado
Caballo de copas	10	Vía destapada
La Posada del Rancho	10	Vía en adoquín, es una calle ciega y angosta
Río Vista	50	Vía angosta y en adoquines, conjunto cerrado.
Penal San Isidro	2020 personas	Se recolectan aproximadamente unos 8 recipientes de 55 galones.
Vereda Lame	120	Vía en buen estado pavimentada, vía ancha
La Cordillera	10	Se recolecta en un solo lugar.
Manjar Payanes		Recipientes Grandes
Vía a Cali	108	Doble vía
Vía Totoró		Se recolecta en una estación y a un centro de rehabilitación
Parcelación la Fortaleza	37	Se colecta en un solo lugar, existe un sitio de disposición fijo.

Barrio	# Casas	Observaciones
La Cabuyera	54	Se hace la recolección sobre la vía Panamericana.
Lácteos Colombia		Se recolectan 2 recipientes de 55 galones aproximadamente.
Parque Industrial		Se recolecta a Metrix, Almacafé e Hierros.
Jardines de Paz	57	Vía destapada entra en carro sin problemas
Atardeceres de la Pradera	30	Es un conjunto cerrado, cada casa tiene su estación de disposición de basuras.
Rioja	30	Se recolecta en una estación
Calle Mocha	33	Vía angosta, las calles están construidas en losas de cemento.
San Bernardino	35	Vía destapada y angosta, existen algunas estaciones.
Subestación San Bernardino		Vía destapada, se recolectan aproximadamente 3 recipientes de 50 galones cada uno.
Ciudadela del Bosque	17	Vía destapada y angosta.
Fundaser		Vía destapada

**6.1.1 Cantidad de basura recolectada por barrio.** Para efectuar el cálculo de la cantidad de residuos que se producen por barrio se trabajó con una producción de basura por habitante en el día (PPC) entre 0.5 y 0.6 kg/hab\*día; como la producción per cápita está relacionada con el número de habitantes, para la macroruta 15 con aproximadamente 6795 habitantes, así como para la macroruta 16 con 8655 habitantes, se tomó una PPC de 0.5 kg/hab.

Los desechos sólidos poseen una densidad de acuerdo con su estado. Los valores, que como es lógico, dependen del grado de compresión, para estas variables son en promedio y en forma general los siguientes:

- Vereda Pomona

Se asume una producción per cápita de 0.5 Kg/hab\*día

$$\# \text{Habitantes} = 100 \text{Casas} * \frac{5 \text{Hab}}{\text{Casas}} = 500 \text{Hab}$$

$$\text{Peso} = 500 \text{Hab} * \frac{0.5 \text{Kg}}{\text{hab} * \text{día}} = \frac{250 \text{Kg}}{\text{día}}$$

Siendo N el periodo de recolección de residuos sólidos, se tienen periodos de 2 y 3 días, entonces:

$$\text{Para } N=3; \quad \text{Peso} = \frac{250 \text{Kg}}{\text{día}} * 3 \text{días} = 750 \text{Kg}$$

$$\text{Para } N=2; \quad \text{Peso} = \frac{250 \text{Kg}}{\text{día}} * 2 \text{días} = 500 \text{Kg}$$

Para el cálculo del volumen de los residuos sólidos se asume una densidad de 160Kg/m<sup>3</sup>, luego:

$$v = \frac{m}{\rho} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

donde:

v= volumen de los residuos sólidos

m= masa de los residuos sólidos

ρ=densidad de los residuos sólidos

$$\text{Para N= 3:} \quad V = \frac{750Kg}{160 \frac{Kg}{m^3}} = 4.69m^3$$

$$\text{Para N= 2:} \quad V = \frac{500Kg}{160 \frac{Kg}{m^3}} = 3.13m^3$$

Los cálculos de pesos y volúmenes de residuos sólidos de los barrios que pertenecen a la macrorruta 15 se calculan como se mostró anteriormente; en la tabla 4 se observa un resumen de estos cálculos.

- Penal San Isidro

En el penal se recolecta diariamente aproximadamente unos 8 recipientes de 55 galones cada uno. Donde, V.R.S: Volumen de los Residuos Sólidos del Penal

$$V.R.S = 8 \text{recipientes} * 55 \text{gal} = 440 \text{gal}$$

$$V.R.S = 440 \text{gal} * \frac{3.79 \text{lt}}{1 \text{gal}} * \frac{1m^3}{1000 \text{lt}} \approx 1.7m^3$$

Asumiendo una densidad de 160 kg/m<sup>3</sup>, se tiene que el peso recolectado en el penal es:

$$Peso = 1.7m^3 * \frac{160Kg}{m^3} = 272Kg$$

De igual manera se realizan los cálculos para Lácteos Colombia, Galería Bello Horizonte, Manjar Payanés, Postobón, Icobandas, Subestación San Bernardino, Parque Industrial

En Manjar Payanés, Postobón, Icobandas, Parque Industrial los residuos sólidos están constituidos en su mayoría por cartón, papel, plástico y vidrio, por lo tanto es necesario usar las densidades de estos materiales para realizar los cálculos, para este estudio se tomaron los valores de densidad reportados por Henry Glynn de papel, cartón y plástico que es de 80Kg/m<sup>3</sup>. En la Tabla 6.2 se indica la densidad no compactada de estos componentes.

**Tabla 6.2.** Densidades representativas sin compactación para componentes de residuos municipales.

Componentes	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
Papel, cartón, plásticos	80
Escombros diversos*	160
Plástico	65

\*Los escombros diversos incluyen vidrio, material no ferroso, madera, caucho, cuero y textiles

Fuente: adaptado Henry Glynn et al. (1999)

**Tabla 6.3.** Peso y volumen de los residuos sólidos estimados para la macrorruta 15 según los periodos de recolección

Barrio	# Casas	Habitantes	kg/día	Peso (Kg)		Volumen (m <sup>3</sup> )	
				N=2	N=3	N=2	N=3
Vereda Pomona	100	500	250	500	750,00	3,13	4,69
Real Pomona	60	300	150	300	450,00	1,88	1,80
Alrededor de la Iglesia Yanaconas	18	90	45	90	135,00	0,56	0,54
Urbanización Arcos de Yanacona	22	110	55	110	165,00	0,69	0,66
Bosques Campestre y Ciclovía	33	165	82,5	165	247,50	1,03	0,99
Vereda González	239	1195	597,5	1195	1792,50	7,47	7,17
Los Robles	20	100	50	100	150,00	0,63	0,60
Galería Bello Horizonte			42,5	42,5	42,50		
Zulemaída	152	760	380	760	1140,00	4,75	7,13
San Gerardo	35	175	87,5	175	262,50	1,09	1,64
Capri	22	110	55	110	165,00	0,69	1,03
Postobón			52,4	104,8	157,20	1,10	1,65
Icobandas			8,5	17	25,50	0,21	0,32
Cerritos de Paz	16	80	40	80	120,00	0,50	0,75
Caballo de copas	10	50	25	50	75,00	0,31	0,47
La Posada del Rancho	10	50	25	50	75,00	0,31	0,47
Río Vista	50	250	125	250	375,00	1,56	2,34

Barrio	# Casas	Habitantes	kg/día	Peso (Kg)		Volumen (m <sup>3</sup> )	
				N=2	N=3	N=2	N=3
Penal San Isidro			272	272	272,00	1,70	2,55
Vereda Lame	120	600	300	600	900,00	3,75	5,63
La Cordillera	10	50	25	50	75,00	0,31	0,47
Manjar Payanes			21,7	43,36	65,04	0,35	0,52
Vía a Cali	108	540	270	540	810,00	3,38	5,06
Fundación Éxodo			6,93	13,94	20,80	0,09	0,13
Vía Totoró	41	205	102,5	205	307,50	1,28	1,92
Parcelación la Fortaleza	37	185	92,5	185	277,50	1,16	1,73
La Cabuyera	54	270	135	270	405,00	1,69	2,53
Lácteos Colombia			33,36	66,72	100,06	0,42	0,63
Parque Industrial			18,85	37,7	56,55	0,58	0,87
Jardines de Paz	57	285	142,5	285	427,50	1,78	2,67
Atardeceres de la Pradera	30	150	75	150	225,00	0,94	1,41
Rioja	30	150	75	150	225,00	0,94	1,41
Calle Mocha	33	165	82,5	165	247,50	1,03	1,55
San Bernardino	35	175	87,5	175	262,50	1,09	1,64
Subestación San Bernardino			50	100	150,08	0,63	0,94
Ciudadela del Bosque	17	85	42,5	85	127,50	0,53	0,80
Fundaser			6,93	13,94	20,80	0,09	0,13
<b>TOTAL</b>	<b>1359</b>	<b>6795</b>	<b>3927,5</b>	<b>7540,56</b>	<b>11153,4</b>	<b>47,83</b>	<b>65,14</b>

Para los días de periodo igual a dos el peso de los residuos sólidos es de 7.54 Toneladas, y para los días de periodo igual a tres el peso es de 11.15 Toneladas aproximadamente, es decir se aumenta en un 32.4% la producción de residuos sólidos en relación con los días de periodos igual a 2. El volumen de los residuos en el recipiente también se ve afectado por el periodo que existe entre las frecuencias de recolección, para los días N=3 el volumen se aumenta en un 26.6% en relación con los días de recolección con N=2.

Los vehículos recolectores alcanzan a almacenar aproximadamente 8 Toneladas, es decir los días de periodo igual a dos los carros se sobre cargan, por esta razón se propone que algunos barrios se han servidos por las macrorutas aledañas o a las cuales corresponden, con el fin de ahorrar tiempo, gastos innecesarios y evitar el desgaste progresivo de los vehículos recolectores.

**6.1.2 Tiempos de macroruteo de la ruta 15.** Los tiempos que se muestran a continuación son datos obtenidos cuando se realizó el recorrido de recolección.

**Tabla 6.4.** Tiempos de macroruteo de la ruta 15

N° De Viajes	TIEMPOS (min)									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	TR
1	15	5	20	12	15	34	10		369	369

En general el tiempo de recolección es de aproximadamente seis horas con 15 minutos y los tiempos muertos alcanzan en promedio dos horas, aunque el tiempo utilizado en todo el proceso de recolección esta dentro de las ocho horas laborales legales, el 25% del tiempo total a laborar se utiliza viajando de un lugar a otro para

hacer la recolección de los residuos sólidos, siendo este un porcentaje considerable, este hecho se presenta debido a que las rutas son muy dispersas. Esta ruta actualmente presenta deficiencias debido a que los recorridos no son compactos, lo que genera que en la ruta se incrementen los tiempos muertos puesto que el carro aumenta su tiempo de viaje por los largos recorridos que tiene que hacer de un punto de recolección al siguiente.

## 6.2 PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RUTA 15

De acuerdo con el estado actual de la ruta 15, se sugiere que algunos puntos de recolección se integren a una ruta más cercana a ellos, con el objetivo de disminuir los tiempos de viaje y optimizar la ruta. A continuación se señalan los puntos de recolección que serán reasignados a las rutas más cercanas (ver tabla 6.5).

**Tabla 6.5** Reasignación de puntos de recolección pertenecientes a la macrorruta 15.

Macrorutas de reasignación	Puntos de recolección	Justificación
10	Urbanización Pomona, Real Pomona	Cercanía a la macrorruta.
12	Alrededor de iglesia Yanacunas, Urbanización Arcos de Yanacunas, Cerritos de Paz, Caballo de Copas, Posada del Rancho y Río Vista.	En el mapa de macrorutas estos lugares pertenecen a esta zona; adicionalmente el vehículo grande puede ingresar sin problema.
13	Barrios: Zulemáida y San Gerardo. Postobón e Icobandas.	Estos puntos pertenecen a la zona de recolección de la macrorruta 13.

El carro después de realizar el recorrido, exceptuando los barrios anteriormente nombrados, queda con capacidad de recolectar más basura, por lo que se hace necesario asignar nuevos puntos de recolección, que hacen parte de la macrorruta 16. Los puntos que se adicionan a la macrorruta 15 son: Los Cristales, Brisas de Pubenza, La Pradera y Cajete. Finalmente el recorrido de la macrorruta 15 queda definido como se muestra a continuación:

- Bosques Campestre y Ciclovía
- Vereda González
- Los Robles
- Galería Bello Horizonte
- Penal San Isidro
- Vereda Lame
- La Cordillera
- Manjar Payanes
- Vía a Cali
- Vía Totoró
- Parcelación la Fortaleza
- La Cabuyera
- Lácteos Colombia
- Parque Industrial
- Atardeceres de la Pradera
- Jardines de Paz
- Rioja
- Calle Mocha
- San Bernardino
- Subestación San Bernardino
- Fundaser
- Ciudadela del Bosque
- Los Cristales
- Brisas de Pubenza
- La Pradera
- Cajete.

### 6.3 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA RUTA 16

La macrorruta actualmente está constituida por 31 puntos de recolección, además de 6 escuelas, la subestación de energía CEDELCA, el estadero de Cajete, el Motel Las Tres Lunas, residuos provenientes del compostaje en el Relleno El Ojito. Los días de recolección son Martes, Jueves y Sábado; son necesarios dos viajes por día para recolectar toda la macrorruta.

En la tabla 6.6 se muestran los barrios, número de casas servidas y observaciones del estado de las vías y el acceso a estas; el orden de recolección corresponde al que se presenta en la tabla.

**Tabla 6.6.** Barrios atendidos actualmente por la macrorruta 16

Barrio	# Casas	Observaciones
El Arenal	20	Vía angosta y difícil acceso, el carro debe entrar en reversa, vía con pendiente fuerte.
Cuadras de la María Oriente, Alto de los Sauces y La paila	216	Pendientes fuertes, vías angostas, parte de las vías están pavimentadas, y el resto en mal estado.
Calle de los Sauces	12	Es una calle angosta, no entra el carro grande.
Dos calles de B/ San Andrés	22	Vía destapada
Plateado	146	Vía pavimentada de pendiente fuerte, se recolecta de bajada
Los Tejares	51 + 1 escuela	Vía pavimentada, en buen estado, pendiente fuerte, se recolecta de bajada.

<b>Barrio</b>	<b># Casas</b>	<b>Observaciones</b>
Los Dos Brazos	38	Vía destapada
Madres Solteras	54	Vía pavimentada con pendiente inclinada, de difícil acceso, se entra en reversa,
La Paz Sur	25	Vía destapada y angosta
Recuerdo Sur	74	Vía destapada con pendiente fuerte, en mal estado, el carro ingresa en reversa
El Dean Bajo	49	Vía destapada y en mal estado
Loma de la Virgen	46	Vía destapada y angosta.
Vía vereda el Túnel y El Túnel	73 casas + 2 escuelas	Vía pavimentada y angosta
Vía Timbío	35	Vía Pavimentada y en buen estado se recolecta hasta el puente del río Hondo, se recolecta a la bomba de Timbío y al motel Tres Lunas.
Vereda el Salvador	28	Vía destapada y angosta.
Versalles	51	Vía destapada y angosta, algunas vías pavimentadas.
Calle por detrás del Hospital Susana	12	Vía pavimentada, con pendiente, puede recolectar el carro de la noche.
Cuadra del Retiro Alto	28	Vía angosta y pavimentada, el acceso del carro es difícil, las cuerdas de energía están caídas, es recomendable que las personas saquen los residuos a la esquina y se recolecte en el recorrido de la noche
Nueva Granada	45	Vía pavimentada y angosta
Villa del Sur y Escuelas Tejiendo vida y educando en valores	8 + 2 escuelas	Vía pavimentada y angosta.

<b>Barrio</b>	<b># Casas</b>	<b>Observaciones</b>
Nueva Frontera	34	Vía parcialmente pavimentada, existe un punto de parada fija (ver foto 97)
Túnel Bajo	50	Vía destapada y angosta, se observan algunas estaciones de recolección.
Subestación de Energía CEDELCA.		La vía de entrada a la subestación es pavimentada.
Samuel Silverio y Puelenje	244	Vía pavimentada, con pendiente, algunas calles son en adoquines y son angostas, el resto son calles de doble vía, existen algunas estaciones de recolección y en Samuel Silverio se recolecta en las esquinas.
Vereda de Torres	213	Vía pavimentada y en buen estado, algunas calles alternas están sin pavimentar, con pendiente fuerte.
Los cristales*	22	Vía angosta, no pavimentada y en mal estado
Brisas de Pubenza*	33	Vía angosta, no pavimentada y en mal estado
La Pradera*	81	Vía angosta, sin pavimentar y en mal estado, cuando llueve el acceso es difícil.
Institución Educativa de Cajete*	530 personas	Los recipientes son pesados y no son apropiados para la descarga, vía pavimentada, angosta y en buen estado.
Estadero de Cajete (Vía al Tambo)*		Vía pavimentada, amplia y en buen estado.

\* Estos puntos de recolección fueron asignados a la macrorruta 15.

**6.3.1 Cantidad de basura recolectada por barrio.** Los resultados de pesos y volúmenes de residuos sólidos de los barrios que pertenecen a la macroruta 16 se observan en la tabla 6.7.

**Tabla 6.7.** Peso y volumen de los residuos sólidos estimados para la macroruta 16 según el periodo de recolección

Barrios	Casas	Habitantes	Kg/día	Peso (Kg)		Volumen (m <sup>3</sup> )	
				N=2	N=3	N=2	N=3
El Arenal	20	100	60	120	180	0,75	1,13
Cuadras de la María Oriente, Alto de los Sauces y La paila	216	1080	648	1296	1944	8,1	12,15
Calle de los Sauces	12	60	36	72	108	0,45	0,68
Dos calles de B/ San Andrés	22	110	66	132	198	0,83	1,24
Plateado	146	730	438	876	1314	5,48	8,21
Los Tejares	51	255	153	306	459	1,91	2,86
Escuela Francisco José de Caldas			7	14	21	0.10	0.15
Los Dos Brazos	38	190	114	228	342	1,43	2,14
Madres Solteras	54	270	162	324	486	2,03	3,04
La Paz Sur	25	125	75	150	225	0,94	1,41

Barrios	Casas	Habitantes	Kg/día	Peso (Kg)		Volumen (m <sup>3</sup> )	
				N= 2	N= 3	N= 2	N= 3
Recuerdo Sur	74	370	222	444	666	2,78	4,16
Jorge Eliecer Gaitán Bajo	21	105	63	126	189	0,79	1,18
El Dean Bajo	49	245	147	294	441	1,84	2,76
Loma de la Virgen	46	230	138	276	414	1,73	2,59
Vía vereda el Túnel y El Túnel	73	365	219	438	657	2,74	4,11
Escuela Rural Mixta y Escuela Rural Sede el Túnel			5.32	10.64	15.96	0.08	0.11
Vía Timbío	35	175	105	210	315	1,31	1,95
Vereda el Salvador	28	140	84	168	252	1,05	1,58
Versalles	51	255	153	306	459	1,91	2,87
Calle por detrás del Hospital Susana	12	60	36	72	108	0,45	0,68
Cuadra del Retiro Alto Nueva Granada	28	140	84	168	252	1,05	1,58
	45	225	135	270	405	1,69	2,53
Villa del Sur	8	40	24	48	72	0,30	0,45
Escuelas Tejiendo vida y educando en valores			10.5	21	31.5	0.15	0.23

Barrios	Casas	Habitantes	Kg/día	Peso (Kg)		Volumen (m <sup>3</sup> )	
				N=2	N=3	N=2	N=3
Nueva Frontera	34	170	102	204	306	1,28	1,91
Túnel Bajo	50	250	150	300	450	1,88	2,81
Subestación de Energía CEDELCA.			7.16	14.33	21.48	0.10	0.15
Vereda de Torres	213	1065	639	1278	1917	7,99	11,98
Los cristales*	22	110	66	132	198	0,83	1,24
Brisas de Pubenza*	33	165	99	198	297	1,24	1,86
La Pradera*	81	405	243	486	729	3,04	4,56
Institución Educativa de Cajete*			21.2	42.4	63.6	0.30	0.45
Estadero de Cajete (Vía al Tambo)*			5.85	11.7	17.55	0.083	0.13
<b>TOTAL</b>	<b>1731</b>	<b>8655</b>	<b>5250,03</b>	<b>10500,1</b>	<b>15750,1</b>	<b>65,72</b>	<b>98,59</b>

Para los días de periodo igual a dos se recolecta alrededor de 10.5 toneladas y para los periodos de tres días aproximadamente 16 toneladas es decir el 34.4% más para los días N=2, en cuanto al volumen los periodos de 3 días aumentan su volumen en un 33.3 % con respecto a los días de recolección de N=2. Para balancear la macroruta 15 y 16 los barrios los Cristales, Brisas de Pubenza, La pradera, la institución educativa de Cajete y el estadero de Cajete serán servidos

por la macroruta 15 que tiene menos peso a recolectar, de igual manera las calles que pertenecen a otras macrorutas y son servidas por la macroruta 16 son reasignadas a la macroruta que corresponda, estas calles son: la calle ubicada al lado del Hospital Susana López, la calle 10 B entre carreras 23 y 22 ubicada en el retiro alto y finalmente la calle 17 con carrera 1ª.

**6.3.2 Tiempos de macroruteo de la ruta 16.** Los tiempos que se muestran a continuación son datos obtenidos cuando se realizó el recorrido de recolección.

**Tabla 6.8.** Tiempos de macroruteo de la ruta 16

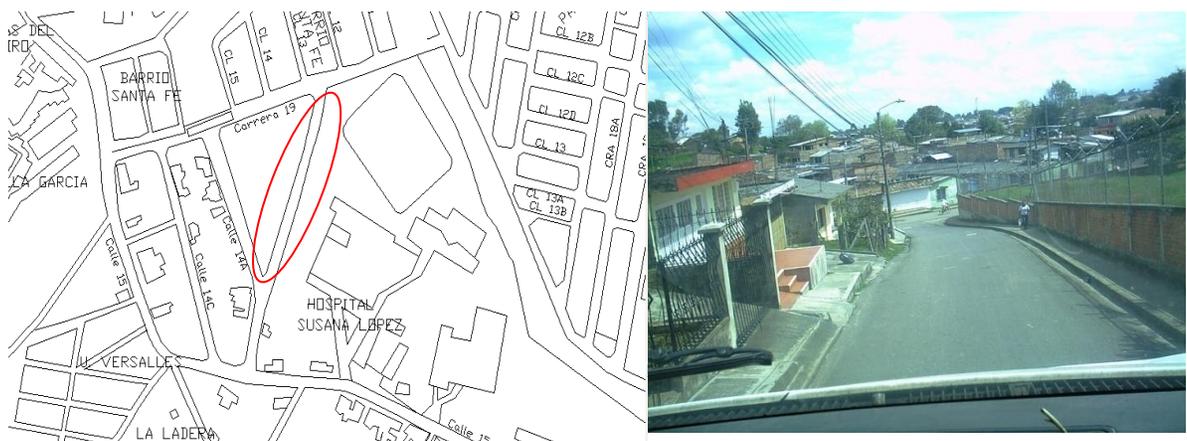
N° De Viajes	TIEMPOS (min)									
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	TR
1	10	10	10	7	15	25	7	4	427	452
2			5	10					25	

En general los tiempos de macroruteo coinciden con los tiempos normales de recolección que se reportan en la literatura (CALDERÓN Y ZAMBRANO); el tiempo de recolección es grande (8 horas) debido a que esta ruta es bastante dispersa y esto genera aumentos considerables en los trayectos donde no se realiza la recolección propiamente dicha y se gasta la mayor parte del tiempo viajando de un lugar a otro para hacer la recolección de los residuos sólidos. Los tiempos muertos para esta macroruta están alrededor de dos horas y el tiempo propiamente dicho de recolección alcanza las ocho horas, es decir los trabajadores exceden el horario laboral legal que es de ocho horas, esto se debe a que las rutas son muy dispersas y se ocupa el 20% del tiempo total de trabajo en viajar de un lado a otro.

De manera similar que la macroruta 15 la macroruta 16 presenta deficiencias debido a que los recorridos no son compactos, lo que genera que en la ruta se incrementen los tiempos muertos puesto que el carro aumenta su tiempo de viaje por los largos recorridos que tiene que hacer de un punto de recolección al siguiente.

Uno de los inconvenientes que se identifican en esta macroruta es que actualmente se hace la recolección a cuadras que pertenecen a otras macrorutas, y donde no hay inconvenientes para que entre el carro recolector; estas calles son: la calle que se encuentra ubicada al lado del Hospital Susana López (ver figura 6.1).

**Figura 6.1.** Cuadra al lado del Hospital Susana López.



La otra cuadra es la ubicada en Calle 17 con carrera 1ª

**Figura 6.2.** Cuadra entre Calle 17 con carrera 1ª .



La calle 10 B entre carreras 23 y 22 ubicada en el retiro alto es una vía de difícil acceso para el carro recolector, por lo tanto se recomienda que los usuarios saquen sus basuras a las esquinas de esta cuadra, debido a que los nuevos carros son muy largos y esta calle es muy angosta (ver figura 6.3).

**Figura 6.3.** Calle 10 B entre carreras 23 y 22



## 6.4 PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RUTA 16

En la tabla 6.9 se muestra la reasignación de puntos de recolección pertenecientes a la macrorruta 16, esta reasignación se hizo con base en el estado actual de la ruta 16, en donde se sugiere que algunos puntos de recolección se integren a una ruta más cercana a ellos, con el objetivo de disminuir los tiempos de viaje y optimizar la ruta.

**Tabla 6.9.** Reasignación de puntos de recolección pertenecientes a la macrorruta 16.

Macrorutas de reasignación	Puntos de recolección	Justificación
6	Calle ubicada al lado del Hospital Susana López y calle 10 B entre carreras 23 y 22 ubicada en el retiro alto	La calle del Susana López es amplia y por lo tanto el carro de la macrorruta 6 puede recolectar sin inconvenientes; a la calle ubicada en el Retiro Alto no puede ingresar ninguno de los carros recolectores del municipio, por lo tanto los usuarios deben sacar los residuos a las esquinas.
1	Calle 17 con carrera 1 <sup>a</sup>	En el mapa de de macrorutas esta calle pertenece a esta zona, adicionalmente el vehículo grande puede ingresar sin problema.

Finalmente el recorrido de la macroruta 16 queda definido como se muestra a continuación:

- El Arenal
- Cuadras de la María Oriente
- Alto de los Sauces
- La paila
- Dos calles de B/ San Andrés
- Plateado
- Samánaga
- Los Tejares
- Los Dos Brazos
- Madres Solteras
- La Paz Sur
- Recuerdo Sur
- El Dean Bajo
- Loma de la Virgen
- Vía vereda el Túnel y El Túnel
- Vía Timbío
- Vereda el Salvador
- Versailles
- Nueva Granada
- Villa del Sur
- Nueva Frontera
- Túnel Bajo
- Subestación de Energía CEDELCA.
- Samuel Silverio
- Puelenje
- Vereda de Torres

## 6.5 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA RUTA 7

La macrorruta 7 está ubicada en la comuna 8 al sur occidente del municipio de Popayán, se encuentra delimitada por la calle 5, la carrera 17 y el río Ejido, ocupa un área de 60 hectáreas, cuenta con una población de 16206 habitantes aproximadamente que pertenecen a los estratos 2 y 3<sup>6</sup>, y esta conformada por 11 barrios (La Esmeralda, El Guayabal, José Maria Obando, La Victoria, Canadá, Santa Elena, La Esperanza, Urbanización Su techo, El Libertador, Minuto de Dios y Perpetuo Socorro), los cuales generan en promedio 233.83 Ton mensuales. En la figura 6.4 se observa la ubicación del área de estudio en la ciudad de Popayán, en la figura 6.5 se presenta la zona de estudio en detalle.

**Figura 6.4.** Ubicación del área de estudio.



Fuente: Plano catastral de la ciudad de Popayán.

<sup>6</sup> Fuente: Municipio de Popayán. 2002-2011. Plan de Ordenamiento Territorial.

**Figura 6.5.** Área servida por la Macrorruta 7 de recolección.



Fuente: Elaboración propia

Esta zona es predominantemente residencial con características comerciales alrededor de la Galería la Esmeralda y la calle 5, cuenta con 4 centros educativos (Instituto Colombiano de Bienestar Familiar I.C.B.F, Instituto Tecnológico Carlos Albán, Escuela Jhon F Kennedy y Colegio de la Policía Nacional).

La frecuencia de recolección de residuos sólidos en esta zona es de 3 veces por semana y se realiza los días Lunes, Miércoles y Viernes, la recolección se efectúa mediante el método de acera y parada fija, la cuadrilla está conformada por un conductor y 3 ayudantes los cuales se encargan de ir recogiendo las bolsas plásticas o recipientes con los residuos y depositarlas en el vehículo.

**6.5.1 Muestreo.** En la tabla 6.10 se muestran los valores de los resultados obtenidos en seis meses, de la cantidad de basura recolectada por la macrorruta 7.

**Tabla 6.10.** Producción per-cápita de residuos sólidos de la macrorruta 7.

Numero	PPC (Kg/Hab-día)	(Yi-r) <sup>2</sup>	Numero	PPC (Kg/Hab-día)	(Yi-r) <sup>2</sup>
1	0,4155	0,0069	36	0,4628	0,0013
2	0,4227	0,0057	37	0,6705	0,0296
3	0,4134	0,0072	38	0,4566	0,0017
4	0,4875	0,0001	39	0,5769	0,0062
5	0,4854	0,0002	40	0,5266	0,0008
6	0,4659	0,0011	41	0,4906	0,0001
7	0,5461	0,0023	42	0,5646	0,0044
8	0,5595	0,0037	43	0,3826	0,0134
9	0,4690	0,0009	44	0,6602	0,0262
10	0,6047	0,0113	45	0,3723	0,0159
11	0,4957	0,0000	46	0,8145	0,0999
12	0,3610	0,0189	47	0,5523	0,0029
13	0,5831	0,0072	48	0,5708	0,0052
14	0,4834	0,0002	49	0,5183	0,0004
15	0,5368	0,0015	50	0,5677	0,0048
16	0,5204	0,0005	51	0,5677	0,0048
17	0,4134	0,0072	52	0,5677	0,0048
18	0,5461	0,0023	53	0,4073	0,0083
19	0,4690	0,0009	54	0,3887	0,0120
20	0,4350	0,0040	55	0,4690	0,0009
21	0,4998	0,0000	56	0,4751	0,0005
22	0,4443	0,0029	57	0,5060	0,0001
23	0,5739	0,0057	58	0,5831	0,0072
24	0,4978	0,0000	59	0,2962	0,0409
25	0,4443	0,0029	60	0,3826	0,0134
26	0,5523	0,0029	61	0,4011	0,0095
27	0,4998	0,0000	62	0,5595	0,0037
28	0,4289	0,0048	63	0,4289	0,0048
29	0,5368	0,0015	64	0,4936	0,0000
30	0,4751	0,0005	65	0,4289	0,0048
31	0,6109	0,0126	66	0,4967	0,0000
32	0,5060	0,0001	67	0,5060	0,0001
33	0,4751	0,0005	68	0,4597	0,0015
34	0,5461	0,0023	69	0,4844	0,0002
35	0,4978	0,0000			
			<b>TOTALES</b>	34,3916	0,4492

Fuente: Control de entrada de Residuos Sólidos del Relleno Sanitario.

$$r = \frac{\sum Y_i}{n} \quad \text{Ecuación 6.2}$$

$$r = \frac{34.3916}{69}, \quad \text{corresponde a la población per cápita}$$

$$r = 0.4984 \frac{\text{Kg}}{\text{hab} * \text{día}}$$

Para medir la bondad de  $r$  es necesario calcular su varianza (medida de dispersión de los datos alrededor del promedio) y calcular también el error estándar.

Para el cálculo de la varianza se utiliza la siguiente ecuación:

$$V(r) = \frac{\sum (Y_i - r)^2}{(n-1)n} \quad \text{Ecuación 6.3}$$

$$V(r) = \frac{0.4492}{(69-1) * 69} = 9,57339\text{E}-05$$

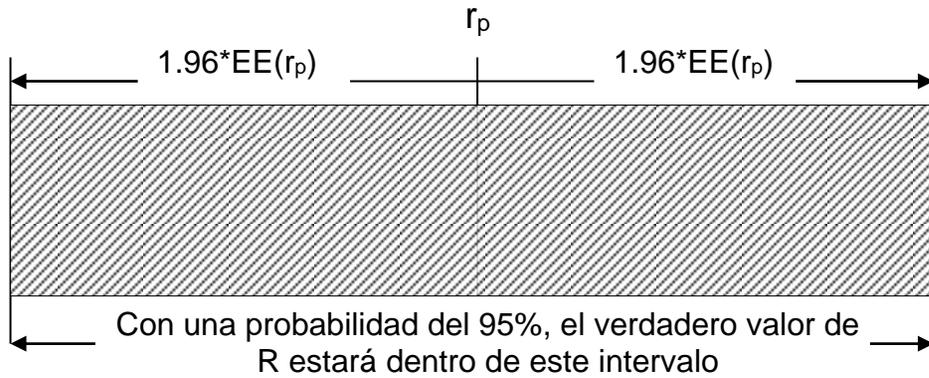
$$EE_r = \sqrt{V_r} \quad \text{Ecuación 6.4}$$

$$EE_r = \sqrt{9,57339\text{E}-05} = 0,009784$$

### Construcción del intervalo confidencial

Una vez obtenidos los datos de  $r$ ,  $V_r$  y  $EE_r$ , se construye un intervalo confidencial del cual se puede afirmar que, con una probabilidad del 95%, la verdadera medida de  $R$  estará dentro del intervalo construido.

Gráficamente, lo descrito anteriormente se representa como:



Por definición anterior:  $d = 1.96 * EE$  y los límites del intervalo son:

$$\bar{r} + 1.96 * EE$$

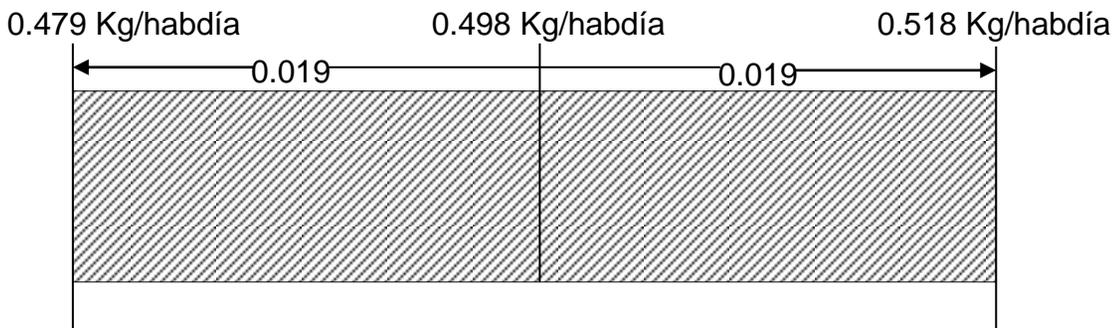
$$\bar{r} - 1.96 * EE$$

Entonces:

$$\text{Limite inferior} = 0.498 - 0.019 = 0.479$$

$$\text{Limite superior} = 0.498 + 0.019 = 0.518$$

$$d = 1.96 * 0.009784 = 0.019$$



Lo que significa que con una probabilidad del 95%, el verdadero valor de la producción per cápita de residuos sólidos en la macroruta 7, se encuentra entre 0.479 Kg/hab\*día y 0.518 Kg/hab\*día.

Construcción del intervalo de aceptación: Un valor aceptable de  $d$  está en el rango del 5% a 10% de  $r$  promedio, sin que esto afecte en grado importante los cálculos posteriores sobre el servicio del manejo de las basuras, entonces se construirá otro intervalo que será el que nos permite juzgar a  $r$  promedio y que estará construido con límites del promedio de  $r$  más o menos 0.05 del mismo promedio. Los límites del intervalo de aceptación son:

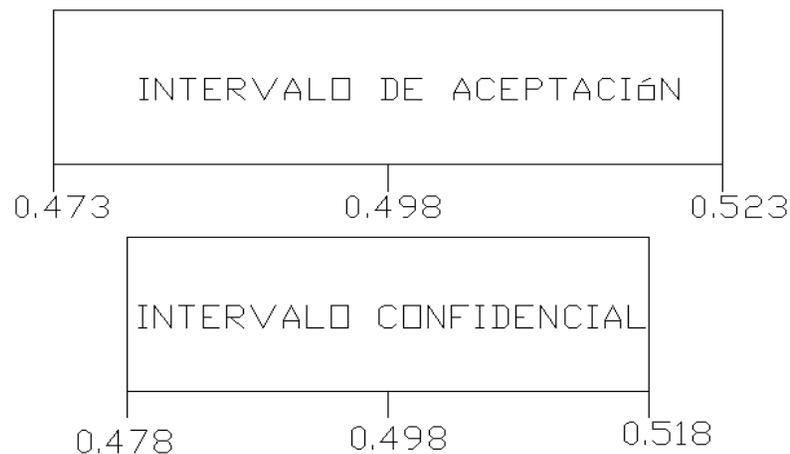
$$d = (5\% - 10\%) * r_p$$

$$d = 0.05 * 0.498 = 0.025$$

$$\text{Límite\_inferior} = 0.498 - 0.025 = 0.473$$

$$\text{Límite\_superior} = 0.498 + 0.025 = 0.523$$

Comparando los dos resultados en forma gráfica, se obtiene:



De donde se interpreta que la estimación del promedio de  $r$  es aceptable ya que los límites del intervalo confidencial están dentro del de aceptación

$$\bar{X} = \frac{34.39}{69}$$

$$\bar{X} = 0.498 \frac{Kg}{hab * dia}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - r)^2}{n-1}}$$

Ecuación 6.5

$$\delta = \sqrt{\frac{0.4492}{69-1}}$$

$$\delta = 0.0813$$

$$C.V = \frac{\delta}{\bar{X}} * 100$$

Ecuación 6.6

$$C.V = \frac{0.081}{0.498} * 100 = 16\%$$

### TEST CHI-CUADRADO

Esta prueba se utiliza como medida de la discrepancia entre las frecuencias observadas y esperadas.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k (\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i$$

Ecuación 6.7

Donde:

$\Theta$  = frecuencias observadas

$\varepsilon$  = frecuencias esperadas

Para aplicar la prueba se procede de la siguiente manera:

- La serie de datos se agrupan en clases, en este caso se utilizó la expresión de Sturges y esta dada por:

$$N^{\circ} \text{ de clases} = 1 + 3.3 \text{Log} n \quad \text{Ecuación 6.8}$$

Donde:

n = número de datos

- Se determina el intervalo de clases que es igual al valor mayor menos el menor, dividido por el número de clases.
- Se determina la frecuencia observada,  $\theta$ , para cada una de las clases.
- Se determina la función de distribución de probabilidad  $F(Y)$ , para el límite superior y el inferior de cada intervalo de clases de acuerdo a la distribución de Gumbel.

$$F(Y) = e^{-e^{-\left(\frac{y+a}{c}\right)}} \quad \text{Ecuación 6.9}$$

Donde:

Y= Valores de producción per-cápita

a,c = parámetros

El valor de los parámetros a y c están dados por:

$$a = Y_N * c - \bar{Y} \quad \text{Ecuación 6.10}$$

$$c = \frac{\delta_Y}{\delta_N} \quad \text{Ecuación 6.11}$$

Donde,  $Y_N$  y  $\delta_N$ , son funciones exclusivamente dependientes del tamaño de la serie de datos de producción per-cápita que se tengan y se obtienen de la tabla A 1.2.

- Se determina la frecuencia esperada  $\varepsilon_i$  que es igual a:

$$\varepsilon_i = n * [F(s) - F(i)] \quad \text{Ecuación 6.12}$$

Donde:

F(s)= Función del límite superior de cada clase

F(i)= Función del límite inferior de cada clase

- Se calcula el parámetro estadístico D igual a:

$$D = \sum_{i=1}^k (\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i \quad \text{Ecuación 6.13}$$

- Se determina el valor de una variable aleatoria con distribución  $X^2$  para los grados de libertad y un nivel de significancia  $\alpha$ , el cual se toma generalmente como 1% o 5%. Los grados de libertad están dados por:

$$v = k - 1 - m \quad \text{Ecuación 6.14}$$

Donde:

k= número de clases

m= número de parámetros estadísticos estimados a partir de los datos.

El valor de  $X^2$  para  $1-\alpha$  y  $k-1-m$ , grados de libertad, se obtiene de la tabla A 1.3

- Para aceptar la función de la distribución empleada se debe cumplir:

$$D \leq X^2_{1-\alpha} \text{ y } k-1-m$$

Se sigue el procedimiento de los cálculos descritos anteriormente y los resultados correspondientes se presentan a continuación:

$$N^{\circ} \text{ de clases} = 1 + 3.3 \text{Log} 69 = 7.06 \approx 7 \text{ Clases}$$

$$\text{Intervalo\_de\_Clases} = \frac{0.815 - 0.296}{7} = 0.074$$

$$Y_N = 0.5545, \delta_N = 1.1843 \text{ Tabla A 1.2}$$

$$c = 0.06864, a = -0,46036 \text{ Ecuaciones 6.10 y 6.11 respectivamente.}$$

De la ecuación 7.9 (Gumbel), se despeja  $F(Y)$ , para los límites superior e inferior  $F(i)$  y  $F(s)$ .

**Tabla 6.11.** Cálculo de las funciones para el límite inferior y superior de cada clase y el parámetro estadístico **D**.

Nº	CLASE	Nº observa.	F(i)	F(s)	$\epsilon$	$\theta$	$(\theta-\epsilon)^2/\epsilon$
1	0,296-0,37	2	0,000	0,024	1,655	2	0,072
2	0,37-0,444	16	0,024	0,281	17,737	16	0,170
3	0,444-0,518	26	0,281	0,649	25,407	26	0,014
4	0,518-0,592	20	0,649	0,863	14,769	20	1,853
5	0,592-0,666	3	0,863	0,951	6,065	3	1,549
6	0,666-0,74	1	0,951	0,983	2,202	1	0,656
7	0,74-0,814	1	0,983	0,994	0,766	1	0,072
							D =4,385

Porcentaje de no excedencia, al nivel de significancia del: 5%

Parámetros de la función de Gumbel: 2 (la media y la desviación estándar)

Grados de libertad:  $v = 4$ , Ecuación 6.14

De la tabla A 1.3 se obtiene el valor  $X^2_{4, 95\%}=9.49$ , luego,  $9.49 > 4.385$ , por lo tanto se acepta la hipótesis de la distribución de Gumbel, pues el estadístico  $D > \text{Chi cuadrado}$ , por lo tanto los datos se ajustan a dicha distribución.

Intervalo de Confianza: Un procedimiento para determinar el intervalo de confianza de la media, es el dado por:

$$\text{Intervalo\_de\_confianza} = \bar{X} \pm tc \frac{\delta}{\sqrt{n-1}}, \text{ para muestras pequeñas} \quad \text{Ecuación 6.15}$$

Y si la población es infinita de tamaño **N**, o si el muestreo se hace con reemplazamiento, el intervalo de confianza se puede calcular, así:

$$\text{Intervalo\_de\_confianza} = \bar{X} \pm Z_c \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

Si los datos recolectados, se analizan como muestra pequeña se tiene:

$$\bar{X} = 0.498 \text{Kg} / \text{hab} * \text{dia}$$

$$\text{Grados de libertad} = 69 - 1 = 68$$

**tp** se lee de la tabla A 1.4, según el porcentaje de confianza que se quiera, así para un 95% de confianza.

$$C = \frac{100 - 95}{2} + 95 = 97.5$$

$t_{97.5}$  se obtiene de la tabla anteriormente mencionada, luego  $t_{97.5} = 2$  y  $\delta = 0.0813$

$$\text{Intervalo\_de\_confianza} = 0.498 \pm 2.00 * \frac{0.0813}{\sqrt{69 - 1}}$$

$$\text{Intervalo de confianza} = 0.4978 - 0.5177$$

Con un 95% de certeza el verdadero valor de la producción per cápita se encuentra

$$\text{dentro del rango: } 0.4978 \frac{\text{Kg}}{\text{hab} * \text{día}} - 0.5177 \frac{\text{Kg}}{\text{hab} * \text{día}}$$

Evaluándola como una muestra infinita

Zc: para un 95% de certeza, el área bajo la curva=0.95 y el área de 0→Z=0.475 y de la tabla A 1.1, Zc =1.96

δ=0.0813

N=69

$$\text{Intervalo\_de\_confianza} = 0.498 \pm 1.96 * \frac{0.0813}{\sqrt{69}}$$

Con un 95% de certeza el verdadero valor de la producción per cápita se encuentra

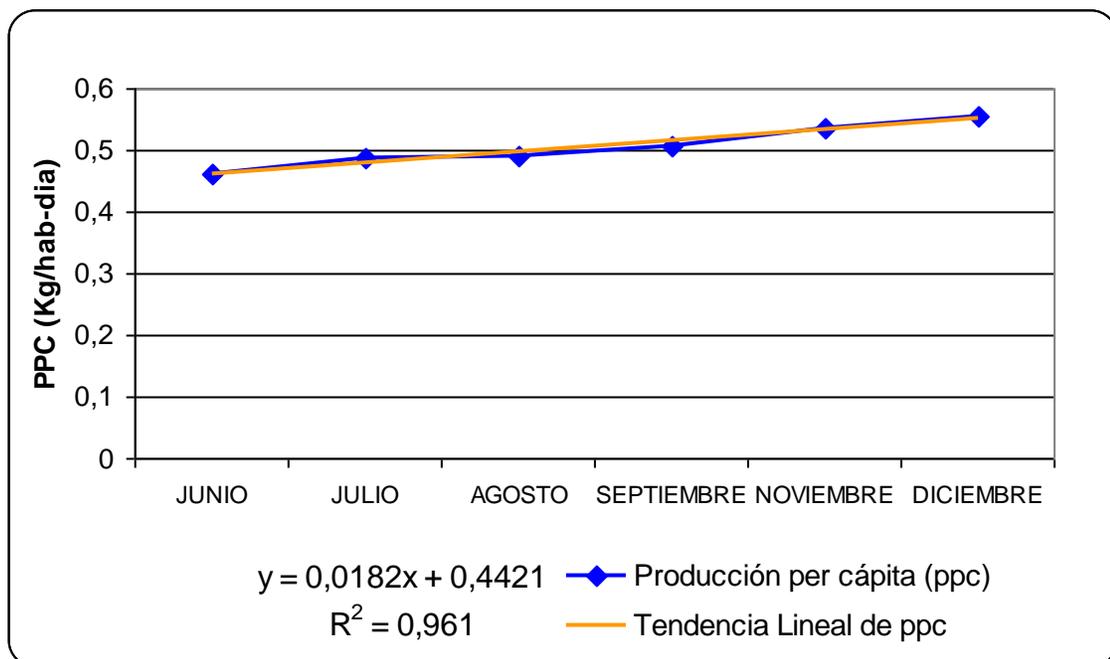
dentro del rango:  $0.4979 \frac{Kg}{hab * día} - 0.5171 \frac{Kg}{hab * día}$

**Tabla 6.12.** Valores máximos, mínimos y promedio o verdaderos de generación de residuos sólidos producidos en la macroruta 7.

Factor	Rango	Típico
<b>Valores punta de la generación de residuos (Kg/Hab*día)</b>		
Día punta	0.53-0.80	0.67
Semana punta	0.55-0.80	0.68
Mes punta	0.54	0.54
<b>Valores mínimos de la generación de residuos (Kg/Hab*día)</b>		
Día mínima	0.30-0.49	0.40
Semana mínima	0.32-0.49	0.41
Mes mínimo	0.43-0.49	0.46
<b>Valores promedio o verdaderos de la generación de residuos (Kg/Hab*día)</b>		
Día medio	0.50-0.52	0.51
Semana media	0.50-0.52	0.51
Mes media	0.50-0.52	0.51

En la gráfica 6.1 se observan los valores promedios mensuales de producción per cápita de residuos sólidos en la macrorruta 7, presentando ésta un comportamiento lineal creciente a través del tiempo.

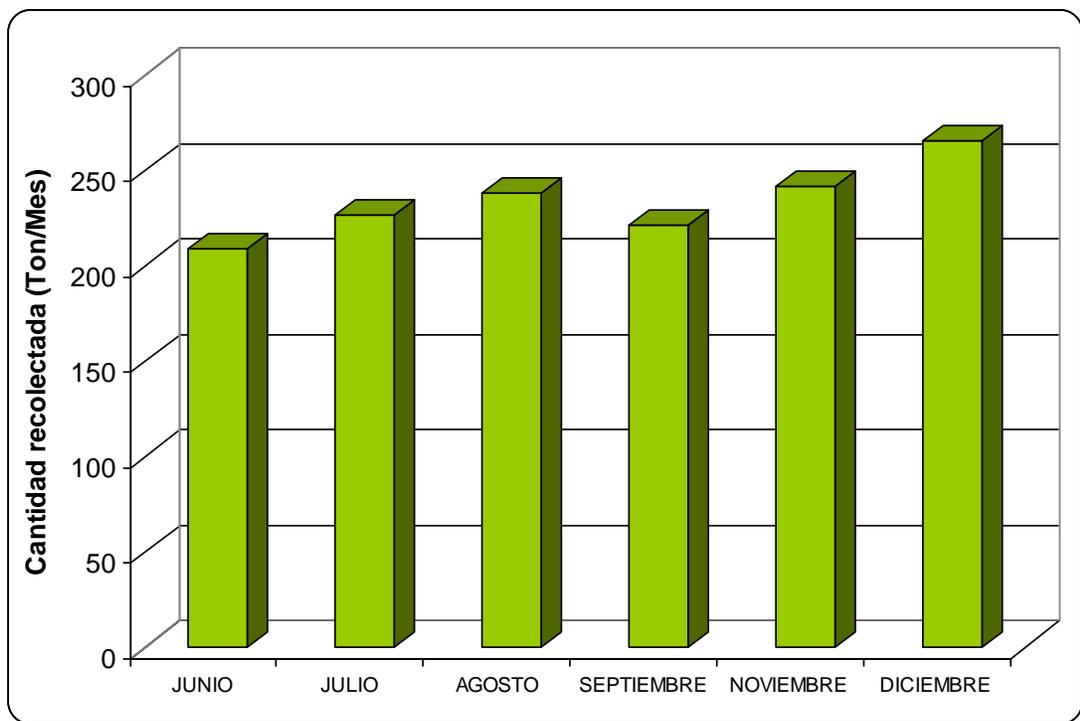
**Gráfica 6.1.** Producción per cápita promedio mensual para la macrorruta 7.



**6.5.2 Tasas de recolección de residuos sólidos.** Las cantidades generadas y recolectadas de residuos sólidos varían diariamente, semanalmente, mensualmente y estacionalmente. En la gráfica 6.2 se observan las variaciones mensuales en las cantidades de residuos sólidos producidos en la zona de recolección de la macrorruta 7; estas diferencias se pueden justificar por la cantidad del material: 1) fermentado, 2) quemado, 3) arrojado a las alcantarillas, 4) donado a agencias de caridad, 5) vendido a centros de reciclaje, 6) reciclado diariamente; adicionalmente, a variaciones dadas por el clima, la frecuencia de recolección, el ingreso *per cápita*, los cambios de consumo (aceptabilidad de

alimentos empacados y de preparación rápida) entre otros; como se ve en la gráfica 6.2 factores como las costumbres sociales, y las temporadas de vacaciones también influyen en la producción de residuos, por ejemplo, en los meses de agosto y diciembre se puede observar un aumento en la cantidad de estos.

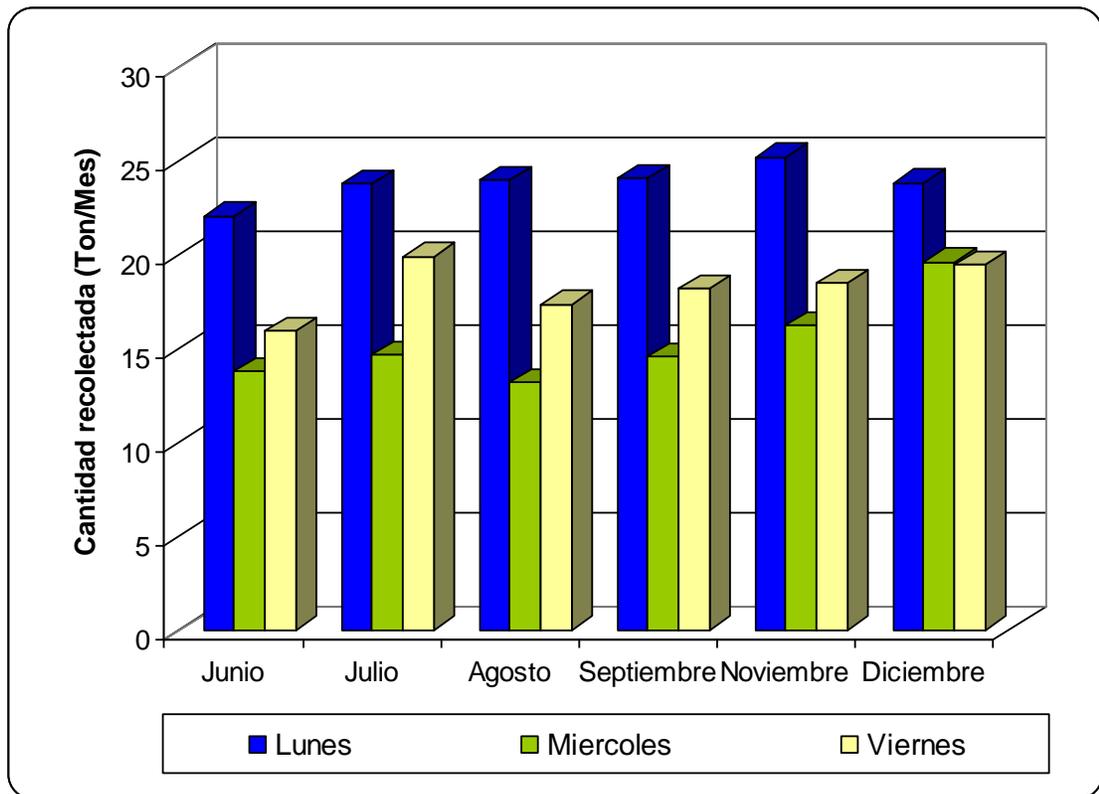
**Gráfica 6.2.** Variación en la cantidad mensual de residuos sólidos de la macrorruta 7 en un periodo de seis meses.



La diferencia de cantidad de residuos sólidos por día, se presenta por las variaciones en el periodo de frecuencias, en este caso en particular (macrorruta 7), los días de recolección son los lunes, miércoles y viernes, por lo tanto se tiene un día de periodo igual a tres que corresponde al día lunes, y los días miércoles y viernes presentan un periodo igual a 2, por lo tanto es lógico pensar que el día

lunes la cantidad de residuos aumenta considerablemente, el 35.7% más que el miércoles y el 23.5% más que el viernes en cantidad de residuos sólidos. En la gráfica 6.3 se observa la variación diaria/mensual de residuos sólidos correspondientes al sector de la macroruta 7.

**Gráfico 6.3.** Variación de la cantidad diaria/ mensual de residuos sólidos de la macroruta 7 en un periodo de seis meses.



### 6.5.3 Tiempos de macroruteo

En la tabla 6.13 se presentan los datos obtenidos en campo de los tiempos de la macroruta 7 mientras se realizaba el proceso de recolección de residuos sólidos.

**Tabla 6.13.** Tiempos de la macroruta 7.

DIA	Viajes	TIEMPOS DE LA MACRORUTA (min.)									
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	TR
Miércoles	1	15	14	10	10	20	20	0	0	295	295
Viernes	1	15	13	10	8	25	20	0	8	314	337
	2			8	4					23	
Lunes	1	15	10	10	10	10	25	0	9	230	355
	2			10	5					125	
Miércoles	1	15	16	13	10	20	28	0	0	274	274
Viernes	1	15	12	14	11	15	23	0	12	266	277
	2			12	5					11	
Lunes	1	15	19	14	10	15	24	0	12	243	353
	2			15	6					110	
<b>Promedio *</b>		15	14	11	10	20	23	0	10		296
<b>Promedio **</b>		15	15	12	10	13	25	0	11		354

**Nota:** Promedio \* días con periodo de recolección N=2, Promedio \*\* días con periodo de recolección N=3

T1: Chequeo inicial en el garaje antes de salir a la ruta (15 min.)

T2: Tiempo de viaje desde el garaje hasta el inicio de la ruta. (Variable aproximadamente 14 min.)

T3: Tiempo de viaje desde el fin de la ruta hasta el sitio de disposición final. (Variable aproximadamente 12 min.)

T4: Tiempo de descarga de los desechos sólidos en el sitio de disposición final. (10 min. para el primer viaje. y 5 min. para el segundo viaje)

T5: Tiempo para almorzar. (18 min.)

T6= Tiempo de viaje desde el sitio de disposición final hasta el garaje, al final del día laboral. (Variable aproximadamente 23 min.)

T7: Tiempo requerido para limpieza del equipo y para reparaciones menores del vehículo. (No se presentaron)

T8: Tiempo para el viaje, desde el sitio de disposición hasta el sitio de recolección para continuar recogiendo residuos sólidos. (10 min.)

T9: Tiempo de recolección en la ruta en cada viaje.

TR: Tiempo total de recolección en la ruta. (349 min.)

Las variaciones que se presentan en los tiempos de viaje T2 y T3 se deben a las condiciones del tráfico; en el caso del tiempo de viaje desde el fin de la ruta hasta el sitio de disposición final, también influye el factor del peso de los residuos sólidos en el vehículo, ya que a mayor cantidad de RS la velocidad de viaje decrece. El tiempo de recolección en la ruta en cada viaje T9 es diferente debido a

que en el primer viaje se atiende a la mayor parte de usuarios y para el segundo son pocas las casas que quedan por servir.

Para los días de periodo de recolección N=3 los operarios utilizan menos tiempo para descansar debido a que la jornada es mas larga por la gran cantidad de residuos que salen.

Tiempo Normal de Recolección (TN).

- Periodo de recolección N=2

$$TN = (1 + S) * \left( \frac{7}{N} \right) \left\{ \frac{T_4 + 2E/V_C}{1000f * P_C} \left[ \sum_{i=1}^n m_i * \partial_i(P_{PC})i \right] + \sum_{i=1}^n \frac{m_i * \partial_i(P_{PC})i}{a + b * \partial_i} \right\}$$

$$\frac{2E}{V_C} = T_3 + T_8 = 11 + 10 = 21 \text{ min}$$

$$S = \frac{T_1 + T_2 + T_5 + T_6 + T_7}{T_{TOTAL}} = \frac{15 + 14 + 20 + 23 + 0}{399} = 0.18$$

$$TN = (1 + 0.18) * \left( \frac{7}{2} \right) \left\{ \left[ \frac{10 + 21}{1000 * 0.95 * 16.2} (60 * 270 * 0.498) \right] + \frac{(60 * 270 * 0.498)}{52.63} \right\}$$

$$TN = 800 \text{ min}$$

- Periodo de recolección N=3

$$\frac{2E}{V_C} = T_3 + T_8 = 12 + 11 = 23 \text{ min}$$

$$S = \frac{T_1 + T_2 + T_5 + T_6 + T_7}{T_{TOTAL}} = \frac{15 + 15 + 13 + 25 + 0}{455} = 0.15$$

$$TN = (1 + 0.15) * \left(\frac{7}{3}\right) \left\{ \left[ \frac{10 + 23}{1000 * 0.95 * 23.8} (60 * 270 * 0.498) \right] + \frac{(60 * 270 * 0.498)}{66.67} \right\}$$

$$TN = 458 \text{ min}$$

#### 6.5.4 Cálculo del rendimiento y velocidad de recolección

Para el cálculo del rendimiento de recolección Hombre minuto/ Tonelada se tomo el tiempo efectivo de recolección expresado en minutos para cada día de la semana en los que se presta el servicio de aseo para el sector que corresponde a la macroruta 7, de igual manera se registraron los pesos promedio en toneladas para cada día, con estos datos se procedió a multiplicar el número de hombres en la cuadrilla, que para este caso son tres por el tiempo efectivo de recolección y este resultado se divide por las toneladas recolectadas en dicho tiempo. En la tabla 6.14 se presenta los datos obtenidos de tiempo y peso para cada día y los resultados del rendimiento de recolección de residuos sólidos.

**Tabla 6.14.** Rendimiento de recolección de residuos sólidos.

<b>VARIABLE \ DIA</b>	<b>LUNES</b>	<b>MIERCOLES</b>	<b>VIERNES</b>
<b>Tiempo Efectivo de Recolección (Min)</b>	354	285	307
<b>Peso Promedio (Ton)</b>	23.81	15.33	17.72
<b>Rendimiento (Hom-Min/Ton)</b>	44.6	55.77	51.98
<b>Rendimiento (Min/Ton)</b>	14.87	18.59	17.33

El rendimiento de recolección de RSD esta entre 45 Min-hombre/ton y 56 Min-hombre /ton, es decir, un operario se demora de 15 a 19 min en recolectar una tonelada de RSD; para la cuadrilla de 3 hombres de la macroruta 7(sin contar al conductor), según Collazos y Duque<sup>7</sup>, para efectos de diseño en Colombia, comúnmente se está utilizando un rendimiento de 120 Minutos-hombre/tonelada que equivale a 40 minutos/tonelada, para las cuadrillas de 3 hombres, lo que permite afirmar que el porcentaje de eficiencia esta entre 267% y 211% más que el reportado por Collazos.

Según Unda y Salinas<sup>8</sup>, en un distrito de alta densidad de población se justifican cuadrillas de 4 hombres contando el conductor, para este caso el orden de manipulación es de 500 recipientes por día y operario; la macroruta 7 actualmente sirve a un total de 2701 casas, lo que implica que cada operario recoge aproximadamente 900 recipientes; esto confirma una alta eficiencia de recolección por parte de los operarios, es decir los operarios presentan una eficiencia del

<sup>7</sup> COLLAZOS, H. y DUQUE, R. Residuos sólidos. Santa fe de Bogotá, D.C., Colombia: Panamericana Formas e Impresos, 1998.P. 54

<sup>8</sup> UNDA, Francisco y SALINAS, Sergio. Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública. México, D.F, Editorial LIMUSA, 2002. p 474.

180% más que la citada por estos autores, para estudios que se realizaron en trece ciudades de California.

La velocidad de recolección está dada por los kilogramos que se recolectan por cada minuto, en este caso de estudio la velocidad de recolección es del orden de:

$$\frac{1Ton}{19min} * \frac{1000Kg}{1Ton} = 52.63 \frac{Kg}{min}, \text{ para los días de recolección de } N=2$$

$$\frac{1Ton}{15min} * \frac{1000Kg}{1Ton} = 66.67 \frac{Kg}{min}, \text{ para los días de recolección de } N=3$$

En general el rango de velocidad de recolección por parte de los operarios esta entre 52.63 y 66.67 kilogramos por minuto, lo cual corrobora la alta eficiencia por parte de los operarios.

**6.5.5 Densidad de los residuos sólidos en el recipiente.** Para determinar la densidad de los RS en el recipiente se utiliza la siguiente expresión:

$$S = \frac{W}{V} = \frac{Peso}{\pi * (D/2)^2 * (H - h)}$$

Donde:

S: Densidad de los residuos sólidos

W: Peso de los residuos sólidos

V: Volumen del residuo sólido

D: Diámetro del cilindro= 0.525 m

H: Altura total del cilindro=0.88m

h: Altura libre de residuos sólidos

$\pi$ : Constante (3.1416)

$$S = \frac{W}{V} = \frac{41.7}{\pi * (0.575/2)^2 * (0.88 - 0.1)} = 205.647 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Los valores de los pesos y densidad de los residuos sólidos se muestran en la tabla 6.15, estos fueron obtenidos del muestreo que se realizo en la zona.

**Tabla 6.15.** Densidad de los residuos sólidos en el recipiente

Peso (Kg)	Altura libre (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )
43.7	0.0	0.229	191.020
42.0	0.0	0.229	183.589
50.0	0.0	0.229	218.559
40.1	0.0	0.229	175.284
38.0	0.0	0.229	166.105
43.5	0.0	0.229	190.146
41.7	0.1	0.203	205.647
<b>Promedio</b>			<b>190.050</b>

Los residuos sólidos generados por la población atendida de la macrorruta 7 presentan una densidad aproximada de 190 Kg/m<sup>3</sup>, los datos de densidades en el recipiente reportadas por Calderón y Zambrano (2001) están entre 120 Kg/m<sup>3</sup> a 160 Kg/m<sup>3</sup> y datos más recientes dados por Davis y Masten (2005) reportan densidades en el recipiente entre 180 Kg/m<sup>3</sup> y 450Kg/m<sup>3</sup>, al comparar los datos obtenidos en el campo con los registrados en la literatura se observa que la densidad calculada esta dentro de estos rangos, lo cual implica que la metodología utilizada fue la apropiada para realizar este tipo de mediciones.

**6.5.6 Densidad de los residuos sólidos en el carro recolector.** Utilizando el valor del volumen de la tolva y los pesos de los residuos sólidos en el carro (totalmente lleno) se calcula el promedio de la densidad del R.S en el vehículo recolector. La tolva del vehículo recolector que sirve a la macrorruta 7 es de 25 Yd<sup>3</sup>, que equivale a 19.11 m<sup>3</sup>; los pesos que se reportan en la tabla 6.16 fueron datos tomados del registro de ingreso de los carros recolectores del relleno sanitario “el ojito”, para los meses de noviembre, diciembre y del muestreo que se realizó a finales de enero y principios de febrero.

**Tabla 6.16.** Densidad de los residuos sólidos en el carro recolector

<b>Peso (Kg)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
14.6	19.11	763.998
14.9	19.11	779.696
14.1	19.11	737.834
14.8	19.11	774.464
15.1	19.11	790.162
15.4	19.11	805.861
16.4	19.11	858.189
14.4	19.11	753.532
15.0	19.11	784.929
15.5	19.11	811.094
14.8	19.11	774.464
15.0	19.11	784.929

<b>Peso (Kg)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
14.8	19.11	774.464
15.9	19.11	832.025
14.4	19.11	753.532
14.8	19.11	753.532
15.5	19.11	774.464
15.8	19.11	811.094
15.5	19.11	826.792
16.5	19.11	811.094
14.8	19.11	863.422
14.8	19.11	774.464
	<b>Promedio</b>	<b>790.638</b>

La densidad promedio de los residuos sólidos en el carro recolector es de 790.6 Kg/m<sup>3</sup>, esta densidad es bastante alta lo que implica que los carros de recolección tienen una alta capacidad de compactación, este factor se puede presentar debido a que los carros de recolección son nuevos y por lo tanto tienen un alto desempeño.; adicionalmente Davis y Masten (2005) reportan que la densidad de los residuos sólidos bien compactados puede ser de 600 Kg/m<sup>3</sup> a 750 Kg/m<sup>3</sup>.

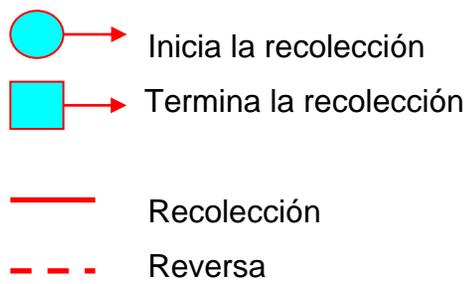
**6.5.7 Ruta de recolección.** En la macroruta 7 se hace la recolección de los residuos mediante dos métodos, método de parada fija y método en acera. La ruta no realiza la recolección en un 100% por el método de acera debido a que existen calles en donde la cantidad de residuos sólidos a recoger es mínima pues son calles cortas en las que hay escasamente de una a cuatro casas, lo que no amerita que el carro recolector pase por estas calles sino que los usuarios dispongan los RS en las esquinas, el patrón de recolección se observa en la figura 6.6.

El número de casas servidas se obtuvo mediante un conteo directo en la zona en la figura 6.7 se muestran el número de casas que hay en cada calle y con ayuda

del trazado del patrón de recolección se observó que calles no son atendidas mediante el método de parada acera y de esta manera se obtuvo que el porcentaje de casas servidas mediante el método de parada fija es de 12.14% , que equivale 328 casas, por el método de acera se sirve un 87.86 % correspondiente a 2373 casas, para un total de 2701 casas.

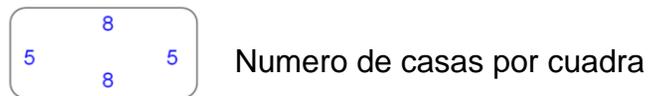
Adicionalmente, en el mapa se señaló la delimitación de la zona, así como las vías en mal estado y las instituciones educativas y religiosas que hay en la zona de estudio (ver figura 6.8).

**Figura 6.6.** Patrón actual de recolección de desechos sólidos en la macrorruta 7.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.7.** Número de viviendas atendidas por cuadra



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.8.** Vías en mal estado en la macrorruta 7.



Fuente: Elaboración propia

**6.5.8 Aplicación del algoritmo del cartero chino para una red par.** El propósito de este algoritmo es determinar la ruta de longitud mínima en una red no dirigida donde todos los nodos tienen grado par.

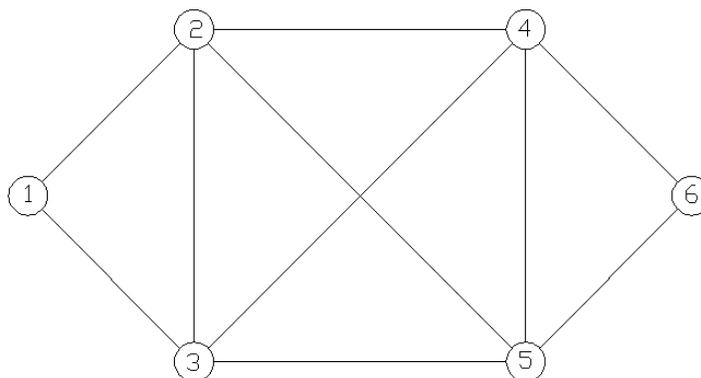
Descripción: Sea  $s$  el origen de la ruta. Se etiquetan todos los arcos con “no usados”. Sea  $t=s$  ( $t$  representa el último nodo visitado). Sean  $U$  y  $V$  dos conjuntos vacíos de arcos, que representan la ruta parcialmente completa y la sucesiva mini-ruta respectivamente.

1. Se encuentra cualquier arco entre  $t$  y  $q$  (otro nodo) que no ha sido usado. Se usa y agrega a  $U$ . Haga  $t=q$ .

2. Si  $t$  es igual a  $s$ , se hace el paso 3; de otra manera se regresa al paso 1.

3. Se inserta  $U$  en  $V$ , en el punto  $V$  donde  $s$  se toca por primera vez;  $U$  se convierte en vacío. Se busca un nodo  $t$  visitado en  $V$ , pero que tiene arcos incidentes no usados. Si no existe este nodo, entonces se para, la ruta se completo; de otra forma, sea  $s=t$  y regrese al paso 1.

A manera de ejemplo, se considera la siguiente red par:



Según el algoritmo dado para redes pares, la ruta del cartero chino se encuentra de la siguiente forma:

$s$ = origen de la ruta

$t$ = último nodo visitado

$U=\{\emptyset\}$

$V=\{\emptyset\}$

El conjunto de arcos de la red es:

$A=\{(1,2),(1,3),(2,4),(2,3),(2,5),(3,4),(3,5),(4,5),(4,6),(5,6)\}$

1ª iteración

$s=1$

$t=1$

$q=2$

$\therefore$

$U=\{(1,2)\}$

2ª iteración

$t=2$

$q=4$

$\therefore$

$U=\{(1,2),(2,4)\}$

3ª iteración

$t=4$

$q=5$

$\therefore$

$U=\{(1,2),(2,4),(4,5)\}$

4ª iteración

$t=5$

$q=6$

$\therefore$

$U=\{(1,2),(2,4),(4,5),(5,6)\}$

5ª iteración

$t=6$

$q=4$

$\therefore$

$U=\{(1,2),(2,4),(4,5),(5,6),(6,4)\}$

6ª iteración

$t=4$

$q=3$

$\therefore$

$U=\{(1,2),(2,4),(4,5),(5,6),(6,4),(4,3)\}$

7ª iteración

$t=3$

$q=1$

$\therefore$

$U=\{(1,2),(2,4),(4,5),(5,6),(6,4),(4,3),(3,1)\}$

$s=t$

$V=U=\{(1,2),(2,4),(4,5),(5,6),(6,4),(4,3),(3,1)\}$

$U=\{\emptyset\}$

8ª iteración

$t=3$

$q=2$

$\therefore$

$U=\{(3,2)\}$

9ª iteración

$t=2$

$q=5$

$\therefore$

$U=\{(3,2),(2,5)\}$

10ª iteración

$t=5$

$q=3$

$\therefore$

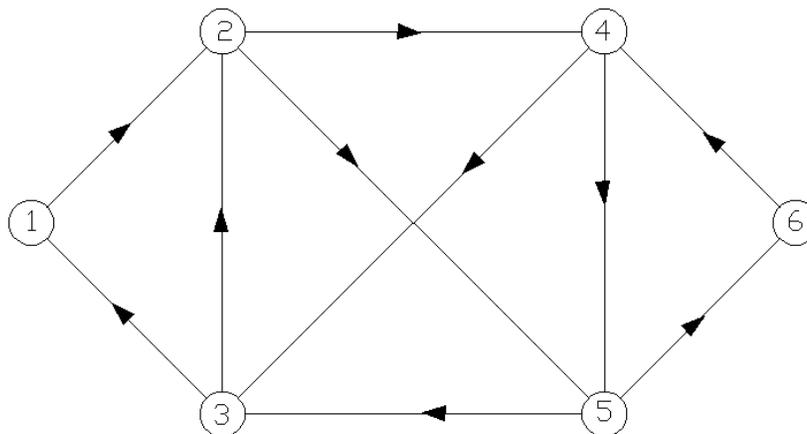
$U=\{(3,2),(2,5),(5,3)\}$

Se inserta U en V

$U \rightarrow V = \{(1,2),(2,4),(4,5),(5,6),(6,4),(4,3),$   
 $(3,2),(2,5),(5,3),(3,1)\}$

Fin

Por lo tanto, para una red par la solución es la siguiente:



La cual recorre todos los arcos de la red.

**6.5.8 Aplicación del algoritmo del cartero chino para una red impar.** Cuando se tiene una red que no es par, entonces algunos arcos deben transitarse más de una vez. El objetivo es seleccionar aquellos que hagan la distancia total recorrida mínima. La longitud de la ruta es la longitud de los arcos que se repiten, más la longitud total (costo fijo) de todos los arcos de la red.

Para encontrar el mejor de estos conjuntos, se pone primero la atención en los nodos de orden impar. Puesto que cada visita a un nodo requiere el uso de dos arcos es evidente que al menos uno de los arcos que terminan en un nodo impar deberá usarse dos veces. De modo que la primera parte del método es encontrar todos los nodos de orden impar y entonces encontrar la distancia más corta entre ellos.

Para completar la ruta Euleriana se deberán incluir las trayectorias entre los nodos impares. Estos nodos deberán estar aparejados, esto es, deberá especificarse que pares de nodos impares se conectan por medio de una trayectoria, de tal manera que la distancia total de los aparejamientos sea mínima. Si existen únicamente dos nodos impares, se tiene un único y posible aparejamiento. Sin embargo, si hay cuatro nodos impares, digamos  $a, b, c, d$ , existen tres posibles aparejamientos:  $\{(a, b), (c, d); (a, c), (b, d); (a, d), (b, c)\}$ ; si hay seis nodos impares, entonces hay quince posibles aparejamientos. Una vez que se encuentra el aparejamiento óptimo, las trayectorias correspondientes se agregan a la red original, convirtiéndola en una red par y se encuentra, en esta red extendida, una ruta de Euler.

El propósito de este algoritmo es determinar la ruta de longitud mínima en una red no dirigida, cual quiera que sea.

#### Descripción:

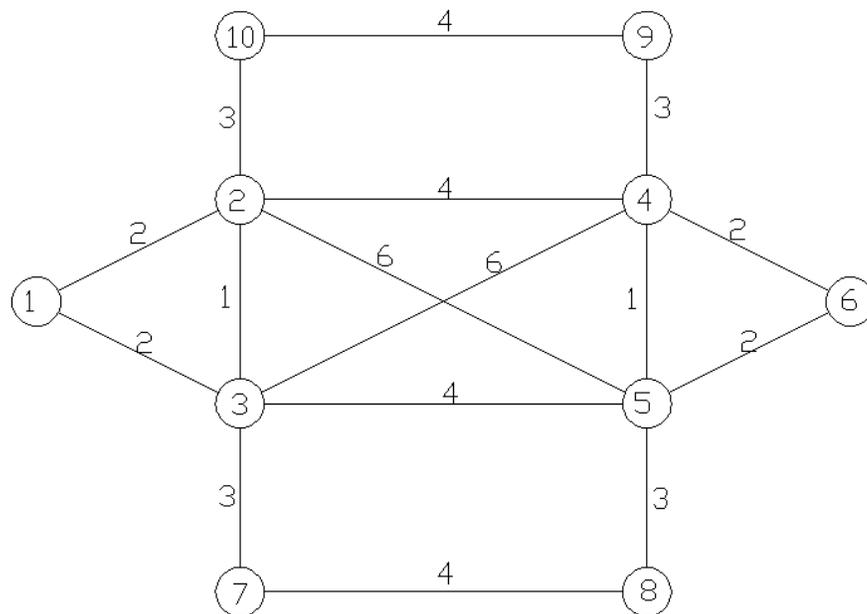
1. Se determina si el orden de cada nodo y de la red  $(N, A)$  es par o impar. Sea  $S = \{i_1, i_2, \dots, i_{2p}\}$  el conjunto de todos los nodos impares. Si  $S$  es vacío, se va al paso 4.

2. Usando la matriz  $D$  de longitudes de los arcos se calcula los  $2P \times 2P$  matriz de distancias más cortas entre los miembros de  $S$ , usando una rutina de trayectoria más corta entre los dos nodos.

3. Se encuentran las parejas de miembros de  $S$  que tienen mínima longitud total. Usando este apareamiento, se hallan las trayectorias que corresponden a estas distancias más cortas y se agregan los arcos de esta trayectoria  $A$  formando el conjunto  $A^*$ .

4. Se encuentra la ruta de Euler en  $(N, A^*)$  que es una gráfica no dirigida par.

Se consideró como ejemplo, la siguiente red impar:



Sea  $S$  el conjunto de todos los nodos impares de la red.

$$S = \{2, 4, 3, 5\}$$

El conjunto de arcos de la red es:

$$A = \{(1,2), (2,4), (1,3), (3,2), (2,5), (3,4), (3,5), (4,5), (4,6), (6,5), (2,10), (10,9), (9,4), (3,7), (7,8), (8,5)\}$$

**Figura 6.9** Matriz de distancias más cortas entre los miembros de S.

	2	4	3	5
2	0	4	1	6
4	4	0	6	1
3	1	6	0	4
5	6	1	4	0

Como son cuatro nodos impares existen tres posibilidades de emparejamientos [(2,3), (4,5); (2,4), (3,5); (4,3), (2,5)]

**Tabla 6.17.** Distancia total de los emparejamientos

Emparejamientos	Distancia Total
[(2,3); (4,5)]	2
[(2,4); (3,5)]	8
[(4,3); (2,5)]	12

Como se observa en la tabla anterior la distancia total mínima es de 2 y corresponde al emparejamiento [(2,3), (4,5)]; luego este conjunto de arcos se agrega al conjunto de arcos de la red A formando el conjunto A\*.

$A^* = \{(1,2), (2,4), (1,3), (3,2), (2,5), (3,4), (3,5), (4,5), (4,6), (6,5), (2,10), (10,9), (9,4), (3,7), (7,8), (8,5), (2,3), (4,5)\}$

1ª iteración

s=1

t=1

q=2

∴

U={{(1,2)}}

2ª iteración

t=2

q=10

∴

U={{(1,2),(2,10)}}

3ª iteración

t=10

q=9

∴

U={{(1,2),(2,10),(10,9)}}

4ª iteración

t=9

q=4

∴

U={{(1,2),(2,10),(10,9),(9,4)}}

5ª iteración

t=4

q=6

∴

U={{(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6)}}

6ª iteración

t=6

q=5

∴

U={{(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5)}}

7ª iteración

t=5

q=4

∴

U={{(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5), (5,4)}}

8ª iteración

t=4

q=2

∴

U={{(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5), (5,4), (4,2)}}

9ª iteración

t=2

q=5

∴

U={{(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5), (5,4), (4,2),(2,5)}}

10ª iteración

t=5

q=8

∴

U={{(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5), (5,4), (4,2),(2,5), (5,8)}}

10ª iteración

t=8

q=7

∴

U={{(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5), (5,4), (4,2),(2,5), (5,8), (8,7)}}

11ª iteración

t=7

q=3

∴

U={(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5), (5,4),  
(4,2),(2,5), (5,8), (8,7), (7,3)}

12ª iteración

t=3

q=1

∴

U={(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5), (5,4),  
(4,2),(2,5), (5,8), (8,7), (7,3), (3,1)}

s=t

V=U={(1,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5),  
(5,4), (4,2),(2,5), (5,8), (8,7), (7,3), (3,1)}

U={∅}

13ª iteración

t=2

q=3

∴

U={(2,3)}

14ª iteración

t=3

q=5

∴

U={(2,3), (3,5)}

15ª iteración

t=5

q=4

∴

U={(2,3),(3,5),(5,4)}

16ª iteración

t=4

q=3

∴

U={(2,3),(3,5),(5,4), (4,3)}

17ª iteración

t=3

q=2

∴

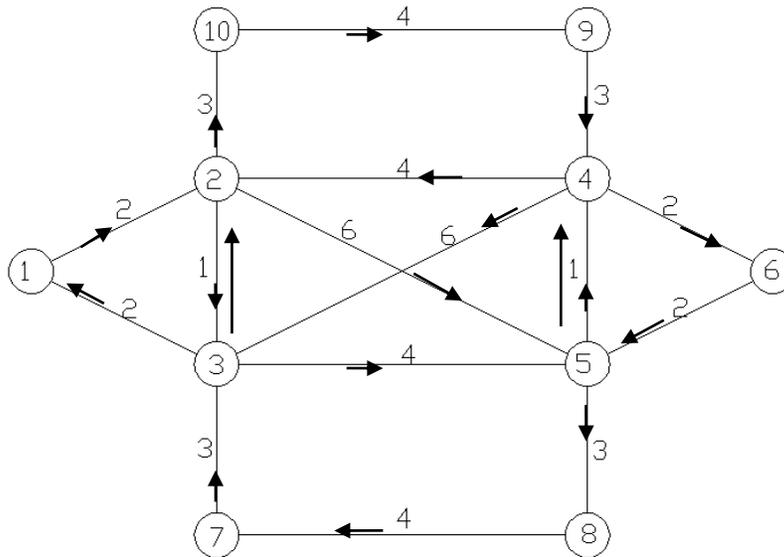
U={(2,3),(3,5),(5,4), (4,3), (3,2)}

Se inserta U en V

U→V={(1,2), (2,3),(3,5),(5,4), (4,3),  
(3,2),(2,10),(10,9),(9,4),(4,6),(6,5),  
(5,4), (4,2),(2,5), (5,8), (8,7), (7,3),  
(3,1)}

Fin

Por lo tanto, la solución es la siguiente:



### 6.6 PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RUTA 7

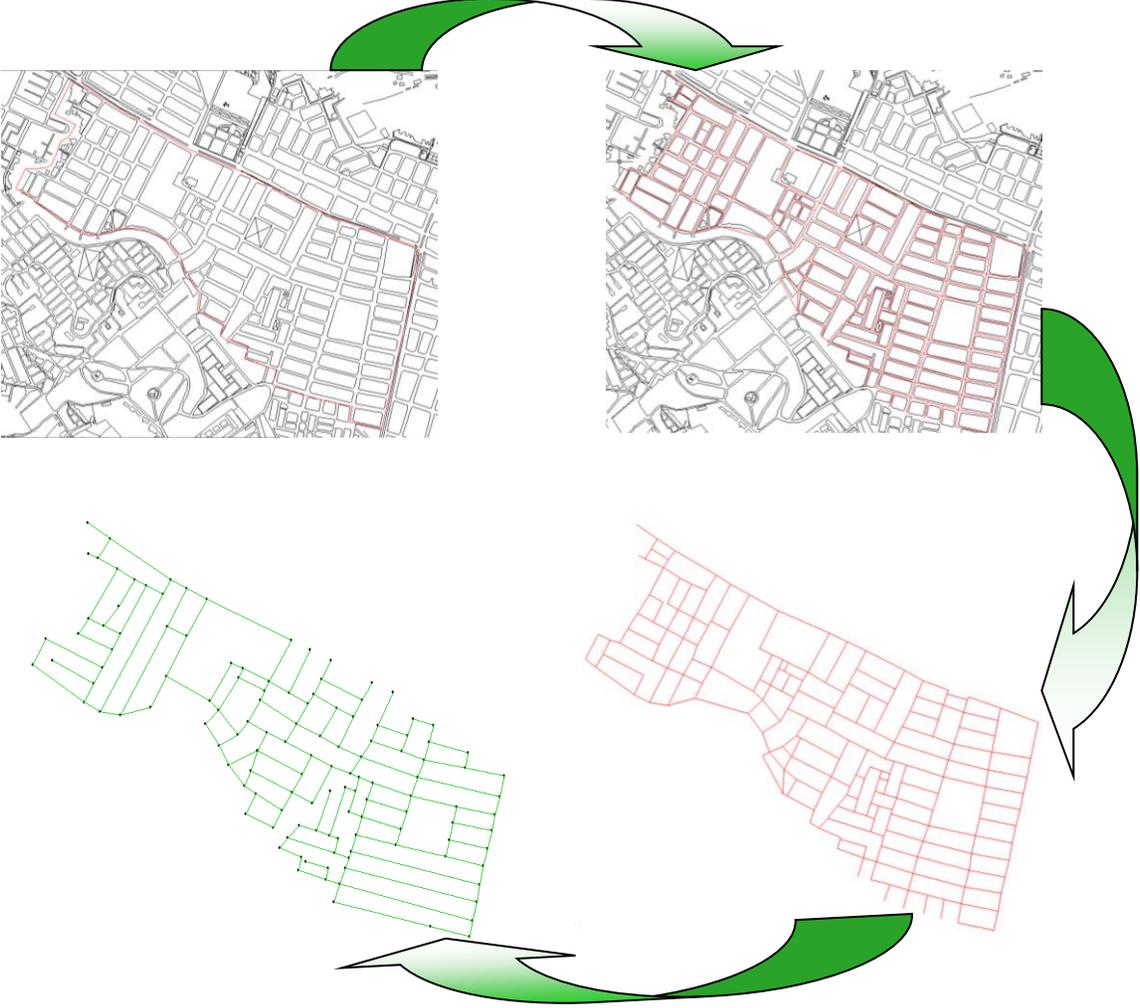
El método utilizado es la rutina de arcos o *Arc Routing*, que consiste en visitar todos los arcos de la red la menor cantidad de veces posible; el sistema de información geográfica arroja como resultado un reporte del itinerario de la ruta y un mapa en donde se representa el recorrido de menor longitud que se puede realizar en la ruta 7, mediante el procedimiento euleriano del algoritmo del cartero chino, el resultado arrojado mediante esta rutina se presenta en la figura 6.13. El algoritmo del cartero chino es el algoritmo que más se aproxima a la rutina de recolección de residuos mediante el método de acera, sin embargo los resultados arrojados no son los óptimos, debido a que la rutina toma como punto de llegada el mismo de partida, no correspondiendo al procedimiento de recolección de

residuos sólidos, pues este tiene como inicio el punto más cercano al garaje y como fin el lugar más cercano al relleno sanitario.

En este tipo de problemas, en los cuales el dominio es típicamente finito, puede parecer trivial encontrar su solución ya que existe siempre un procedimiento elemental para determinar la solución óptima buscada, que es realizar una exploración exhaustiva del conjunto de soluciones factibles, calcular el costo asociado a cada una, y finalmente elegir la que haya obtenido el mejor valor. Sin embargo aunque este método, teóricamente siempre llega a la solución buscada, no es eficiente, pues el tiempo de cálculo necesario crece exponencialmente con el número de ítems del problema y por lo tanto procesarlas todas para encontrar la mejor entre ellas resulta prácticamente imposible, aún para instancias de tamaño moderado. Adicionalmente, cuando la red es impar ninguno de los algoritmos presenta realmente soluciones óptimas; la mejor opción del algoritmo y del analista, sólo obtendrá como resultado soluciones factibles. Por lo anterior, se hace necesario el uso de herramientas computacionales que busquen de manera más eficiente una solución factible, más no óptima, para este tipo de problemas.

**6.6.1 Aplicación de la herramienta *Arc Routing* de un sistema de información geográfico para solucionar el algoritmo del cartero chino en la ruta 7.** El mapa vial se convierte en una red topológica en donde las calles se transforman en arcos y las intersecciones viales en nodos, dicha red o grafo quedó conformada por un total de 179 nodos y 278 arcos, la representación esquemática de este procedimiento se observa en la figura 6.10. La representación esquemática final del grafo de la red vial de la zona de estudio se muestra en la figura 6.11.

Figura 6.10. Elaboración del grafo de la ruta 7.



Fuente: Elaboración propia

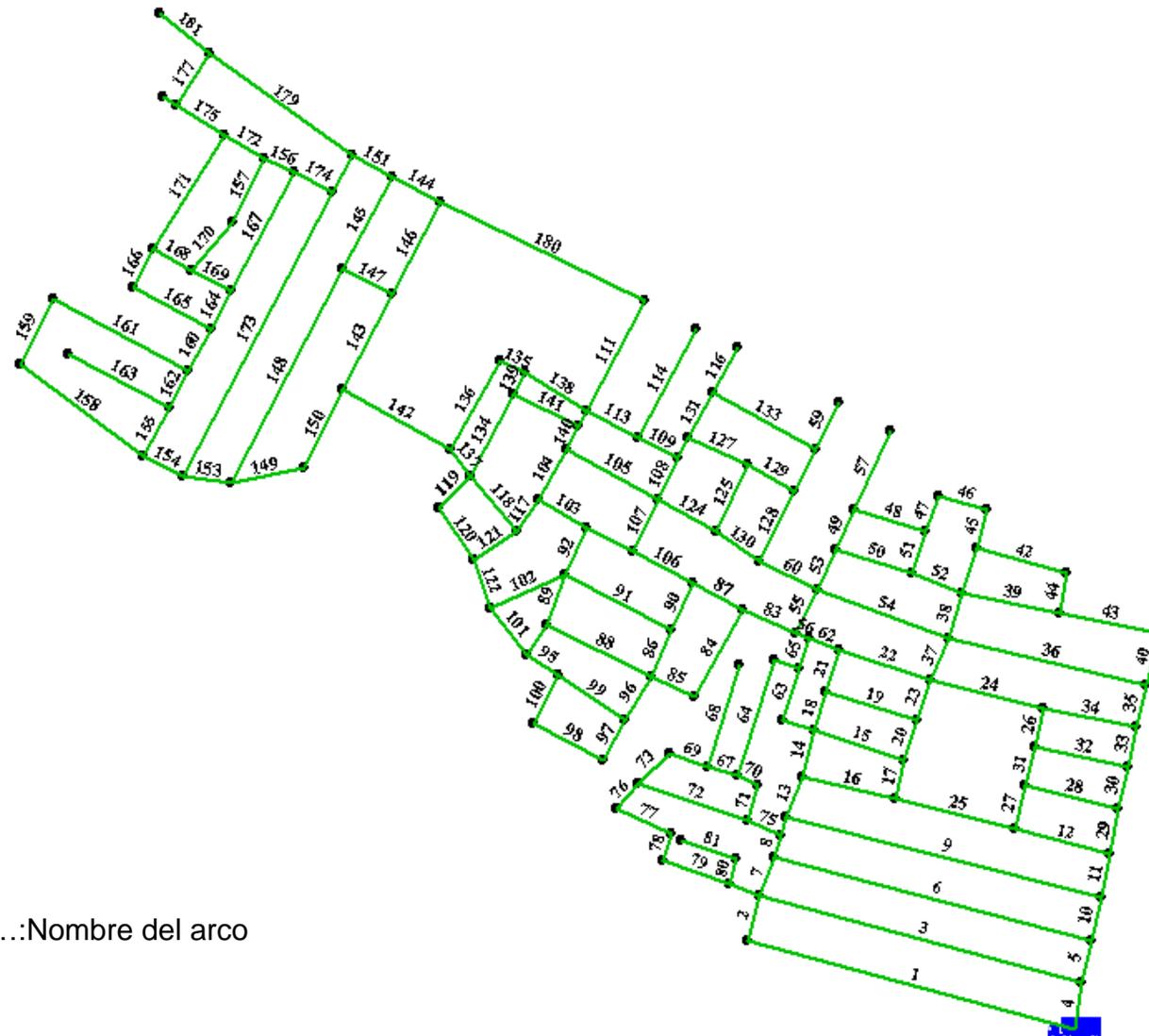
**Figura 6.11.** Representación esquemática del grafo de la red vial de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia

De los 179 nodos que tiene el grafo 135 son impares y 44 pares, por lo tanto existen 9045 posibles aparejamientos, que son un número apreciable de emparejamientos, realizar los cálculos a mano resulta casi imposible, por esta razón se simplifica la red quitando los arcos por donde el servicio de aseo se realiza mediante el método de parada fija, ya que por estas calles no es necesario que circule el vehículo, la red simplificada se muestra a continuación en la figura 6.12, esta red queda con un total de 128 nodos y 180 arcos, de los cuales hay 91 nodos impares, de esta manera la red queda con 4095 aparejamientos facilitándose la solución de este problema, ya que el número de aparejamientos disminuye en un 55%.

Figura 6.12. Grafo simplificado de la red vial de la ruta 7 de residuos sólidos.



1,2,3...:Nombre del arco

Elaboración: Fuente Propia

Después de generar y simplificar el grafo de la red vial de la ruta 7 de recolección de residuos sólidos, se procede a ingresar los datos de entrada al sistema de información geográfica, primero se generan dos capas, una de nodos y otra de arcos, en la primera, los campos creados son la identificación de cada nodo (Id), las coordenadas de los puntos (longitud y latitud) y un campo para la designación del depósito, es decir del nodo donde se inicia la recogida de los residuos; en la capa de los arcos se ingresan los siguientes campos: La dirección del sentido de las calles, la distancia de los arcos, el nombre de las calles, el tiempo de servicio, la cantidad o peso de basura recolectada en cada calle, y el tiempo gastado por el vehículo en hacer el recorrido sin hacer la recolección de residuos sólidos, al tipo de servicio que requiere cada calle se le asigna un valor de cero si no se requiere servicio, de uno si necesita que se sirva ambos lados de la calle en una sola pasada y de dos si el servicio se debe prestar a ambos lados de la calle pasando dos veces. En la tabla A 2.6 y A 2.7 se observan los datos de los nodos y arcos con los campos mencionados anteriormente.

En la tabla 6.18 y en la figura 6.13 se indica el itinerario para la ruta 7 que arroja el SIG, donde se muestra el movimiento que se debe realizar al pasar por una calle que están identificadas con el número que le asigna el programa a cada una (o puede colocarse el nombre de la calle). El informe de itinerario también identifica el tipo del servicio en una de tres maneras:

- RS (Right Side) donde se recoge al derecho solamente
- Both – se recoge a ambos lados de la calle
- No – no se presta el servicio.

**Tabla 6.18:** Itinerario de la ruta

No	Movement	Street_ Name	Service	No	Movement	Street_ Name	Service
1	Start North	4	Both	13	Right on	32	RS
2	Left on	3	Both	14	U-turn	32	RS
3	Right on	7	RS	15	Right on	30	Both
4	Right on	6	Both	16	Right on	28	No
5	Left on	10	RS	17	Left on	27	Both
6	Straight	11	Both	18	Left on	12	RS
7	Straight	29	Both	19	U-turn	12	RS
8	Left on	28	Both	20	Straight	25	Both
9	Right on	31	Both	21	Right on	17	RS
10	Straight	26	Both	22	Straight	20	Both
11	Right on	34	RS	23	Straight	23	RS
12	Right on	33	Both	24	Left on	22	Both
No	Movement	Street_ Name	Service	No	Movement	Street_ Name	Service
25	Straight	62	RS	52	Right on	91	Both
26	Straight	56	Both	53	Left on	102	Both
27	Straight	83	RS	54	Right on	122	Both
28	Straight	87	Both	55	Right on	121	Both
29	Left on	90	No	56	Left on	118	RS
30	Straight	86	Both	57	Straight	137	RS
31	Straight	96	Both	58	Right on	136	Both
32	Right on	99	Both	59	Right on	135	Both
33	Left on	100	Both	60	Right on	139	RS
34	Left on	98	Both	61	Straight	134	Both
35	Left on	97	Both	62	Left on	118	RS

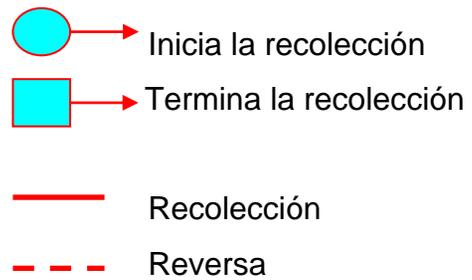
36	Left on	99	No	63	Left on	117	Both
37	Straight	95	Both	64	Right on	103	No
38	Right on	94	RS	65	Straight	93	Both
39	Right on	88	Both	66	Left on	107	RS
40	Straight	85	Both	67	Left on	105	Both
41	Left on	84	Both	68	Right on	140	RS
42	Right on	83	RS	69	Left on	141	Both
43	Left on	55	Both	70	Right on	139	RS
44	Left on	60	RS	71	Right on	138	Both
45	Right on	128	Both	72	Right on	110	Both
46	Left on	129	No	73	Straight	140	RS
47	Left on	125	Both	74	Straight	104	Both
48	Right on	124	RS	75	Left on	103	Both
49	Left on	107	RS	76	Right on	92	Both
50	Left on	106	Both	77	Straight	89	Both
51	Right on	90	Both	78	Straight	94	RS
No	Movement	Street_ Name	Service	No	Movement	Street_ Name	Service
79	Right on	101	Both	106	Right on	167	Both
80	Straight	122	No	107	Straight	164	Both
81	Straight	120	Both	108	Straight	160	No
82	Right on	119	Both	109	Right on	161	Both
83	Left on	137	Both	110	Left on	159	Both
84	Straight	142	Both	111	Left on	158	Both
85	Left on	150	RS	112	Straight	154	No
86	Right on	149	RS	113	Left on	173	Both
87	Right on	148	Both	114	Straight	152	RS
88	Straight	145	No	115	Left on	179	Both
89	Right on	144	Both	116	Straight	181	RS

90	Right on	146	RS	117	U-turn	181	RS
91	Right on	147	Both	118	Right on	177	Both
92	Right on	145	Both	119	Right on	176	RS
93	Left on	151	Both	120	U-turn	176	RS
94	Left on	152	RS	121	Straight	175	Both
95	Right on	174	Both	122	Right on	171	RS
96	Straight	156	RS	123	Left on	168	Both
97	Left on	157	Both	124	Straight	169	No
98	Straight	170	Both	125	Right on	164	No
99	Left on	169	Both	126	Straight	160	Both
100	Right on	164	No	127	Straight	162	Both
101	Right on	165	Both	128	Right on	163	RS
102	Right on	166	Both	129	U-turn	163	RS
103	Straight	171	RS	130	Right on	155	Both
104	Right on	172	Both	131	Left on	154	Both
105	Straight	156	RS	132	Straight	153	Both
No	Movement	Street_ Name	Service	No	Movement	Street_ Name	Service
133	Straight	149	RS	160	Straight	57	RS
134	Left on	150	RS	161	U-turn	48	RS
135	Straight	143	Both	162	Left on	47	Both
136	Straight	146	RS	163	Left on	46	RS
137	Right on	111	Both	164	Right on	45	RS
138	Right on	113	Both	165	Right on	41	RS
139	Left on	114	Both	166	Straight	52	Both
140	Left on	114	RS	167	Right on	50	RS
141	U-turn	109	RS	168	Straight	53	Both
142	Left on	126	Both	169	Left on	54	RS
143	Left on	131	RS	170	Left on	37	Both

144	Straight	116	Both	171	Right on	37	RS
145	Straight	116	RS	172	U-turn	36	RS
146	U-turn	133	RS	173	Right on	40	Both
147	Left on	59	Both	174	Left on	43	Both
148	Left on	59	RS	175	Left on	44	Both
149	U-turn	132	RS	176	Right on	42	Both
150	Straight	129	Both	177	Left on	45	Both
151	Right on	127	Both	178	Right on	46	RS
152	Straight	126	Both	179	Left on	47	RS
153	Left on	108	RS	180	Left on	51	RS
154	Straight	124	Both	181	Straight	52	Both
155	Left on	130	RS	182	Left on	39	RS
156	Straight	60	Both	183	Straight	39	RS
157	Straight	53	RS	184	U-turn	38	RS
158	Left on	49	RS	185	Left on	36	Both
159	Straight	57	Both	186	Left on	35	No
No.	Movement	Street_ Name	Service	No.	Movement	Street_ Name	Service
187	Right on	34	Both	212	Right on	21	RS
188	Right on	24	RS	213	Right on	18	Both
189	Straight	23	Both	214	Straight	14	No
190	Left on	19	RS	215	Straight	13	RS
191	Right on	18	Both	216	Straight	74	Both
192	Left on	15	Both	217	Straight	8	RS
193	Left on	17	Both	218	Straight	7	Both
194	Right on	16	RS	219	Straight	82	RS
195	Right on	14	Both	220	Right on	80	Both
196	Right on	61	RS	221	Right on	81	RS
197	Left on	63	Both	222	Left on	81	RS

198	Right on	66	Both	223	U-turn	80	RS
199	Left on	64	RS	224	Right on	79	RS
200	Left on	70	RS	225	Right on	78	Both
201	Left on	71	Both	226	Right on	77	Both
202	Right on	72	Both	227	Left on	76	Both
203	Right on	73	RS	228	Right on	72	Both
204	Right on	69	Both	229	Right on	75	RS
205	Right on	68	Both	230	Straight	74	Both
206	Left on	68	RS	231	Left on	9	RS
207	U-turn	67	RS	232	Right on	10	Both
208	Left on	64	Both	233	Right on	5	RS
209	Left on	66	RS	234	Straight	3	Both
210	Right on	65	RS	235	Right on	2	No
211	Left on	62	Both	236	Left on	1	Both

**Figura 6.13.** Recorrido en la macrorruta 7 según el itinerario de la tabla 6.18



Fuente: Elaboración propia

**6.6.2 Diseño del patrón de recolección de residuos sólidos para la ruta siete del municipio de Popayán.** La ruta desarrollada por el sistema de información geográfica (SIG) presenta deficiencias, debido a que el algoritmo del cartero chino tiene como punto final el mismo punto de partida y para hacer esto tiene que pasar por calles que ya recorrió siendo en algunos casos innecesario, por lo tanto se elaboró una ruta teniendo en cuenta el recorrido realizado por el conductor y la aplicación del algoritmo del cartero chino para la ruta 7 que se creó en el SIG, pues este arrojó resultados que pueden ser utilizados en el recorrido de esta zona. El procedimiento anterior se hace con el objeto de que los resultados obtenidos sean aplicables en el campo y de esta manera se optimice la recolección de los residuos sólidos en la macroruta 7. La nueva propuesta tiene un recorrido aproximado de 16 Km, y la actual ruta un recorrido de 20 Km, es decir esta nueva ruta es más eficiente en un 20%, en cuanto a distancia total a recorrer por el vehículo de residuos sólidos para la macroruta 7, la figura 6.14 se muestra el patrón de recolección optimizado y recomendado para realizar la recolección de residuos sólidos para la ruta de estudio.

Según la información dada por el contratista encargado de llevar el control de la recolección de residuos sólidos el gasto de combustible para hacer el recorrido en la macroruta es de aproximadamente 20 galones de ACPM; la distancia total recorrida para realizar las labores de recolección es de 38Km, es decir por cada kilómetro recorrido se gastan 0.53 galones.

$$\text{Ahorro\_en\_galones\_diarios} = \frac{0.53 \text{ gal}}{\text{Km}} * 4 \text{ Km} = 2.12 \text{ gal}$$

Si el precio actual del galón de A.C.P.M es de 6.434 pesos, el ahorro diario en pesos es de:

$$\text{Ahorro\_en\_pesos\_diarios} = 2.12 \text{ gal} * \frac{6434 \text{ pesos}}{\text{gal}} = \frac{13.640 \text{ pesos}}{\text{día}}$$

$$\text{Ahorro\_en\_pesos\_semanal} = \frac{13.640 \text{ pesos}}{\text{día}} * \frac{3 \text{ días}}{\text{semana}} = \frac{40.920 \text{ pesos}}{\text{semana}}$$

$$\text{Ahorro\_en\_pesos\_mensual} = \frac{40.920 \text{ pesos}}{\text{semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} = \frac{163.680 \text{ pesos}}{\text{mes}}$$

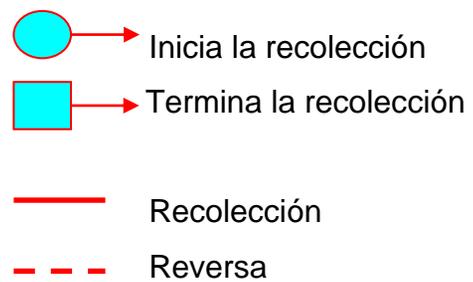
$$\text{Ahorro\_en\_pesos\_aual} = \frac{163.680 \text{ pesos}}{\text{mes}} * \frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} = \frac{1.964.100 \text{ pesos}}{\text{año}}$$

Lo que significa que anualmente en la macroruta siete se tendría un ahorro aproximadamente de dos millones de pesos, si se hiciera el rediseño de todas las macrorutas el ahorro para el municipio sería mucho mayor, de ahí la importancia de realizar este tipo de estudios.

Adicionalmente se proponen mejoras en cuanto a la manera de recolección por parte de los obreros, entre estas están:

- Las calles cortas donde no amerite el paso del carro recolector, la recolección se hará a pie y el obrero sacará la basura en la esquina, para ser recolectada por el vehículo.
- En las calles donde el vehículo tiene que transitar más de una vez, la recolección se hará en la última pasada de esta calle, evitando cargar basura innecesariamente, con esta regla se puede aumentar la eficiencia ya que solamente se recogería la basura una sola vez y no cuantas veces se pase por este lugar.

**Figura 6.14.** Patrón de recolección optimizado para la macroruta 7



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

En la ciudad de Popayán las rutas de recolección de residuos sólidos se han hecho de manera intuitiva por parte de los conductores, criterio que no siempre resulta el mejor, pues no se tienen en cuenta los distintos parámetros que intervienen en este proceso y que fueron evaluados para las macrorutas 15, 16 y 7 objeto de este estudio.

A pesar de que la macrorutas 15 y 16, pertenecientes a la recolección de residuos en las veredas no son compactas, los tiempos muertos de macroruteo coinciden con los tiempos muertos normales de recolección que se reportan en la literatura, sin embargo, se evidencian grandes deficiencias, pues se tienen que hacer largos recorridos para llegar de un punto de recolección a otro, ya que están muy alejados entre si.

El trabajo que se realizó en este estudio con las macrorutas 15 y 16 estuvo encaminado a evaluar las condiciones actuales de estas dos rutas de recolección y formular un rediseño con las condiciones actuales de estas, sin embargo no se puede decir que este nuevo diseño es el más eficiente, pues la solución radica en integrar estas macrorutas.

Se identifican algunas deficiencias en la macroruta 16, pues actualmente se hace la recolección a cuadras que pertenecen a otras macrorutas y donde no hay inconvenientes para que entre el carro recolector.

A diferencia de las macrorutas 15 y 16 la macroruta 7 es una zona compacta y que presenta las características necesarias para desarrollar el algoritmo del cartero chino.

Después de someter los datos, que se obtuvieron de los reportes de ingreso de residuos durante 6 meses, a pruebas estadísticas como la construcción del intervalo de aceptación y el intervalo confidencial se concluye que la estimación del promedio calculado de producción per-cápita (0.498 Kg/ Ha\*día) es aceptable, ya que los límites del intervalo confidencial están dentro del de aceptación. También se realizó la prueba del Test del Chi cuadrado donde se llegó a la conclusión que con un 95% de certeza el verdadero valor de la producción per cápita se encuentra dentro del rango 0.4979 Kg/Ha\*día – 0.5171 Kg/Ha\*día.

La generación de residuos sólidos no es similar en todas viviendas a las que se les realizó el muestreo, sin embargo el promedio calculado de la producción per cápita obtenida mediante el muestreo que se realizó para el calculo de la densidad es de 0.44 Kg/ Ha\*día este valor está por debajo del obtenido con los pesos de los residuos en el carro recolector durante el periodo de seis meses, esto se debe a que el muestreo se realizó en los días de mas baja producción en la semana (miércoles), sin embargo es un valor cercano y por lo tanto se comprueba que el valor de la producción per cápita está entre 0.44 Kg/ Ha\*día y 0.5 Kg/ Ha\*día

Al graficar los valores de producción per-cápita para los meses de junio a diciembre, exceptuando octubre, se observó un comportamiento lineal creciente de la producción a través del tiempo. De igual manera para estos meses se estimó la variación en la cantidad mensual de residuos sólidos recolectada para la macroruta 7, observándose que los meses de junio, julio y septiembre presentan

valores similares de residuos recolectados y los meses de agosto y noviembre tienen valores similares entre si; en diciembre la cantidad de basura recolectada es muy superior a la de los meses anteriores, como es lógico, para fin de año el comercio tiene más movimiento que en otros meses del año; además la cantidad de basura puede verse incrementada porque muchas personas en época navideña botan cosas que ya no les sirven y también remodelan sus viviendas, estos y otros factores aumentan la cantidad de residuos que se generan.

La diferencia de cantidad de residuos sólidos por día, se presenta por las variaciones en el periodo de frecuencias; en el caso de la macroruta 7, los días de recolección son los lunes, miércoles y viernes, por lo tanto se tiene un día de periodo igual a tres que corresponde al día lunes, y los días miércoles y viernes presentan un periodo igual a 2, por lo tanto es lógico pensar que en el día lunes la cantidad de residuos aumenta considerablemente, el 35.7% más que el miércoles y el 23.5% más que el viernes, en cantidad de residuos sólidos.

A pesar de que el día viernes tiene un periodo de recolección de 2 días como el miércoles, presenta en general, valores más altos de residuos recolectados que el día miércoles, esto es debido a que el miércoles es un día intermedio y por lo tanto, puede ser que la cantidad basura no es considerable y muchas personas dejan sus residuos para botarlos el día viernes; además en la mañana del viernes es día de mercado en la galería la Esmeralda que pertenece a este sector lo que puede generar un incremento en la cantidad de basura al final del día.

El rendimiento de recolección de residuos sólidos está entre 45 Hombres-min/ton y 56 Hombres-min/ton, para la cuadrilla de 3 hombres de la macroruta 7, es decir un operario se demora de 15 a 19 min en recolectar una tonelada de basura; para

efectos de diseño en Colombia, comúnmente se está utilizando un rendimiento de 120 Hombres-minuto/tonelada que equivale a 40 minutos/tonelada, para las cuadrillas de 3 hombres, lo que permite afirmar que el porcentaje de eficiencia está entre 267% y 211% más que el reportado en la literatura. Sin embargo se presentan factores que disminuyen esta eficiencia, entre estos encontramos los animales y personas que dispersan la basura en la calle, los carros que se encuentran mal estacionados en la vía obstaculizando el paso del carro recolector, los recipientes muy pesados y el sitio en que los usuarios colocan los recipientes para ser recogidos.

La velocidad de recolección de RS que se determinó para los operarios que laboran en la macrorruta 7, fue de 52.63 kg/min para una frecuencia de recolección de 2 días y de 66.67 kg/min para 3 días. Para el lunes que corresponde al día de frecuencia N=3, la velocidad de recolección es más alta debido a que sale más cantidad de basura por unidad de área lo que permite una recolección más rápida de los residuos sólidos. Por otro lado estos datos de velocidad de recolección comprueban la alta eficiencia por parte de los operarios.

A pesar de que la zona es predominantemente residencial, la ruta no realiza la recolección en un 100% por el método de acera debido a que existen calles en donde la cantidad de residuos sólidos a recoger es mínima, pues son calles cortas; en estas zonas entonces se recoge la basura en las esquinas (método de parada fija). De las 2701 casas del sector, 328 casas se sirven por el método de parada fija que corresponde a un 12.1 %, 87.9% restante (2373 casas), se les presta el servicio por el método de acera.

El grafo que se trazó para representar la red vial de la zona es de orden impar, este tiene un total de 128 nodos y 180 arcos, de los cuales hay 91 nodos impares, de esta manera la red tiene 4095 posibles apareamientos, lo que implica que mas de un arco de la red deberá ser atravesado por lo menos dos veces.

Cuando la red es impar ninguno de los algoritmos presenta realmente soluciones óptimas, solo factibles. La consideración anterior permite concluir que el tiempo, así como la complejidad del cálculo necesario para resolver este tipo de problemas, crece de manera exponencial al incrementar el número de nodos y arcos que posea la red; para este caso la solución del algoritmo requirió de una herramienta computacional y un sistema de información geográfico para encontrar una posible solución.

El algoritmo del cartero chino es el algoritmo que más se aproxima a la rutina de recolección de residuos mediante el método de acera, sin embargo los resultados arrojados no son los óptimos, debido a que la rutina toma como punto de llegada el mismo punto de partida, no correspondiendo al procedimiento de recolección de residuos sólidos, pues este tiene como inicio el punto más cercano al garaje y como fin, el lugar más cercano al relleno sanitario

Para lograr un diseño de las microrutas de recolección de residuos sólidos, es importante tener en cuenta la experiencia del conductor y el apoyo técnico de personal capacitado en la recolección de residuos sólidos. En este estudio se tuvo en cuenta ambos factores, obteniendo una disminución de distancia recorrida aproximada de 4Km.

## RECOMENDACIONES

Como primer punto a considerar, el municipio de Popayán necesita un rediseño simultaneo de todas las macrorutas que pertenecen a la ciudad pues con la llegada de los nuevos carros (como se mostró en este estudio, son mas eficientes en capacidad y forma de operarlos); la distribución actual de la zonas de recolección no es equitativa quedando macrorutas muy pequeñas donde la recolección se hace de manera rápida, mientras que en otras no.

La ventaja de hacer este rediseño de rutas es que puede sobrar por lo menos un carro de recolección que serviría en caso de que alguno de los vehículos que esta prestando el servicio tenga problemas y tenga que ser reemplazado, evitando perder tiempo en arreglos.

Para las rutas que pertenecen a las veredas se recomienda que estas se integren a otras macro rutas cercanas con el objetivo de eliminar estas rutas que de manera general están muy mal diseñadas, pues los puntos de recolección están muy dispersos entre si, gastando tiempo, combustible y desgaste del vehículo en desplazarse hacia cada uno de ellos; además estas macrorutas están sujetas a ser modificadas cada vez que nuevos usuarios, como barrios, empresas, etc., solicitan el servicio de recolección de sus basuras.

La calle 10 B entre carreras 23 y 22 ubicada en el retiro alto que pertenecen a la macroruta 16, es una vía de difícil acceso para el carro recolector, por lo tanto se recomienda que los usuarios saquen sus basuras a las esquinas de esta cuadra debido a que los nuevos carros son muy largos y esta calle es muy angosta.

Es necesario contar con la ayuda de un buen sistema de información geográfico para la solución del sistema de recolección de residuos sólidos en la ciudad de Popayán, pues como se mencionó anteriormente la solución mas cercana a estos problemas solo es posible encontrarla, por su grado de dificultad, con una herramienta computacional y un software especializado que maneje el problema de rutina de arcos.

## BIBLIOGRAFÍA

ALVARES, Victor; FRAU, Maria Dolores y NARRO, José. Notas orientativas para matemática discreta, feb. 2005 (visitada 20 oct, 2007). Encontrada en Internet: <URL: [http://ma1.eii.us.es/miembros/valvarez/MD\\_G/APMD.PDF](http://ma1.eii.us.es/miembros/valvarez/MD_G/APMD.PDF)>.

AYALA RODRÍGUEZ, Alexander y GONZÁLES BUTRÓN Edgar. Asignación de rutas de vehículos para un sistema de recolección de residuos Sólidos en la acera. En: Revista Ingeniería: Universidad de los Andes. No.13 (May. 2001); p.5-11.

BELTRAMI E. & L. BODIN. Networks and Vehicle Routing for Municipal Waste Collection. Networks, 4, Nov, 1974, p 65 - 94.

BODIN L., B. GOLDEN. Classification in Vehicle Routing and Scheduling, Networks, Vol 11, John Willey & Sons, 1981.

CALDERON, Jhon y ZAMBRANO, Napoleón. Saneamiento Ambiental. Popayán, Universidad del Cauca. P149-168

CARGIN J. & J. DAWYER. Pennsylvania`s low-level Radioactive Waste Disposal Facility Siting Project: Special GIS Operations, Procedures, 1995 ESRI User Conf., 162

CHANG, Ni-Ban; LU, H.Y. and WEI, Y.L. GIS technology for vehicle routing and scheduling in solid waste collection systems. En : Journal of Environmental engineering: American Society of Civil Engineers. Vol.123, No.9 (sep. 1997); p. 901-910

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía Ambiental para Rellenos Sanitarios.

COLLAZOS, Héctor y MUÑOZ, Ramón. Residuos Sólidos. Santafé de Bogotá, D.C, 5 ed. Escuela Colombiana de Ingeniería.1998.p 49,60-62, 82-87.

DAVIS Mackenzie and MASTEN Susan. Ingeniería y ciencias ambientales. México D.F, Ed Mc GrawHill. 2005. p 518-525

EDMONS J. & E.L. JOHNSON, "Matching Euler and the Chinese Postman" Mathematical Programming, 5, 1973, p 88-124.

EISENTEIN Donald, Ananth IYER. Garbage Collection in Chicago: A Dinamic Scheduling Model.Mangemnet Science, Vol 43, No 7, Julio 1997.

EISELT H, GENDREAU M y LAPORTE G. Arc Routing Problems, part I: The chinese postman problem.

FAN, Wei and MACHEMEHL, Randy B. Using a Simulated Annealing Algorithm to Solve the Transit Route Network Design Problem. En : Journal of Transportation engineering: American Society of Civil Engineers. Vol.132, No.2 (Feb. 2006); p. 122-132.

HENRY, J. Glynn y HEINKE, Gary. Ingeniería Ambiental. 2 ed, México, Prentice Hall, 1999. p 567- 568.

KARADIMAS, Nikolaos V. Urban solid waste collection and routing: the ant colony strategic approach. En: Journal of simulation: Multimedia Technology Laboratory School of Electrical & Computer Engineering National Technical University of Athens (N.T.U.A.). Vol.6.No12-13 (May 2007); p.45-53

LAPORTE G. The Traveling Salesman Problem: An overview of exact and approximate algorithms. European Journal of Operational Research, 59, 1992, p 231 - 247.

MALE James, Jon LIEBMAN. Districting and Routing for Solid Waste Collection. Journal of the Enviromental Engineering División. Vol 164, Febrero 1978.

MASSIE K. Using GIS to Improve Solid Waste Mangement and Recyclig Programs, Procedures, 1995 ESRI User Conf., 18

MINISTRO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Decreto 1713 DE 2002 (agosto 6) Diario Oficial No. 44.893, de 07 de agosto de 2002 Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. 2002

\_\_\_\_\_ Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Título F. 1998.

MUNICIPIO DE POPAYÁN. Alcaldía. Plan de ordenamiento territorial POT

\_\_\_\_\_. Plan de gestión integral de residuos sólidos PGIR.

Osegueda, Roberto etal. GIS-Based network routing procedures for overweight and oversized vehicles. En : Journal of Transportation engineering: American Society of Civil Engineers. Vol.125, No.4 (jul.-aug. 1999); p. 324-331.

OR Ilham. y Kriton CURI. "Improving the Efficiency of the Solid Waste Collection System in Izmir, Turkey, Throught Mathematical Programming. Waste Management & Research, 11, 1993, p 297-311.

SALAZAR, Arias y JARAMILLO, Álvaro. Desechos Sólidos: generación, almacenamiento, recolección disposición, reciclaje/ Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia, Editorial Medellín: AINSA, 1987.

SEDESÓL. Manual de Técnicas Administrativas para el Servicio de Limpia Municipal. México, Editado por Ingeniería para el Control de Residuos Municipales e Industriales. S.A. De C.V.D.F.1999

\_\_\_\_\_ Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales, Editado por Ingeniería para el Control de Residuos Municipales e Industriales. S.A. De C.V.D.F.1999

SHIH, Li-Hsing and LIN, Yung-The. Optimal routing for infectious waste collection En : Journal of Environmental engineering: American Society of Civil Engineers. Vol.125, No.5 (may. 1999); p. 479-484.

SHUSTER K., D. SCHUR. Heuristic Routing for Solid Waste Collection Vehicles, Publication SW-113, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, 1974.

TCHOBANOGLOUS George. Gestión integral de residuos sólidos. Volumen I. España, Ed Mc GrawHill. 1994.

UNDA, Francisco y SALINAS, Sergio. Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública. México, D.F, Editorial LIMUSA, 2002. p 469-489.

WBCSD, Cumbre de la Tierra en Río, 1992

WILSON, Bruce G and BAETZ, Brian W. Modeling municipal solid waste collection systems using derived probability distribution. I: Model development. En : Journal of Environmental engineering: American Society of Civil Engineers. Vol.127, No.11 (nov. 2001); p. 1031-1038.

\_\_\_\_\_ Modeling municipal solid waste collection systems using derived probability distribution. II: Extensions and applications. En : Journal of Environmental engineering: American Society of Civil Engineers. Vol.127, No.11 (nov. 2001); p. 1039-1047.

## ANEXOS

### ANEXO 1

**Tabla A 1.1** Valores tabulados del área bajo la curva normal.

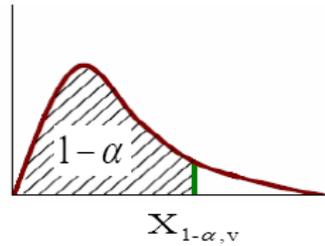
Los valores en el cuerpo de la tabla dan el área bajo la curva normal estándar desde 0 hasta z.

<b>z</b>	<b>0.00</b>	<b>.01</b>	<b>.02</b>	<b>.03</b>	<b>.04</b>	<b>.05</b>	<b>.06</b>	<b>.07</b>	<b>.08</b>	<b>.09</b>
<b>0.0</b>	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
<b>0.1</b>	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
<b>0.2</b>	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
<b>0.3</b>	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
<b>0.4</b>	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
<b>0.5</b>	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
<b>0.6</b>	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
<b>0.7</b>	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
<b>0.8</b>	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
<b>0.9</b>	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
<b>1.0</b>	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
<b>1.1</b>	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
<b>1.2</b>	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
<b>1.3</b>	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
<b>1.4</b>	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
<b>1.5</b>	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
<b>1.6</b>	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
<b>1.7</b>	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
<b>1.8</b>	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
<b>1.9</b>	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
<b>2.0</b>	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
<b>2.1</b>	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
<b>2.2</b>	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
<b>2.3</b>	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
<b>2.4</b>	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
<b>2.5</b>	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
<b>2.6</b>	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
<b>2.7</b>	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
<b>2.8</b>	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
<b>2.9</b>	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
<b>3.0</b>	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
<b>3.1</b>	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
<b>3.2</b>	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
<b>3.3</b>	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
<b>3.4</b>	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

**Tabla A 1.2** Parámetros  $Y_N$  y  $\delta_N$  en función de N

<b>N</b>	<b><math>Y_N</math></b>	<b><math>\delta_N</math></b>	<b>N</b>	<b><math>Y_N</math></b>	<b><math>\delta_N</math></b>
<b>8</b>	0,4843	0,9043	<b>49</b>	0,5481	1,159
<b>9</b>	0,4902	0,9248	<b>50</b>	0,5485	1,1606
<b>10</b>	0,4952	0,9497	<b>51</b>	0,5489	1,1623
<b>11</b>	0,4996	0,9676	<b>52</b>	0,5493	1,1638
<b>12</b>	0,5035	0,9833	<b>53</b>	0,5497	1,1653
<b>13</b>	0,507	0,9972	<b>54</b>	0,5501	1,1667
<b>14</b>	0,51	1,0095	<b>55</b>	0,5504	1,1681
<b>15</b>	0,5128	1,0205	<b>56</b>	0,5508	1,1696
<b>16</b>	0,5127	1,0316	<b>57</b>	0,5511	1,1708
<b>17</b>	0,5181	1,0411	<b>58</b>	0,5515	1,1721
<b>18</b>	0,5202	1,0493	<b>59</b>	0,5518	1,1734
<b>19</b>	0,522	1,0566	<b>60</b>	0,552	1,1746
<b>20</b>	0,5235	1,0628	<b>62</b>	0,5527	1,177
<b>21</b>	0,5252	1,0696	<b>64</b>	0,5533	1,1793
<b>22</b>	0,5268	1,0754	<b>66</b>	0,5538	1,1814
<b>23</b>	0,5283	1,0811	<b>68</b>	0,5543	1,1834
<b>24</b>	0,5296	1,0864	<b>70</b>	0,5547	1,1853
<b>25</b>	0,5308	1,0914	<b>72</b>	0,5552	1,1873
<b>26</b>	0,532	1,0961	<b>74</b>	0,5557	1,189
<b>27</b>	0,533	1,1004	<b>76</b>	0,5561	1,1906
<b>28</b>	0,5343	1,1047	<b>78</b>	0,5565	1,1923
<b>29</b>	0,5353	1,1086	<b>80</b>	0,5568	1,1938
<b>30</b>	0,5362	1,1123	<b>82</b>	0,5572	1,1953
<b>31</b>	0,5371	1,1159	<b>84</b>	0,5576	1,1967
<b>32</b>	0,538	1,1193	<b>86</b>	0,558	1,198
<b>33</b>	0,5388	1,1226	<b>88</b>	0,5583	1,1994
<b>34</b>	0,5396	1,1255	<b>90</b>	0,5586	1,2007
<b>35</b>	0,5403	1,1284	<b>92</b>	0,5589	1,202
<b>36</b>	0,541	1,1313	<b>94</b>	0,5592	1,2032
<b>37</b>	0,5418	1,1339	<b>96</b>	0,5595	1,2044
<b>38</b>	0,5424	1,1363	<b>98</b>	0,5598	1,2055
<b>39</b>	0,543	1,1388	<b>100</b>	0,56	1,2064
<b>40</b>	0,5436	1,1413	<b>150</b>	0,5646	1,2253
<b>41</b>	0,5442	1,1436	<b>200</b>	0,5671	1,2359
<b>42</b>	0,5448	1,1458	<b>250</b>	0,5687	1,2429
<b>43</b>	0,5453	1,148	<b>300</b>	0,5699	1,2478
<b>44</b>	0,5458	1,1499	<b>400</b>	0,5714	1,2545
<b>45</b>	0,5463	1,1518	<b>500</b>	0,5724	1,2588
<b>46</b>	0,5468	1,1538	<b>750</b>	0,5737	1,265
<b>47</b>	0,5473	1,1557	<b>1000</b>	0,5775	1,2685
<b>48</b>	0,5477	1,1574	<b>1500</b>	0,5772	1,2825

**Tabla A 1.3** Percentiles ( $X^2_p$ ) de la distribución Chi Cuadrado por  $v$  grados de libertad.

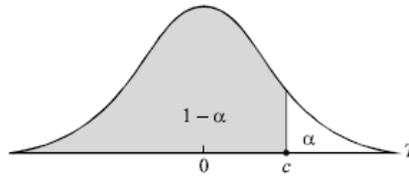


<b>v</b>	<b>X<sup>2</sup>0.005</b>	<b>X<sup>2</sup>0.01</b>	<b>X<sup>2</sup>0.025</b>	<b>X<sup>2</sup>0.05</b>	<b>X<sup>2</sup>0.10</b>	<b>X<sup>2</sup>0.90</b>	<b>X<sup>2</sup>0.95</b>	<b>X<sup>2</sup>0.975</b>	<b>X<sup>2</sup>0.99</b>	<b>X<sup>2</sup>.995</b>
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88
2	0,01	0,02	0,05	0,10	0,21	4,61	5,99	7,38	9,21	10,60
3	0,07	0,11	0,22	0,35	0,58	6,25	7,81	9,35	11,34	12,84
4	0,21	0,30	0,48	0,71	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28	14,86
5	0,41	0,55	0,83	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09	16,75
6	0,68	0,87	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81	18,55
7	0,99	1,24	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,48	20,28
8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09	21,95
9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59
10	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21	25,19
11	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	17,28	19,68	21,92	24,72	26,76
12	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22	28,30
13	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69	29,82
14	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14	31,32
15	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58	32,80
16	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	23,54	26,30	28,85	32,00	34,27
17	5,70	6,41	7,56	8,67	10,09	24,77	25,79	30,19	33,41	35,72
18	6,26	7,01	8,23	9,39	10,86	25,99	28,87	31,53	34,81	37,16
19	6,84	7,63	8,91	10,12	11,65	27,20	30,14	32,85	36,19	38,58
20	7,43	8,26	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57	40,00
21	8,03	8,90	10,28	11,59	13,24	29,62	32,67	35,48	38,93	41,40
22	8,64	9,54	10,98	12,34	14,04	30,81	33,92	36,78	40,29	42,80
23	9,26	10,20	11,69	13,09	14,85	32,01	35,17	38,08	41,64	44,18
24	9,89	10,86	12,40	13,85	15,66	33,20	36,42	39,36	42,98	45,56
25	10,52	11,52	13,12	14,61	16,47	34,28	37,65	40,65	44,31	46,93
26	11,16	12,20	13,84	15,33	17,29	35,56	38,89	41,92	45,64	48,29
27	11,81	12,88	14,57	16,15	18,11	36,74	40,11	43,19	46,96	49,64
28	12,46	13,56	15,31	16,93	18,94	37,92	41,34	44,46	48,28	50,99
29	13,12	14,26	16,05	17,71	19,77	39,09	42,56	45,72	49,59	52,34
30	13,79	14,95	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89	53,67

v	X <sup>2</sup> 0.005	X <sup>2</sup> 0.01	X <sup>2</sup> 0.025	X <sup>2</sup> 0.05	X <sup>2</sup> 0.10	X <sup>2</sup> 0.90	X <sup>2</sup> 0.95	X <sup>2</sup> 0.975	X <sup>2</sup> 0.99	X <sup>2</sup> .995
31	14,46	15,66	17,54	19,28	21,43	41,42	44,99	48,23	52,19	55,00
32	15,13	16,36	18,29	20,07	22,27	42,58	46,19	49,48	53,49	56,33
33	15,82	17,07	19,05	20,87	23,11	43,75	47,40	50,73	54,78	57,65
34	16,50	17,79	19,81	21,66	23,95	44,90	48,60	51,97	56,06	58,96
35	17,19	18,51	20,57	22,47	24,80	46,06	49,80	53,20	57,34	60,27
36	17,89	19,23	21,34	23,27	25,64	47,21	51,00	54,44	58,62	61,58
37	18,59	19,96	22,11	24,07	26,49	48,36	52,19	55,67	59,89	62,88
38	19,29	20,69	22,88	24,88	27,34	49,51	53,38	56,90	61,16	64,18
39	20,00	21,43	23,65	25,70	28,20	50,66	54,57	58,12	62,43	65,48
40	20,71	22,16	24,43	26,51	29,05	51,81	55,76	59,34	63,69	66,77
41	21,42	22,91	25,21	27,33	29,91	52,95	56,94	60,56	64,95	68,05
42	22,14	23,65	26,00	28,14	30,77	54,09	58,12	61,78	66,21	69,34
43	22,86	24,40	26,79	28,96	31,63	55,23	59,30	62,99	67,46	70,62
44	23,58	25,15	27,57	29,79	32,49	56,37	60,48	64,20	68,71	71,89
45	24,31	25,90	28,37	30,61	33,35	57,51	61,66	65,41	69,96	73,17
46	25,04	26,66	29,16	31,44	34,22	58,64	62,83	66,62	71,20	74,44
47	25,77	27,42	29,96	32,27	35,08	59,77	64,00	67,82	72,44	75,70
48	26,51	28,18	30,75	33,10	35,95	60,91	65,17	69,02	73,68	76,97
49	27,25	28,94	31,55	33,93	36,82	62,04	66,34	70,22	74,92	78,23
50	27,99	29,71	32,36	34,76	37,69	63,17	67,50	71,42	76,15	79,49
51	28,73	30,48	33,16	35,60	38,56	64,30	68,67	72,62	77,39	80,75
52	29,48	31,25	33,97	36,44	39,43	65,42	69,83	73,81	78,62	82,00
53	30,23	32,02	34,78	37,28	40,31	66,55	70,99	75,00	79,84	83,25
54	30,98	32,79	35,59	38,12	41,18	67,67	72,15	76,19	81,07	84,50
55	31,73	33,57	36,40	38,96	42,06	68,80	73,31	77,38	82,29	85,75
56	32,49	34,35	37,21	39,80	42,94	69,92	74,47	78,57	83,51	86,99
57	33,25	35,13	38,03	40,65	43,82	71,04	75,62	79,75	84,73	88,24
58	34,01	35,91	38,84	41,49	44,70	72,16	76,78	80,94	85,95	89,48
59	34,77	36,70	39,66	42,34	45,58	73,28	77,93	82,12	87,17	90,72
60	35,53	37,48	40,48	43,19	46,46	74,40	79,08	83,30	88,38	91,95
61	36,30	38,27	41,30	44,04	47,34	75,51	80,23	84,48	89,59	93,19
62	37,07	39,06	42,13	44,89	48,23	76,63	81,38	85,65	90,80	94,42
63	37,84	39,86	42,95	45,74	49,11	77,75	82,53	86,83	92,01	95,65
64	38,61	40,65	43,78	46,59	50,00	78,86	83,68	88,00	93,22	96,88
65	39,38	41,44	44,60	47,45	50,88	79,97	84,82	89,18	94,42	98,11
66	40,16	42,24	45,43	48,31	51,77	81,09	85,96	90,35	95,63	99,33
67	40,94	43,04	46,26	49,16	52,66	82,20	87,11	91,52	96,83	100,55
68	41,71	43,84	47,09	50,02	53,55	83,31	88,25	92,69	98,03	101,78
69	42,49	44,64	47,92	50,88	54,44	84,42	89,39	93,86	99,23	103,00

<b>v</b>	<b>X<sup>2</sup>0.005</b>	<b>X<sup>2</sup>0.01</b>	<b>X<sup>2</sup>0.025</b>	<b>X<sup>2</sup>0.05</b>	<b>X<sup>2</sup>0.10</b>	<b>X<sup>2</sup>0.90</b>	<b>X<sup>2</sup>0.95</b>	<b>X<sup>2</sup>0.975</b>	<b>X<sup>2</sup>0.99</b>	<b>X<sup>2</sup>.995</b>
70	43,28	45,44	48,76	51,74	55,33	85,53	90,53	95,02	100,43	104,21
71	44,06	46,25	49,59	52,60	56,22	86,64	91,67	96,19	101,62	105,43
72	44,84	47,05	50,43	53,46	57,11	87,74	92,81	97,35	102,82	106,65
73	45,63	47,86	51,26	54,33	58,01	88,85	93,95	98,52	104,01	107,86
74	46,42	48,67	52,10	55,19	58,90	89,96	95,08	99,68	105,20	109,07
75	47,21	49,48	52,94	56,05	59,79	91,06	96,22	100,84	106,39	110,29
76	48,00	50,29	53,78	56,92	60,59	92,17	97,35	102,00	107,58	111,50
77	48,79	51,10	54,62	57,79	61,59	93,27	98,48	103,16	108,77	112,70
78	49,58	51,91	55,47	58,65	62,48	94,37	99,62	104,32	109,96	113,91
79	50,38	52,72	56,31	59,52	63,38	95,48	100,75	105,47	111,14	115,12
80	51,17	53,54	57,15	60,39	64,28	96,58	101,88	106,63	112,33	116,32
81	51,97	54,36	58,00	61,26	65,18	97,68	103,01	107,78	113,51	117,52
82	52,77	55,17	58,84	62,13	66,08	98,78	101,14	108,94	114,69	118,73
83	53,57	55,99	59,69	63,00	66,98	99,88	105,27	110,09	115,88	119,93
84	54,37	56,81	60,54	63,88	67,88	100,98	106,39	111,24	117,06	121,13
85	55,17	57,63	61,39	64,75	68,78	102,08	107,52	112,39	118,24	122,32
86	55,97	58,46	62,24	65,62	69,68	103,18	108,65	113,54	119,41	123,52
87	56,78	59,28	63,09	66,50	70,58	104,28	109,77	114,69	120,59	124,72
88	57,58	60,10	63,94	67,37	71,48	105,37	110,90	115,84	121,77	125,91
89	58,39	60,93	64,79	68,25	72,39	106,47	112,02	116,99	122,94	127,11
90	59,20	61,75	65,65	69,13	73,29	107,57	113,15	118,14	124,12	128,30
91	60,00	62,58	66,50	70,00	74,20	108,66	114,27	119,28	125,29	129,49
92	60,81	63,41	67,36	70,88	75,10	109,76	115,39	120,43	126,46	130,68
93	61,63	64,24	68,21	71,76	76,01	110,85	116,51	121,57	127,63	131,87
94	62,44	65,07	69,07	72,64	76,91	111,94	117,63	122,72	128,80	133,06
95	63,25	65,90	69,92	73,52	77,82	113,04	118,75	123,86	129,97	134,25
96	64,06	66,73	70,78	74,40	78,73	114,13	119,87	125,00	131,14	135,43
97	64,88	67,56	71,64	75,28	79,63	115,22	120,99	126,14	132,31	136,62
98	65,69	68,40	72,50	76,16	80,54	116,32	122,11	127,28	133,48	137,80
99	66,51	69,23	73,36	77,05	81,45	117,41	123,23	128,42	134,64	1388,99
100	67,33	70,06	74,22	77,93	82,36	118,50	124,34	129,52	135,81	140,17

**Tabla A 1.4** Percentiles (tp) de la distribución de Student con  $v$  grados de libertad.



<b>n</b>	<b>0,75</b>	<b>0,80</b>	<b>0,85</b>	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>0,975</b>	<b>0,99</b>	<b>0,995</b>
<b>1</b>	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
<b>2</b>	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
<b>3</b>	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
<b>4</b>	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
<b>5</b>	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
<b>6</b>	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
<b>7</b>	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
<b>8</b>	0,706	0,889	1,080	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
<b>9</b>	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
<b>10</b>	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
<b>11</b>	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
<b>12</b>	0,695	0,873	1,083	1,560	1,782	2,179	2,681	3,055
<b>13</b>	0,694	0,870	1,079	1,500	1,771	2,160	2,65	3,012
<b>14</b>	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
<b>15</b>	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
<b>16</b>	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
<b>17</b>	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
<b>18</b>	0,688	0,862	1,067	1,,330	1,734	2,101	2,552	2,878
<b>19</b>	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
<b>20</b>	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
<b>21</b>	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
<b>22</b>	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
<b>23</b>	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
<b>24</b>	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
<b>25</b>	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
<b>26</b>	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
<b>27</b>	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
<b>28</b>	0,683	0,855	1,056	1,130	1,701	2,048	2,467	2,763
<b>29</b>	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
<b>30</b>	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
<b>40</b>	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
<b>60</b>	0,679	0,848	1,046	1,960	1,671	2,000	2,390	2,660
<b>120</b>	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
<b>∞</b>	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,760

## ANEXO 2

**Tabla A 2.1** Formato de muestreo por vivienda para la macrorruta 7 del municipio de Popayán

Fecha: \_\_\_\_\_

Vivienda Número	Número de personas $X_i$	Basura producida $Y_i$ (Kg)	Barrio	Dirección
1			Santa Elena	Crr 27 # 5-24
2			Santa Elena	Crr 27 # 6-13
3			Santa Elena	Cll 7 # 26-13
4			Santa Elena	Cll 7 # 26-13a
5			Santa Elena	Crr 26 # 7-18
6			Santa Elena	Crr 27 # 8-24
7			Canadá	Cll 9 # 27B-30
8			Canadá	Cll 9 # 27B-43
9			Canadá	Cll7A #27B-21
10			Santa Elena	Crr 26 #6-28
11			Santa Elena	Crr 28 #6-25
12			Santa Elena	Cll 5 <sup>a</sup> #38-31
13			Perpetuo Socorro	Crr 23 # 6-10
14			Perpetuo Socorro	Crr 23 bis #6A-37
15			José Maria Obando	Cll 7A # 23-37
16			José Maria Obando	Crr 23 #7-47
17			José Maria Obando	Crr 22A #7-76
18			José Maria Obando	Cll 7 #22-44
19			José Maria Obando	Cll 6A # 22-36
20			José Maria Obando	Cll 6 # 21-62
21			José Maria Obando	Crr 22A #5-59
22			José Maria Obando	Crr 23 #5-31
23			José Maria Obando	Cll 6A #21-15
24			Esmeralda	Crr 20 #5B-18
25			José Maria Obando	Cll 7 # 21-14
26			José Maria Obando	Crr 21 #7A-16
27			José Maria Obando	Cll 7A#21A-54
28			Libertador	Cll 8A #21 <sup>a</sup> -70
29			Guayabal	Cll 8 # 20C-15
30			Guayabal	Cll 8B # 20-105
31			Minuto de Dios	Cll 8C # 20 <sup>a</sup> -18
32			Esmeralda	Crr 20 # 8C-17
33			Esmeralda	Cll 8C#19-66

<b>Vivienda Número</b>	<b>Número de personas <math>X_i</math></b>	<b>Basura producida <math>Y_i</math> (Kg)</b>	<b>Barrio</b>	<b>Dirección</b>
34			Esmeralda	Cll 8C#18-55
35			Esmeralda	Cll 8C#17-54
36			Esmeralda	Cll 8A #17-42
37			Esmeralda	Cll 8A #18-42
38			Esmeralda	Cll 7B#17-60
39			Esmeralda	Cll 7#17-55
40			Esmeralda	Cll 5B # 18-67
41			Esmeralda	Cll 5A # 19-31
42			Esmeralda	Cll 5B # 19A-31
43			Esmeralda	Cll 6 # 19-61
44			Esmeralda	Cll 7#19-48
45			Guayabal	Crr 20#7-28
46			Esmeralda	Cll 7B#19-70
47			Esmeralda	Cll 8 #19-67
48			Esmeralda	Crr 20#8-11
49			Guayabal	Crr 20B # 7 <sup>a</sup> -46
50			Guayabal	Cll 7 <sup>a</sup> #20B-04
<b>Totales</b>				

**Tabla A 2.2.** Datos y resultados del muestreo realizado a las viviendas el día miércoles 14 de diciembre de 2007

<b>Vivienda numero</b>	<b>Número de personas Xi</b>	<b>Basura recolectada (Kg / Viv * 2días)</b>	<b>Basura producida Yi (Kg / Viv * día)</b>	<b>PPC Kg / Hab día</b>
1	6	11	5,5	0,917
2	6	11	5,5	0,917
3	5	5	2,5	0,500
4	5	10,5	5,25	1,050
5	2	1	0,5	0,250
6	6	3,7	1,85	0,308
7	5	3	1,5	0,300
8	15	5	2,5	0,167
9	4	6	3	0,750
10	3	1,5	0,75	0,250
11	5	2,5	1,25	0,250
12	11	4,5	2,25	0,205
13	3	0,7	0,35	0,117
14	5	5	2,5	0,500
15	5	2	1	0,200
16	7	2,5	1,25	0,179
17	6	4	2	0,333
18	3	2	1	0,333
19	5	9	4,5	0,900
20	9	5	2,5	0,278
21	5	3	1,5	0,300
22	8	14	7	0,875
23	3	2	1	0,333
24	10	2	1	0,100
25	7	3	1,5	0,214
26	3	2,5	1,25	0,417
27	9	1,5	0,75	0,083
28	7	7,5	3,75	0,536
29	5	6	3	0,600
30	3	1	0,5	0,167
31	3	2	1	0,333
32	3	5	2,5	0,833
33	8	3,7	1,85	0,231
34	7	5,5	2,75	0,393

<b>Vivienda numero</b>	<b>Número de personas Xi</b>	<b>Basura recolectada (Kg / Viv * 2días)</b>	<b>Basura producida Yi (Kg / Viv * día)</b>	<b>PPC Kg / Hab día</b>
35	5	5	2,5	0,500
36	5	6	3	0,600
37	3	6,7	3,35	1,117
38	2	3	1,5	0,750
39	4	11	5,5	1,375
40	4	1,5	0,75	0,188
41	3	9,5	4,75	1,583
42	17	9,5	4,75	0,279
43	3	1,5	0,75	0,250
44	5	3	1,5	0,300
45	4	2,5	1,25	0,313
46	13	8	4	0,308
47	4	0,5	0,25	0,063
<b>Total</b>	269	221,3	110,65	21,743
<b>Promedio</b>	5,723	4,709	2,354	0,463

**Tabla A 2.3.** Datos y resultados del muestreo realizado a las viviendas el día miércoles 16 de enero de 2008

<b>Vivienda numero</b>	<b>Número de personas <math>X_i</math></b>	<b>Basura recolectada (Kg / Viv * 2días)</b>	<b>Basura producida <math>Y_i</math> (Kg / Viv*día)</b>	<b>PPC Kg / Hab * día</b>
1	6	4	2	0,333
2	6	9	4,5	0,750
3	5	3	1,5	0,300
4	5	2	1	0,200
5	2	1	0,5	0,250
6	6	4	2	0,333
7	5	3	1,5	0,300
8	15	6	3	0,200
9	4	2,5	1,25	0,313
10	3	1	0,5	0,167
11	5	6	3	0,600
12	11	3	1,5	0,136
13	3	3	1,5	0,500
14	5	3,5	1,75	0,350
15	5	2	1	0,200
16	7	3,8	1,9	0,271
17	6	6,7	3,35	0,558
18	3	2,5	1,25	0,417
19	5	9	4,5	0,900
20	9	3,5	1,75	0,194
21	5	6,5	3,25	0,650
22	8	8,5	4,25	0,531
23	3	3	1,5	0,500
24	10	3,5	1,75	0,175
25	7	9,2	4,6	0,657
26	3	0,1	0,05	0,017
27	6	4	2	0,333
28	7	9,5	4,75	0,679
29	5	2	1	0,200
30	3	3	1,5	0,500
31	3	1,5	0,75	0,250
32	3	3	1,5	0,500
33	8	5,5	2,75	0,344
34	7	5	2,5	0,357

Vivienda numero	Número de personas Xi	Basura recolectada (Kg / Viv * 2días)	Basura producida Yi (Kg / Viv*día)	PPC Kg / Hab * día
35	5	5	2,5	0,500
36	5	4	2	0,400
37	3	2	1	0,333
38	2	2	1	0,500
39	4	5	2,5	0,625
40	4	2,5	1,25	0,313
<b>Total</b>	217	163,3	81,65	15,637
<b>Promedio</b>	5,425	4,083	2,041	0,391

**Tabla A.2.4.** Pesos de los residuos sólidos generados por la macroruta 15 y 16

<b>Producción de residuos macroruta 15</b>			
Mes	Peso ton (2004)	Peso ton (2005)	Peso ton (2006)
ENERO	126,85	24,5	121,95
FEBRERO	114,45		115,2
MARZO		102,11	89,25
ABRIL			
MAYO	79,2		
JUNIO	77,6		91,78
JULIO	76,6		100,26
AGOSTO	100,7		
SEPTIEMBRE	88,4	79,87	
OCTUBRE	122,2	93,68	
NOVIEMBRE	90,7	105,45	91,7
DICIEMBRE	79	114,1	
<b>Producción de residuos macroruta 16</b>			
ENERO	116,09	11,2	58,71
FEBRERO	94,4		60,7
MARZO		62,04	57,06
ABRIL			
MAYO	134,3		
JUNIO	97,6		90,42
JULIO	99,6		95,42
AGOSTO	83,7		

<b>Producción de residuos macroruta 16</b>			
<b>Mes</b>	<b>Peso ton (2004)</b>	<b>Peso ton (2005)</b>	<b>Peso ton (2006)</b>
SEPTIEMBRE	82,9	25,42	
OCTUBRE	98,3	67,4	
NOVIEMBRE	56,5	62,3	77,2
DICIEMBRE	55,84	75	

**Tabla A 2.5.** Pesos de los residuos sólidos en el camión generados por la macroruta 7 durante un periodo de seis meses.

<b>Mes junio de 2007</b>							
<b>Día/viajes</b>	<b>Viaje 1</b>	<b>Viaje2</b>	<b>Viaje3</b>	<b>Viaje 4</b>	<b>Total (ton)</b>	<b>Total (kg)</b>	<b>PPC (Kg/Hab_dia)</b>
Viernes	6,9	7,7	4,3		18,9	18.900	0,583
Lunes	5,4	4,6	4,4		14,4	14.400	0,296
Miércoles	6,7	5,7			12,4	12.400	0,383
Viernes	5,8	4,9	2,3		13	13.000	0,401
Lunes	7	7,1	7	6,1	27,2	27.200	0,559
Miércoles	4,6	6	3,3		13,9	13.900	0,429
Viernes	7	5,1	3,9		16	16.000	0,494
Lunes	4,5	3,8			8,3	8.300	0,171
Miércoles	6,5	6,3	1,1		13,9	13.900	0,429
Viernes	7,1	4,1	4,9		16,1	16.100	0,497
Lunes	9,4	9,9	5,3		24,6	24.600	0,506
Miércoles	6,7	7,1	1,1		14,9	14.900	0,460
Viernes	6,6	6,1	3		15,7	15.700	0,484
<b>Total</b>					209,3	209.300	0,460
<b>Mes julio de 2007</b>							
<b>Día/viajes</b>	<b>Viaje 1</b>	<b>Viaje2</b>	<b>Viaje3</b>	<b>Viaje 4</b>	<b>Total (ton)</b>	<b>Total (kg)</b>	<b>PPC (Kg/Hab_dia)</b>
Lunes	6,4	6,9	6,9		20,2	20.200	0,415
Miércoles	7,3	6,4			13,7	13.700	0,423
Viernes	6,6	6,8			13,4	13.400	0,413
Lunes	6,1	6,3	6,3	5	23,7	23.700	0,487
Miércoles	6,5				6,5	6.500	0,201
Viernes	6,3				6,3	6.300	0,194
Lunes	7,6	6,5	6,9	2,6	23,6	23.600	0,485

<b>Día/viajes</b>	<b>Viaje 1</b>	<b>Viaje2</b>	<b>Viaje3</b>	<b>Viaje 4</b>	<b>Total (ton)</b>	<b>Total (kg)</b>	<b>PPC (Kg/Hab_dia)</b>
Miércoles	7,1	8			15,1	15.100	0,466
Viernes	6,6	6,7	4,4		17,7	17.700	0,546
Lunes	7,1	6,6	7,1	6,4	27,2	27.200	0,559
Miércoles	6,9	7,5	0,8		15,2	15.200	0,469
Viernes	6,4	6,4	6,8		19,6	19.600	0,605
Lunes	6,4	6,4	7,2	4,1	24,1	24.100	0,496
<b>Total</b>					226,3	226.30	0,488
<b>Mes agosto de 2007</b>							
<b>Día/viajes</b>	<b>Viaje 1</b>	<b>Viaje2</b>	<b>Viaje3</b>	<b>Viaje 4</b>	<b>Total (ton)</b>	<b>Total (kg))</b>	<b>PPC (Kg/Hab_dia)</b>
Miércoles	6,7	5			11,7	11.700	0,361
Viernes	7	6,4	5,5		18,9	18.900	0,583
Lunes	7,1	6,6	7,2	2,6	23,5	23.500	0,483
Miércoles	4,3	3,7			8	8.000	0,247
Viernes	5,8	6,5	5,1		17,4	17.400	0,537
Lunes	6,6	7,1	6,8	4,8	25,3	25.300	0,520
Miércoles	7,1	6,3			13,4	13.400	0,413
Viernes	7,8	7,3	2,6		17,7	17.700	0,546
Lunes	6,6	7,1	7,8	1,3	22,8	22.800	0,469
Miércoles	8,1				8,1	8.100	0,250
Viernes	7	7,1			14,1	14.100	0,435
Lunes	6,7	7,1	6,5	4	24,3	24.300	0,500
Miércoles	7,3	7,1			14,4	14.400	0,444
Viernes	6,9	6,9	4,8		18,6	18.600	0,574
<b>TOTAL</b>					238,2	238200	0,489
<b>Mes septiembre de 2007</b>							
<b>Día/viajes</b>	<b>Viaje 1</b>	<b>Viaje2</b>	<b>Viaje3</b>	<b>Viaje 4</b>	<b>Total (ton)</b>	<b>Total (kg))</b>	<b>PPC (Kg/Hab_dia)</b>
Lunes	7,1	7	6,9	3,2	24,2	24.200	0,498
Miércoles	7,3	7,1			14,4	14.400	0,444
Viernes	7,1	7,1	3,7		17,9	17.900	0,552
Lunes	6,8	6,9	7,3	3,3	24,3	24.300	0,500
Miércoles	7,5	6,4			13,9	13.900	0,429
Viernes	7,4	6,4	3,6		17,4	17.400	0,537
Lunes	6,5	7,3	7,5	1,8	23,1	23.100	0,475
Miércoles	7,1	1,5			8,6	8.600	0,265
Viernes	7,6	7	5,2		19,8	19.800	0,611
Lunes	7,1	8	7,1	2,4	24,6	24.600	0,506
Miércoles	6,8	6,3	2,3		15,4	15.400	0,475

Día/viajes	Viaje 1	Viaje2	Viaje3	Viaje 4	Total (ton)	Total (kg))	PPC (Kg/Hab_dia)
Viernes	7,3	7,3	3,1		17,7	17.700	0,546
<b>Total</b>					221,3	221.300	0,507
<b>Mes noviembre de 2007</b>							
Día/viajes	Viaje 1	Viaje2	Viaje3	Viaje 4	Total (ton)	Total (kg))	PPC (Kg/Hab_dia)
Viernes	7,7	7,3	7,5	3,9	26,4	26.400	0,815
Lunes	7,1	2,1			9,2	9.200	0,189
Miércoles	6,3	6,8	4,8		17,9	17.900	0,552
Viernes	9,2	9,3			18,5	18.500	0,571
Lunes	14,6	10,6			25,2	25.200	0,518
Miércoles	14,9	3,5			18,4	18.400	0,568
Viernes	14,1	4,3			18,4	18.400	0,568
Lunes	14,8	12,8			27,6	27.600	0,568
Miércoles	13,2				13,2	13.200	0,407
Viernes	11,2	1,4			12,6	12.600	0,389
Lunes	15,1	7,7			22,8	22.800	0,469
Miércoles	15,4				15,4	15.400	0,475
Viernes	16,4				16,4	16.400	0,506
<b>Total</b>					242	242.000	0,534
<b>Mes diciembre de 2007</b>							
Día/viajes	Viaje 1	Viaje2	Viaje3	Viaje 4	Total (ton)	Total (kg))	PPC (Kg/Hab_dia)
Lunes	14,4	9,8			24,2	24.200	0,498
Miércoles	15				15	15.000	0,463
Viernes	10				10	10.000	0,309
Lunes	15,5	17,1			32,6	32.600	0,671
Miércoles	14,8				14,8	14.800	0,457
Viernes	15	3,7			18,7	18.700	0,577
Lunes	14,8	10,8			25,6	25.600	0,527
Miércoles	15,9				15,9	15.900	0,491
Viernes	14,4	3,9			18,3	18.300	0,565
Lunes	5,9	6,3	6,4		18,6	18.600	0,383
Miércoles	11,7	13,9	7,1		32,7	32.700	1,009
Viernes	14,4	7			21,4	21.400	0,660
Lunes	5,2	6,5	6,4		18,1	18.100	0,372
<b>Total</b>					265,9	265.900	0,556

Nota: Los datos de octubre no se presentan por no estar reportados en las planillas de control de pesaje que maneja el relleno sanitario "El Ojito"

**Tabla A 2.6** Datos de entrada a la capa de arcos del sistema de información geográfica.

ID	Length	Dir Name Street	SPEED	SERVICE TYPE	SERVICE TIME	DISTRICT	Weight [LINK CLASS]	DEADHEAD	[sub zone]
174	0.07	0 CALLE 6A	4.00	1	2.691	1	149.52 A40	0.392	1
175	0.01	0 CARRERA 23	4.00	1	0.107	1	5.90 A40	0.056	1
176	0.02	0 CARRERA 23	4.00	1	0.754	1	41.87 A40	0.112	1
177	0.04	0 CARRERA 22	4.00	1	0.861	1	47.85 A40	0.224	1
178	0.03	0 CALLE 6	4.00	1	1.399	1	77.75 A40	0.168	1
179	0.04	0 CALLE 6	4.00	1	1.615	1	89.71 A40	0.224	1
180	0.08	0 CARRERA 22A	4.00	1	3.014	1	167.46 A40	0.448	1
181	0.04	1 CALLE 5	4.00	1	0.431	1	23.92 A21	0.224	1
182	0.04	1 CALLE 5	4.00	1	1.292	1	71.77 A21	0.224	1
183	0.08	0 CARRERA 23	4.00	1	1.722	1	95.69 A40	0.448	1
185	0.04	0 CALLE 6	4.00	1	2.153	1	119.62 A40	0.224	1
187	0.02	0 CALLE 6	4.00	1	0.107	1	5.90 A40	0.112	1
188	0.05	0 CARRERA 23B	4.00	1	1.184	1	65.79 A40	0.280	1
189	0.02	0 CARRERA 23B	4.00	1	0.540	1	29.90 A40	0.112	1
191	0.03	0 CARRERA 23A	4.00	1	1.184	1	65.79 A40	0.168	1
195	0.03	0 CALLE 6A	4.00	1	0.861	1	47.85 A40	0.168	1
196	0.02	0 CARRERA 23	4.00	1	0.431	1	23.92 A40	0.112	1
197	0.03	0 CARRERA 23A	4.00	1	2.046	1	113.64 A40	0.168	1
198	0.01	0 CALLE 6A	4.00	1	0.323	1	17.94 A40	0.056	1
200	0.02	0 CARRERA 23	4.00	1	0.431	1	23.92 A40	0.112	1
201	0.02	0 CARRERA 23A	4.00	1	0.215	1	11.96 A40	0.112	1
203	0.07	0 CARRERA 26	4.00	1	1.507	1	83.73 A40	0.392	1
204	0.07	0 CARRERA 26	4.00	1	1.076	1	59.80 A40	0.392	1
206	0.04	1 CALLE 5	4.00	1	0.540	1	29.90 A21	0.224	1
207	0.07	0 CARRERA 27	4.00	1	2.440	1	135.56 A40	0.392	1
208	0.04	0 CALLE 6	4.00	1	0.861	1	47.85 A40	0.224	1
210	0.03	0 CARRERA 27	4.00	1	0.861	1	47.85 A40	0.168	1
212	0.06	0 CARRERA 27A	4.00	1	1.830	1	101.67 A40	0.336	1
214	0.03	0 CARRERA 27	4.00	1	1.399	1	77.75 A40	0.168	1
216	0.03	0 CARRERA 27B	4.00	1	1.938	1	107.65 A40	0.168	1
217	0.04	0 CARRERA 27B	4.00	1	2.046	1	113.64 A40	0.224	1
218	0.03	0 CALLE 9	3.50	1	0.646	1	35.88 A40	0.168	1
219	0.07	0 CARRERA 27A	4.00	1	2.799	1	155.50 A40	0.392	1
222	0.04	0 CARRERA 27A	4.00	1	1.722	1	95.69 A40	0.224	1
224	0.04	0 CARRERA 27B	4.00	1	1.830	1	101.67 A40	0.224	1
226	0.03	0 CARRERA 27B	4.00	1	1.184	1	65.79 A40	0.168	1
227	0.03	0 CARRERA 27B	4.00	1	1.399	1	77.75 A40	0.168	1
228	0.06	0 CALLE 8	4.00	1	2.907	1	161.48 A40	0.336	1
230	0.06	0 CALLE 7A	4.00	1	3.122	1	173.44 A40	0.336	1
231	0.03	0 CALLE 7	4.00	1	1.184	1	65.79 A40	0.168	1
232	0.03	0 CALLE 7	4.00	1	0.646	1	35.88 A40	0.168	1
233	0.03	0 CARRERA 28	4.00	1	1.615	1	89.71 A40	0.168	1
234	0.04	0 CARRERA 27C	4.00	1	1.830	1	101.67 A40	0.224	1
237	0.04	0 CARRERA 28	4.00	1	1.722	1	95.69 A40	0.280	1
238	0.05	0 CARRERA 27A	4.00	1	1.615	1	89.71 A40	0.280	1
240	0.05	0 CARRERA 27B	4.00	1	1.615	1	89.71 A40	0.280	1
241	0.02	0 CALLE 5A	4.00	1	0.540	1	29.90 A40	0.112	1
243	0.05	0 CARRERA 28	4.00	1	3.014	1	167.46 A40	0.280	1
244	0.03	0 CARRERA 27A	4.00	1	0.540	1	29.90 A40	0.168	1
245	0.03	1 CALLE 5	4.00	1	0.540	1	29.90 A21	0.168	1
246	0.08	1 CALLE 5	4.00	1	1.292	1	71.77 A21	0.448	1
249	0.04	1 CALLE 5	4.00	1	0.861	1	47.85 A21	0.224	1
250	0.02	0 CARRERA 28A	4.00	1	1.076	1	59.80 A40	0.112	1
252	0.02	0 CARRERA 28A	4.00	1	0.969	1	53.83 A40	0.112	1
253	0.01	0 CALLE 5A	4.00	1	0.431	1	23.92 A40	0.056	1
254	0.04	0 CALLE 5A	4.00	1	1.184	1	65.79 A40	0.224	1
255	0.04	1 CALLE 5	4.00	1	0.540	1	29.90 A21	0.224	1
256	0.08	0 CALLE 8A	4.00	1	3.445	1	191.39 A40	0.448	1
258	0.08	0 CALLE 9	4.00	1	1.938	1	107.65 A40	0.448	1
260	0.02	0 CALLE 8	4.00	1	0.646	1	35.88 A40	0.112	1
261	0.02	0 CALLE 8	4.00	1	0.431	1	23.92 A40	0.112	1
262	0.04	0 CARRERA 29	4.00	1	2.584	1	143.54 A40	0.224	1
263	0.02	0 CALLE 9	3.50	1	1.292	1	71.77 A40	0.112	1
264	0.05	0 CARRERA 27	4.00	1	1.722	1	95.69 A40	0.280	1
267	0.03	0 CARRERA 26	4.00	1	1.077	1	59.81 A40	0.168	1
269	0.05	0 CALLE 9	3.50	1	0.431	1	23.92 A40	0.280	1
270	0.10	0 CALLE 8	3.50	1	0.430	1	23.00 A40	0.560	1
273	0.02	0 CARRERA 22	4.00	1	0.430	1	47.85 A40	0.112	1
274	0.03	0 CARRERA 22	4.00	1	0.431	1	23.92 A40	0.168	1
275	0.01	0 CALLE 6A	4.00	1	0.754	1	41.87 A40	0.056	1
277	0.06	0 CARRERA 27C	4.00	1	1.292	1	71.77 A40	0.336	1

**Tabla A 2.7** Datos de entrada a la capa de nodos del sistema de información geográfica

ID	Longitude	Latitude	Depots	ID	Longitude	Latitude	Depots
1	-86041851	-4389672	1	67	-86045891	-4385702	--
2	-86045132	-4388781	--	68	-86046743	-4384676	--
3	-86045006	-4388344	--	69	-86047344	-4385943	--
4	-86041780	-4389208	--	70	-86046367	-4386587	--
5	-86041690	-4388781	--	71	-86046585	-4386984	--
6	-86044863	-4387961	--	72	-86047284	-4386625	--
7	-86044747	-4387551	--	73	-86047025	-4386153	--
8	-86041583	-4388353	--	74	-86047713	-4385486	--
9	-86041494	-4387916	--	75	-86047227	-4384410	--
10	-86044577	-4387150	--	76	-86046949	-4383901	--
11	-86044461	-4386695	--	77	-86046032	-4384403	--
12	-86043558	-4386998	--	78	-86046280	-4384919	--
13	-86043654	-4387379	--	79	-86045837	-4383983	--
14	-86044345	-4386312	--	80	-86046746	-4383518	--
15	-86043433	-4386588	--	81	-86046167	-4382432	--
16	-86044220	-4385902	--	82	-86045649	-4382716	--
17	-86043299	-4386196	--	83	-86046234	-4383780	--
18	-86042164	-4386481	--	84	-86045235	-4382896	--
19	-86042449	-4387679	--	85	-86047445	-4384710	--
20	-86042346	-4387247	--	86	-86047911	-4384170	--
21	-86041422	-4387470	--	87	-86048227	-4384493	--
22	-86041324	-4387052	--	88	-86047874	-4384995	--
23	-86042252	-4386853	--	89	-86045438	-4384717	--
24	-86041225	-4386668	--	90	-86045130	-4384058	--
25	-86041126	-4386238	--	91	-86045725	-4383781	--
26	-86043111	-4385773	--	92	-86044659	-4384312	--
27	-86042981	-4385338	--	93	-86045479	-4383336	--
28	-86041002	-4385729	--	94	-86044452	-4383905	--
29	-86042829	-4384891	--	95	-86047363	-4383136	--
30	-86041932	-4385137	--	96	-86047618	-4383031	--
31	-86041994	-4385533	--	97	-86048114	-4383901	--
32	-86042728	-4384507	--	98	-86047477	-4383352	--
33	-86043221	-4384368	--	99	-86046826	-4383669	--
34	-86043347	-4384715	--	100	-86049193	-4383312	--
35	-86044062	-4384494	--	101	-86048215	-4381446	--
36	-86044239	-4384904	--	102	-86048689	-4381191	--
37	-86043486	-4385130	--	103	-86049200	-4382106	--
38	-86044432	-4385298	--	104	-86048696	-4382364	--
39	-86044640	-4385733	--	105	-86050312	-4384241	--
40	-86043705	-4383722	--	106	-86049583	-4384084	--
41	-86044217	-4383445	--	107	-86049095	-4380981	--
42	-86045013	-4385008	--	108	-86050786	-4384174	--
43	-86044776	-4386586	--	109	-86051184	-4383972	--
44	-86044511	-4385785	--	110	-86049681	-4381146	--
45	-86045231	-4387147	--	111	-86049967	-4381011	--
46	-86044871	-4386000	--	112	-86050297	-4381648	--
47	-86044610	-4386083	--	113	-86052425	-4383050	--
48	-86045534	-4387059	--	114	-86052086	-4382405	--
49	-86045212	-4386051	--	115	-86050733	-4383125	--
50	-86045920	-4386933	--	116	-86050922	-4383481	--
51	-86045029	-4387235	--	117	-86051936	-4382952	--
52	-86045130	-4387595	--	118	-86050513	-4382711	--
53	-86046230	-4387216	--	119	-86051297	-4382300	--
54	-86044800	-4387739	--	120	-86051087	-4381918	--
55	-86046451	-4387475	--	121	-86050313	-4382334	--
56	-86045889	-4387727	--	122	-86050699	-4382127	--
57	-86045977	-4387985	--	123	-86050380	-4380779	--
58	-86045314	-4388225	--	124	-86049287	-4381343	--
59	-86045250	-4387973	--	125	-86050985	-4380401	--
60	-86045800	-4387796	--	126	-86050852	-4380484	--
61	-86045176	-4385497	--	127	-86050526	-4379966	--
62	-86045664	-4386366	--	128	-86051017	-4379570	--
63	-86046100	-4386164	--				
64	-86045679	-4385235	--				
65	-86047145	-4385639	--				
66	-86046957	-4385145	--				
67	-86045891	-4385702	--				

**ANEXO No 3**

**Figura A 3.1.** Tipos de recipientes usados para almacenar los residuos sólidos domiciliarios



**Figura A 3.2.** Tipos de bolsas usadas para almacenar los residuos sólidos domiciliarios.



**Figura A 3.3.** Tipos de recipientes usados para almacenar los residuos sólidos comerciales e institucionales



**Figura A.3.4.** Factores que influyen el rendimiento de recolección de los residuos sólidos.



Figura A 3.5. Estado de las vías de acceso a los lugares de recolección



Figura A 3.6. Estaciones de recolección de residuos sólidos



**Figura A 3.7.** Recolectores en el parque automotor del municipio de Popayán



**Figura A 3.8.** Recolección de residuos sólidos

