

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**DISEÑO DE MACRO Y MICRO RUTAS DEL SISTEMA DE
RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DEL GOBIERNO
AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE PEDRO
MONCAYO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

PRADO RUANO, CRISTIAN PAUL

cristian.prado@epn.edu.ec

SALGADO RODRÍGUEZ, VIVIANA CAROLINA

viviana.salgado@epn.edu.ec

DIRECTOR: Prof. Ing. CÉSAR ALFONSO NARVÁEZ RIVERA M.Sc.

cesar.narvaez@epn.edu.ec

Quito, junio 2021

DECLARACIÓN

Nosotros, **Prado Ruano, Cristian Paul y Salgado Rodríguez, Viviana Carolina** declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

PRADO CRISTIAN

SALGADO VIVIANA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Prado Ruano Cristian Paul y Salgado Rodríguez Viviana Carolina, bajo mi supervisión.

Ing. César Narváez M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme gozar de buena salud y vida junto a mis seres queridos durante esta crisis mundial Covid-19, la cual deseo termine y deje de arrebatarnos la vida a seres inocentes.

A usted padre le agradezco infinitamente por su apoyo incondicional, dándome la mejor herencia posible, mi tan anhelada profesión.

Gracias a mi madre y mis hermanos que durante el transcurso de mi formación académica han sido siempre mi apoyo.

A ti abuelito querido porque eres quien guio mis pasos en los momentos precisos.

Al Ing. MSc. César Narváez por transmitirme su valioso conocimiento, brindarme su tiempo y guiarme en el desarrollo de este proyecto.

A mi compañera de aulas y de este proyecto de tesis Vivi, gracias a tu responsabilidad, compañerismo y comprensión hemos conseguido llegar al éxito.

Gracias a mi amada Elizabeth, por sus palabras de aliento e incentivo que me motivaron para concluir con esta etapa de mi vida estudiantil.

Cristian Prado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme presentado las oportunidades para poder concluir con mis estudios y permitirme poder compartir este momento de felicidad con las personas que amo, mi familia que siempre ha estado apoyándome, agradeciéndoles a mis papás Eduardo y Mercy por su gran trabajo en ser mis guías, les agradezco por todos sus consejos, sus palabras de motivación, su apoyo incondicional. A mis hermanos Lorena y Eduardo por estar siempre en el proceso de mi formación, siendo un ejemplo para mí de esfuerzo y trabajo duro. A mi sobrino Gabriel quien con su ternura y ánimos me ha incentivado a ser una excelente persona y profesional.

Agradezco a las autoridades de la carrera y a mis profesores por compartirnos su conocimiento y experiencia con la convicción de formar futuros profesionales que serán parte importante en el desarrollo y construcción de un mejor país. A mis amigos quienes fueron una parte fundamental en mi educación compartiendo conmigo buenos y malos momentos, hermosos días de mi vida universitaria.

A mi tutor de tesis el Ing. César Narváez MSc, siendo una guía en el proceso hasta la culminación de este proyecto con su experiencia y apoyo.

A Víctor quien con su compañerismo, amor, paciencia y amistad incondicional me ha apoyado e inspirado en ser una excelente profesional.

Les agradezco de corazón a las personas que con mucho cariño han sido un aporte en mi vida con sus consejos, ánimos, motivación y apoyo, gracias a esos gestos pude culminar mi trabajo y ahora siento una felicidad infinita porque disfrute cada paso de ese camino que fue crucial en mi formación.

Viviana Salgado Rodríguez

DEDICATORIA

De manera muy especial a mi amado padre, mi ejemplo a seguir, tu dedicación y responsabilidad como profesional me motivaron siempre a salir adelante ante cualquier adversidad. Gracias a tu trabajo, sacrificios y esfuerzos he logrado alcanzar uno de los logros más importantes en mi vida.

A mí porque soy el protagonista de esta carrera universitaria, porque junto a Dios he recorrido este camino de alegría, aventuras, esfuerzo y en varias situaciones de angustia. Por ser valiente y no rendirme.

A mi madre y mis hermanos por ser mi apoyo en los momentos más difíciles de mi etapa estudiantil.

A mi abuelito, que considero como mi segundo padre, gracias por tu apoyo.

Cristian Prado

DEDICATORIA

La culminación de este proyecto la dedico de todo corazón a mis padres sin ellos no lo habría logrado a mi padre Eduardo Salgado y mi madre Mercy Rodríguez, siendo las dos personas que más admiro en el mundo por su fortaleza y resiliencia de enfrentar cualquier circunstancia y nunca rendirse, por su honestidad y solidaridad, que me han enseñado que el camino para lograr mis sueños es el trabajo duro, humildad, compromiso, pasión y perseverancia y la persona que me he convertido hoy es gracias a ellos. Por todo su trabajo, dedicación y paciencia les dedico este trabajo. Gracias Madre y Padre.

También le dedico este trabajo a mi abuelita Libia Mejía, quien con mucho amor y cariño me ha compartido su fortaleza de mujer guerrera y ternura, a mis abuelitos Néstor Rodríguez, Luis Salgado y abuelita María Morales, aunque no estén conmigo en este momento estoy segura de que serían muy orgullosos por este gran logro que he culminado, y que han cuidado de mi desde el cielo siendo mi inspiración para seguir adelante.

Viviana Salgado Rodríguez

INDICE

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	V
CAPITULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	3
1.3.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	4
1.3.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	5
1.4. ALCANCE.....	6
CAPÍTULO 2	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. RESIDUOS SÓLIDOS.....	7
2.1.1. GENERALIDADES	7

2.1.2.	PRODUCCIÓN PER CÁPITA (PPC)	9
2.1.3.	RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES	9
2.1.4.	GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES ZONA URBANA Y RURAL	11
2.1.5.	GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	14
2.2.	SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS.....	15
2.2.1.	GENERALIDADES	15
2.2.2.	MÉTODOS DE RECOLECCIÓN	16
2.2.2.1.	Esquina o de Parada Fija	17
2.2.2.2.	Convencional (nivel de acera)	17
2.2.2.3.	“Llevar y Traer” o Intradomicilio”	18
2.2.2.4.	Contenedores	18
2.2.3.	FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN	18
2.2.4.	EQUIPOS DE RECOLECCIÓN.....	20
2.2.5.	ANÁLISIS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS.....	22
2.3.	PARÁMETROS DE DISEÑO DE MACRO RUTAS DE RECOLECCIÓN.....	22
2.3.1.	DENSIDAD DE POBLACIÓN.....	23
2.3.2.	GENERACIÓN DE RESIDUOS	23
2.3.3.	EQUIPO DE RECOLECCIÓN	23

2.3.4.	FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN	24
2.3.5.	NÚMERO DE VIAJES	24
2.3.6.	TIEMPO DE RECOLECCIÓN	25
2.4.	MICRO RUTAS DE RECOLECCIÓN	25
2.4.1.	PARÁMETROS DE DISEÑOS DE MICRO RUTAS	25
2.4.2.	MÉTODOS DE DISEÑO DE MICRO RUTAS.....	26
2.4.2.1.	Método Heurístico	27
2.4.2.2.	Métodos Determinísticos	27
2.4.2.3.	Grafos Eulerianos	28
2.4.2.4.	Grafos no Eulerianos.....	28
2.4.2.5.	Algoritmos asociados al problema	29
2.4.2.6.	Algoritmo de Dijkstra	29
2.4.2.7.	Algoritmo de Fleury.....	30
2.5.	DESCRIPCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO	31
2.5.1.	COMPONENTES QUE FORMAN PARTE DEL RELLENO SANITARIO.....	32
2.5.1.1.	Manual.....	32
2.5.1.2.	Semi-mecanizado	33
2.5.1.3.	Mecanizado	33
2.5.2.	GENERACIÓN DE LIXIVIADOS.....	33

2.6.	MARCO LEGAL Y NORMATIVA VIGENTE RELACIONADA CON EL SECTOR	35
2.6.1.	CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR	35
2.6.2.	CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN (COOTAD)	36
2.6.3.	CÓDIGO ORGÁNICO AMBIENTAL (COA)	36
2.6.4.	TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE (TULSMA)	40
	CAPITULO 3	42
3.	METODOLOGÍA.....	42
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	42
3.1.1.	UBICACIÓN.....	42
3.1.2.	DEMOGRAFÍA	45
3.1.3.	MORFOLOGÍA	49
3.1.4.	RECOLECCIÓN DE RESIDUOS	57
3.2.	TRABAJO DE CAMPO.....	58
3.2.1.	RECORRIDO DE RECOLECCIÓN EN LA ZONA URBANA	58
3.2.1.1.	Ruta 1: martes, jueves y sábado (residuos inorgánicos).....	58
3.2.1.2.	Ruta 2: martes, jueves y sábado (residuos inorgánicos).....	59
3.2.1.3.	Ruta 3: lunes, miércoles y viernes (residuos orgánicos)	61

3.2.2.	RECORRIDO DE RECOLECCIÓN EN LA ZONA RURAL	62
3.2.3.	CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	65
3.2.3.1.	Composición.....	65
3.2.3.2.	Peso Especifico	66
3.2.4.	ENCUESTA DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS	68
3.2.4.1.	Cálculo del tamaño de la muestra	69
3.2.4.2.	Determinación de la muestra de acuerdo con la zona de estudio	69
3.3.	DISEÑO DE MACRO RUTAS.....	71
3.3.1.	SECTORIZACIÓN.....	71
3.3.1.1.	Vías	71
3.3.1.2.	Poblados.....	72
3.3.1.3.	Determinación de la producción de residuos	73
3.3.1.4.	Determinación de la eficiencia de recolección actual.....	75
3.3.1.5.	Cálculo del número de sectores	75
3.3.2.	ZONIFICACIÓN	76
3.3.2.1.	Cálculo de la capacidad de los vehículos recolectores	76
3.3.2.2.	Cálculo de la frecuencia de recolección	76
3.3.2.3.	Cálculo del número de viajes y zonas operativas	77
3.4.	DISEÑO DE MICRO RUTAS	78

3.4.1.	ANÁLISIS DEL PLANO VIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	78
3.4.2.	MÉTODO DE RECOLECCIÓN Y TIPO DE VEHÍCULOS.....	79
3.4.2.1.	Método de recolección	79
3.4.2.2.	Tipo de Vehículo.....	80
3.4.3.	DISEÑO DE GRAFOS	81
3.4.3.1.	Simplificación de la red vial.....	81
3.4.3.2.	Diseño de micro rutas con el Programa GRAFOS-V. 1.3.5.	82
3.5.	PREDISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO.....	88
3.5.1.	INFRAESTRUCTURA.....	88
3.5.1.1.	INFRAESTRUCTURA EXTERNA.....	89
3.5.1.2.	INFRAESTRUCTURA INTERNA	90
3.5.2.	FRENTE DE TRABAJO	92
3.5.2.1.	Cantidad de residuos sólidos	92
3.5.2.2.	Volumen de residuos sólidos compactados	93
3.5.2.3.	Material de Cubierta	94
3.5.2.4.	Prediseño de Celdas	95
3.5.2.5.	Volumen de la plataforma.....	97
3.5.3.	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS Y TRATAMIENTO....	98
3.5.3.1.	Producción de lixiviado.....	98

3.5.3.2. Sistema de Drenaje	99
3.5.3.3. Tratamiento de Lixiviado.....	100
CAPÍTULO 4	103
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	103
4.1 ANÁLISIS DE RUTAS ACTUALES DE RECOLECCIÓN	103
4.1.1 ANÁLISIS TÉCNICO	103
4.1.2 ANÁLISIS ECONÓMICO	103
4.1.3 ANÁLISIS SOCIAL	105
4.1.3.1 Tabulación de encuesta de satisfacción a la población de Pedro Moncayo	105
4.2 PROPUESTA DE REDISEÑO DE RUTAS OPTIMIZADAS.....	119
4.2.1 PROPUESTA DE MACRO RUTAS DE RECOLECCIÓN	119
4.2.1.1 Capacidad de carga de los camiones recolectores.....	120
4.2.1.2 Definición de la frecuencia de recolección	120
4.2.1.3 Diseño definitivo de macro rutas de recolección	123
4.2.2 PROPUESTA DE MICRO RUTAS	123
4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS	141
4.3.1 Medición de mejoras obtenidas con el modelo propuesto.....	141
4.3.2 Parámetros de diseño	141
4.4 COSTOS DEL SISTEMA PLANTEADO	142

4.4.1	COSTOS REDISEÑO DE RUTAS DE RECOLECCIÓN.....	142
4.5	PREDISEÑO DE RELLENO SANITARIO.....	144
4.5.1	PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN Y PPC	144
4.5.2	CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	145
4.5.3	VOLUMEN Y ÁREA REQUERIDA PARA EL PREDISEÑO DEL RELLENO SANITARIO	146
4.5.3.1	Volumen de residuos sólidos.....	146
4.5.3.2	Dimensiones de las celdas diarias	148
4.5.3.3	Volumen de la plataforma.....	149
4.5.3.4	Generación de Lixiviados	149
	CAPÍTULO 5	151
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	151
5.1.	CONCLUSIONES.....	151
5.2.	RECOMENDACIONES	153
	BIBLIOGRAFÍA.....	155
	ANEXO 1 PROPUESTA DE MICRO RUTAS DE RECOLECCIÓN	169
	ANEXO 2 CÁLCULOS DEL PROYECTO.....	170
	ANEXO 3 FORMULARIO DE ENCUESTA.....	176
	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Descripción de categorías de residuos sólidos</i>	7
Tabla 2	<i>La recolección es realizada considerando dos sectores de atención</i>	19
Tabla 3	<i>División de la ciudad en 3 sectores</i>	19
Tabla 4	<i>Equipos de recolección de residuos sólidos</i>	20
Tabla 5	<i>Límites de velocidad de movilización del camión recolector</i>	22
Tabla 6	<i>Límites territoriales del cantón Pedro Moncayo</i>	42
Tabla 7	<i>Crecimiento poblacional del cantón Pedro Moncayo</i>	45
Tabla 8	<i>Evolución de la tasa del crecimiento poblacional</i>	46
Tabla 9	<i>Proyección de la población del cantón de Pedro Moncayo</i>	48
Tabla 10	<i>Proyección de la población por parroquia</i>	48
Tabla 11	<i>Abastecimiento del servicio de recolección de residuos por parroquia</i>	57
Tabla 12	<i>Recolección residuos inorgánicos Tabacundo Urbano</i>	59
Tabla 13	<i>Recolección residuos inorgánicos Tabacundo Urbano</i>	60
Tabla 14	<i>Recolección residuos orgánicos Tabacundo Urbano</i>	61
Tabla 15	<i>Recolección de las parroquias rurales del cantón</i>	62
Tabla 16	<i>Caracterización de residuos sólidos en zonas rurales y urbanas</i>	66
Tabla 17	<i>Pesos específicos de los residuos orgánicos de la zona urbana</i>	66
Tabla 18	<i>Pesos específicos de los residuos inorgánicos de la zona urbana</i>	67
Tabla 19	<i>Pesos específicos de los residuos orgánicos e inorgánicos de la zona rural</i>	67
Tabla 20	<i>Descripción de las vías en el cantón Pedro Moncayo</i>	71

Tabla 21 <i>Centros Poblados y Caseríos</i>	73
Tabla 22 <i>Datos históricos de la generación de residuos sólidos de Pedro Moncayo</i>	74
Tabla 23 <i>Frecuencia de Recolección Máxima de Pedro Moncayo</i>	77
Tabla 24 <i>Trazados para diseñar las rutas de recolección</i>	80
Tabla 25 <i>Instalaciones con sus respectivas extensiones a considerar</i>	91
Tabla 26 <i>Generación de Residuos totales proyectados del cantón Pedro Moncayo</i>	93
Tabla 27 <i>Densidades de residuos sólidos compactados</i>	93
Tabla 28 <i>Costos del sistema de recolección actual</i>	104
Tabla 29 <i>Propuesta de mejoras del servicio de recolección</i>	119
Tabla 30 <i>Capacidad de carga de los vehículos</i>	120
Tabla 31 <i>Frecuencia de recolección de acuerdo con la zona que corresponde cada parroquia</i>	122
Tabla 32 <i>Recorrido y tiempo empleado en la recolección actual</i>	123
Tabla 33 <i>Recorrido y tiempo empleado en la recolección propuesta</i>	124
Tabla 34 <i>CO₂ generado por consumo de diésel de los camiones recolectores</i>	126
Tabla 35 <i>Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RU1</i>	128
Tabla 36 <i>Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RU2</i>	129
Tabla 37 <i>Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR1</i>	131
Tabla 38 <i>Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR2</i>	133
Tabla 39 <i>Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR3</i>	135

Tabla 40 <i>Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR4</i>	136
Tabla 41 <i>Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR5</i>	137
Tabla 42 <i>Detalla los tiempos empleados para cubrir la zona RR6</i>	139
Tabla 43 <i>Indica los tiempos empleados para cubrir la zona RR8</i>	140
Tabla 44 <i>Comparación Modelo Establecido y Modelo Propuesto</i>	141
Tabla 45 <i>Reducción del impacto ambiental</i>	142
Tabla 46 <i>Costos establecidos para el sistema de recolección</i>	142
Tabla 47 <i>Producción per cápita proyectada</i>	145
Tabla 48 <i>Cantidad de residuos sólidos proyectados</i>	145
Tabla 49 <i>Proyección del volumen de residuos</i>	147
Tabla 50 <i>Dimensiones de las celdas diarias</i>	148
Tabla 51 <i>Dimensiones y Volúmenes de las Plataformas</i>	149
Tabla 52 <i>Cálculo de lixiviados por año</i>	150

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Gestión de los GAD Municipales 2016-2018	10
<i>Figura 2.</i> Proyección de generación RSM en América Latina y el Caribe	11
<i>Figura 3.</i> Producción per cápita de RSM 2016-2018	12
<i>Figura 4.</i> Producción per cápita en el Ecuador-2016.....	13
<i>Figura 5.</i> Producción Per Cápita (kg/hab día) de RSM en zona urbana	13
<i>Figura 6.</i> Recolección diferenciada 2018	14
<i>Figura 7.</i> Etapas GIRS	15
<i>Figura 8.</i> Recolección de esquina o parada fija.....	17
<i>Figura 9.</i> Recolección convencional a nivel de acera.....	17
<i>Figura 10.</i> Recolección intradomicilio	18
<i>Figura 11.</i> Ejemplo de un grafo con nodos y arcos	28
<i>Figura 12.</i> Principio de optimalidad	29
<i>Figura 13.</i> Ejemplo del algoritmo de Fleury	30
<i>Figura 14.</i> Componentes de un relleno sanitario	31
<i>Figura 15.</i> Disposición final de los GAD en el Ecuador de sus RSM	32
<i>Figura 16.</i> Balance hídrico en un relleno sanitario.....	34
<i>Figura 17.</i> Mapa de ubicación del Cantón Pedro Moncayo	42
<i>Figura 18.</i> Mapa Político de Pedro Moncayo.....	44
<i>Figura 19.</i> Población total y tasas de crecimiento	45
<i>Figura 20.</i> Demografía por género del cantón Pedro Moncayo (Censo 2010).....	46
<i>Figura 21.</i> Crecimiento población durante 1990 a 2010	47
<i>Figura 22.</i> Mapa de cobertura del suelo	51

<i>Figura 23.</i> Expansión territorial de la Parroquia de Tabacundo	52
<i>Figura 24.</i> Características morfológicas de la parroquia La Esperanza	53
<i>Figura 25.</i> Características morfológicas de la parroquia Tupigachi	54
<i>Figura 26.</i> Características morfológicas de la parroquia Tocachi	55
<i>Figura 27.</i> Características morfológicas de la parroquia Malchingui	56
<i>Figura 28.</i> Recolección residuos inorgánicos Tabacundo Urbano	59
<i>Figura 29.</i> Recolección residuos inorgánicos Tabacundo Urbano	60
<i>Figura 30.</i> Recolección residuos orgánicos Tabacundo Urbano	62
<i>Figura 31.</i> Recolección residuos parroquia de Malchingui	63
<i>Figura 32.</i> Recolección residuos en la parroquia Tocachi	64
<i>Figura 33.</i> Recolección residuos en la parroquia de La Esperanza	64
<i>Figura 34.</i> Recolección residuos parroquia Tupigachi	65
<i>Figura 35.</i> Mapa vial del cantón Pedro Moncayo.....	72
<i>Figura 36.</i> Mapa Político Cantón Pedro Moncayo	73
<i>Figura 37.</i> Camiones recolectores.....	80
<i>Figura 38.</i> Simplificación de redes	81
<i>Figura 39.</i> Diseño ruta RU1-Tabacundo.....	82
<i>Figura 40.</i> Diseño ruta RU2-Tabacundo.....	83
<i>Figura 41.</i> Diseño ruta RR1-La Esperanza.....	83
<i>Figura 42.</i> Diseño ruta RR2-Tocachi	84
<i>Figura 43.</i> Diseño ruta RR2-Malchingui.....	84
<i>Figura 44.</i> Diseño ruta RR3-Tocachi	85
<i>Figura 45.</i> Diseño ruta RR3-Malchingui.....	85

<i>Figura 46.</i> Diseño ruta RR4-Malchinguí.....	86
<i>Figura 47.</i> Diseño ruta RR5-Tabacunfo Rural y la Y.....	86
<i>Figura 48.</i> Diseño ruta RR6-Tupigachi	87
<i>Figura 49.</i> Diseño ruta RR7-Tupigachi	87
<i>Figura 50.</i> Mapa de ubicación del relleno sanitario	89
<i>Figura 51.</i> Mapa de curvas de nivel del relleno sanitario.....	90
<i>Figura 52.</i> Mapa de instalaciones planificadas en el relleno sanitario	91
<i>Figura 53.</i> Celda Tipo 1	97
<i>Figura 54.</i> Red horizontal de zanjas de piedra, tipo espina de pescado.....	100
<i>Figura 55.</i> Secuencia del digester anaerobio	102
<i>Figura 56.</i> Total personas encuestadas	106
<i>Figura 57.</i> Personas encuestadas zona urbana	106
<i>Figura 58.</i> Personas encuestadas zona rural	107
<i>Figura 59.</i> Habitantes por domicilio zona urbana	108
<i>Figura 60.</i> Habitantes por domicilio zona rural	108
<i>Figura 61.</i> Condición de la calle frente a su vivienda zona urbana.....	109
<i>Figura 62.</i> Condición de la calle frente a su vivienda zona rural.....	110
<i>Figura 63.</i> Hogares con recolección por su vereda zona urbana.....	110
<i>Figura 64.</i> Hogares con recolección por su vereda zona rural.....	111
<i>Figura 65.</i> Calificación del servicio de recolección de basura zona urbana	112
<i>Figura 66.</i> Calificación del servicio de recolección de basura zona rural	112
<i>Figura 67.</i> Justificación de calificación del servicio zona urbana	113
<i>Figura 68.</i> Justificación de calificación del servicio zona rural	114

<i>Figura 69.</i> Frecuencia de recolección de basura en su barrio zona urbana.....	114
<i>Figura 70.</i> Frecuencia de recolección de basura en su barrio zona rural	115
<i>Figura 71.</i> Tiene problemas de la gestión de recolección zona urbana	115
<i>Figura 72.</i> Tiene problemas de la gestión de recolección zona rural	116
<i>Figura 73.</i> Problemas de la gestión de recolección zona urbana	116
<i>Figura 74.</i> Problemas de la gestión de recolección zona rural	117
<i>Figura 75.</i> Aspectos que podría mejorar el servicio zona urbana	118
<i>Figura 76.</i> Aspectos que podría mejorar el servicio zona rural	118
<i>Figura 77.</i> Micro rutas distribuidas en todo el cantón Pedro Moncayo.....	123
<i>Figura 78.</i> Diseño de micro ruta RU1-Tabacundo Urbano.....	127
<i>Figura 79.</i> Diseño de micro ruta RU2-Tabacundo Urbano.....	129
<i>Figura 80.</i> Diseño de micro ruta RR1-La Esperanza	130
<i>Figura 81.</i> Diseño de micro ruta RR2-Tocachi.....	132
<i>Figura 82.</i> Diseño de micro ruta RR2 - Malchingui Alto	132
<i>Figura 83.</i> Diseño de micro ruta RR3 - Tocachi.....	134
<i>Figura 84.</i> Diseño de micro ruta RR3 – Malchinguí Bajo	134
<i>Figura 85.</i> Diseño de micro ruta RR4 - Malchinguí	136
<i>Figura 86.</i> Diseño de micro ruta RR5 - Tabacundo Rural y la Y	137
<i>Figura 87.</i> Diseño de micro ruta RR6 – Tupigachi bajo	138
<i>Figura 88.</i> Diseño de micro ruta RR7 – Tupigachi.....	140
<i>Figura 89.</i> Diseño del contenedor como estación móvil	144

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

AIDIS: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

ALC: América Latina y el Caribe

AME: Asociación de Municipalidades Ecuatorianas

CEPIS: Sanitary Engineering and Environmental Science Center

COA: Código Orgánico Ambiental

COOTAD: Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado

GIRS: Gestión Integral de Residuos Sólidos

IEE: Instituto de Estudios Ecuatorianos

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

MAAE: Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador

OPS: Organización Panamericana de la Salud

PDOT: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

PNGIDS: Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos

PPC: Producción Per Cápita

PGI: Programa de Gestión Integral

RS: Residuos Sólidos

RSM: Residuos Sólidos Municipales

REP: Responsabilidad Extendida del Producto

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

RESUMEN

Eventualmente ha venido siendo un problema constante para los GAD Municipales coordinar y planificar una gestión integral de desechos sólidos debido al crecimiento poblacional, la inmigración y los asentamientos desorganizados en zonas de difícil acceso, de igual manera vienen de la mano con el estado de vías y conciencia de las personas en poder cooperar para que los sistemas de gestión den resultado y sean óptimos.

Pedro Moncayo está localizado en la provincia de Pichincha, situado al norte y se conformado de 5 parroquias: 4 son rurales (La Esperanza, Tocachi, Malchingui, Tupigachi) con poblaciones dispersas, donde presenta en ciertas zonas un difícil acceso y una parroquia urbana (Tabacundo) siendo su cabecera cantonal en la que se concentran zonas comerciales, financieras, educativas.

Es un cantón atractivo a la inmigración por sus fuentes de trabajo en florícolas, lo que presenta un constante crecimiento poblacional, y como resultado se generan problemas de abastecimiento de servicio básicos.

En la actualidad el GAD Municipal trabaja para poder llegar a todos los sectores con servicios básicos, en este caso con la gestión y recolección de residuos, evitando la propagación de enfermedades, pestes, roedores, daños ambientales y dando una buena imagen a la ciudad.

Actualmente el cantón cuenta con un sistema de recolección deficiente, por lo que se propone un nuevo diseño de recolección óptimo y eficiente, lo que permitirá disminuir costos y tiempos de recolección, a lo que se accederá a servir a más zonas y analizando nuevas estrategias para que todos los habitantes puedan acceder al servicio.

En el nuevo diseño de rutas se determinó las frecuencias donde se propone un sistema de recolección diario a la zona urbana con separación diferenciada intercalando la recolección de residuos orgánicos e inorgánicos, y en la zona rural una recolección de rutas compartidas en las parroquias que correspondan con baja

generación de residuos como Malchingui y Tocachi, de la misma manera en la zona de Tabacundo rural y Tupigachi que requiere dos rutas de recolección por la cantidad de su generación.

En total se tiene 9 rutas de recolección donde los operadores laboran de lunes a sábado para abastecer con el servicio al cantón, siendo 2 rutas en la zona urbana que se realizaran en horario nocturno y 6 rutas en la zona rural que se realizaran en horario matutino.

Para zonas de difícil acceso se han recomendado la implementación del sistema con contenedores fijos en zonas estratégicas con poca accesibilidad, y el aprovechamiento de sus residuos en el relleno sanitario consiguiendo mejoras ambientales, sociales y económicas dando cumplimiento a la legislación ambiental vigente.

Para el prediseño del relleno sanitario se propone una celda con vida útil de 15 años, que busca almacenar los residuos municipales de Pedro Moncayo, concluyendo con la recomendación de implementar una planta de tratamiento de lixiviados.

ABSTRACT

Eventually it has been a constant problem for the Municipal GADs to coordinate and plan an integral management of solid waste due to population growth, immigration and disorganized settlements in areas of difficult access, in the same way they come hand in hand with the state of roads and awareness of the people in being able to cooperate so that the management systems work and are optimal.

Pedro Moncayo is located in the province of Pichincha, located to the north and is made up of 5 parishes: 4 are rural (La Esperanza, Tocachi, Malchingui, Tupigachi) with dispersed populations, where it has difficult access in certain areas and an urban parish (Tabacundo) being its cantonal head in which commercial, financial and educational areas are concentrated.

It is an attractive canton for immigration due to its sources of work in floriculture, which presents a constant population growth, and as a result, problems of basic service supply are generated.

Currently the Municipal GAD works to reach all sectors with basic services, in this case with the management and collection of waste, avoiding the spread of diseases, pests, rodents, environmental damage and giving a good image to the city.

Currently the canton has a deficient collection system, so a new optimal and efficient collection design is proposed, which will reduce costs and collection times, which will allow access to serve more areas and analyze new strategies to that all inhabitants can access the service.

In the new route design, the frequencies where a daily collection system is proposed to the urban area with differentiated separation interspersing the collection of organic and inorganic waste was determined, and in the rural area a collection of shared routes in the parishes that correspond to low waste generation such as Malchingui and Tocachi, in the same way in the rural area of Tabacundo and Tupigachi that requires two collection routes for the amount of their generation.

In total, there are 9 collection routes where operators work from Monday to Saturday to supply the canton with the service, being 2 routes in the urban area that will be carried out at night and 6 routes in the rural area that will be carried out in the morning.

For areas of difficult access, the implementation of the system with fixed containers in strategic areas with little accessibility has been recommended, and the use of their waste in the sanitary landfill achieving environmental, social and economic improvements in compliance with current environmental legislation.

For the pre-design of the sanitary landfill, a cell with a useful life of 15 years is proposed, which seeks to store municipal waste from Pedro Moncayo, concluding with the recommendation to implement a leachate treatment plant.

PRESENTACIÓN

Propuesta de diseño técnico para la eficiencia y optimización en rutas actuales del sistema de recolección del Cantón Pedro Moncayo, logrando mayor eficiencia en su gestión, más cobertura de recolección y mejor servicio para los habitantes del cantón.

El proyecto se divide en cinco capítulos:

Capítulo 1: expone los objetivos, justificación del proyecto en base al análisis de la problemática que presenta el caso de estudio y el alcance del proyecto.

Capítulo 2: investigación y revisión bibliográfica acerca de gestión integral de residuos donde ahondamos en información sobre diseño de macro y micro rutas y a su vez la normativa legal.

Capítulo 3: describe la metodología que se aplica, diseño y procesamiento de datos de la investigación de campo.

Capítulo 4: se analiza los resultados del diseño de rutas propuesto de recolección, su optimización y eficiencia, un análisis de las rutas actuales y propuestas con la tabulación de encuestas realizadas a la población.

Capítulo 5: exposición de conclusiones y recomendaciones de la propuesta.

Anexos: se presenta detalle de los cálculos realizados, diseños de las rutas propuestas y formato de encuesta de satisfacción del servicio de recolección realizado a los habitantes del cantón Pedro Moncayo.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Los residuos sólidos, conocidos en la sociedad como “basura” representan un riesgo ambiental por su producción descontrolada, aportando al riesgo de contaminación e intoxicación en agua, tierra y aire, afectando de igual manera el paisaje (Juan, 2015). La contaminación de los recursos naturales ocasiona que la calidad de vida sea precaria incidiendo negativamente al bienestar de la población (Ávila, Nieto, Jiménez, & Osorio, 2011).

En la actualidad donde la urbanización va en aumento debida al crecimiento poblacional, la gestión de residuos es importante y requerida para considerar espacios sostenibles, sanos e inclusivas (Grupo Banco Mundial, 2018). Su elevada producción per cápita presiona al sistema de recolección a ser más eficientes y transportar mayor volumen de desechos a los rellenos sanitarios (Ávila, Nieto, Jiménez, & Osorio, 2011).

En América Latina y el Caribe, genera aproximadamente el 10 % de los residuos generados a nivel global, aunque los sistemas de recolección y gestión de los residuos han tenido sus mejoras en los últimos años, es alarmante que más de 40 millones de personas carezcan todavía de acceso a un servicio básico de recolección, y que alrededor de una tercera parte de los residuos generados, unas 145,000 toneladas al día acaben en basurales a cielo abierto, ocasionando graves impactos sobre la salud y el medio ambiente (ONU Medio Ambiente, 2018)

Debido al incremento de la población, la adaptación a una nueva generación, renovación de forma de vida, consumismo digital, segmentación etaria de familias, asimismo como modas no sostenibles, industriales y comerciales que incitan al consumo desmesurado adquiriendo productos manufacturados; consecuentemente se ha incrementado la producción de residuos urbanos (Betanzo, Torres, Romero, & Obregón, 2016).

En Ecuador se desecha aproximadamente 11,341 ton al día de residuos, o sea, aproximadamente 4'139,512 ton/año (MAE, 2015). En relación con su calidad, se clasifican: 61.4% como orgánicos, 9.4% papel + cartón, 11.0% plástico, 2.6% vidrio, 2.2% chatarra, y 13.4% otro (MAE, 2015). En el sector urbano y sub-urbano la población produce un promedio de 0.57 kg por habitante al día de residuos sólidos (INEC, 2015). Estos resultados son de un estudio realizado por el INEC en el 2010 en cooperación con la Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME), en 221 GAD ecuatorianos, desde el octavo mes del año 2014 a junio del 2015 (INEC, 2015).

La gestión de residuos interviene en la parte sociales, económicas, tecnológicas y ambientales, vinculando desde lo macro a lo micro en administraciones locales. (Betanzo, Torres, Romero, & Obregón, 2016). Se ha observado que alrededor del 90% de la población recibe servicios contratados de gestión de residuos por el municipio ya sea en forma parcial o total (Szanto Narea, 2008).

Los indicadores locales sobre la población del Cantón Pedro Moncayo en el Censo 2010 figura en relación de la población nacional el 0.23% y a nivel de la provincia de Pichincha el 1.29% (GAD Pedro Moncayo, 2018). El 69.68% de su población ocupa la zona rural (23,113 habitantes) y el 30.32% ocupa la zona urbana (10,059 habitantes) (GAD Pedro Moncayo, 2018).

Las rutas actuales del sistema de recolección del cantón Pedro Moncayo se han diseñado de manera intuitiva, de acuerdo con el crecimiento del cantón, sin pasar por un proceso de optimización, de acuerdo con la información obtenida (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019). De lo observado, los vehículos de recolección han superado su vida útil y no son suficientes para cubrir todas las zonas al contar con solo 2 camiones recolectores. Por lo que se aprecia deficiencias en la operación (por daño continuo de los camiones), mayor consumo de combustible y como consecuencia emisiones de gases contaminantes al ambiente. A esto se suma el tráfico y el ruido, produciendo un impacto en la comodidad y la salud de los habitantes.

En consecuencia, para mejora del servicio, se realizará un análisis comparativo de las actuales rutas con las sugeridas en el presente estudio, donde se optimizarán

los recursos, humanos y financieros. Los vehículos no deberán recorrer todo el cantón por las diferentes zonas sin la respectiva planificación, evitando tiempos muertos considerables, circulación reiterada en el mismo sitio o por áreas no requeridas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Rediseñar las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios del cantón Pedro Moncayo, desde la evaluación del sistema actual, con el fin de optimizar y mejorar el servicio de recolección para la población.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el sistema de recolección de residuos sólidos del Cantón Pedro Moncayo de la zona urbana y rural, a partir de un estudio de tiempos y movimientos de rutas de recolección existente.
- Determinar la producción per cápita y el peso específico de los residuos sólidos generados, mediante la toma de datos históricos.
- Diseñar las rutas optimizadas de recolección para cada zona a partir del análisis, con el fin de mejorar la eficiencia en el tiempo de recolección y transporte al sitio de disposición final.
- Dimensionar a nivel de prefactibilidad un relleno sanitario para el cantón objeto de este proyecto.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Debido al aumento exponencial de la generación de residuos e indicando una elevada composición de residuos inorgánicos, se desato un colapso en los rellenos sanitarios, es así como las competencias de aseo urbano se incluyeron en las agendas municipales como un problema a tratar y superar (Solíz, 2015).

Los cantones con mayor densidad poblacional, con actividades extractivas, agroindustriales y comerciales ya han presentado colapsos en sus sistemas de disposición final siendo Guayaquil en 1994 y Quito en 1999, lo que aún preocupa por su aumento descontrolado de habitantes y crecimiento urbanístico (Solíz, 2015).

En el análisis de generación de residuos se considera como un factor principal la densidad de población, aunque por otra parte existen cantones que han presentado solo desarrollo industrial sin aumentos en su población, presentando sistemas de gestión y disposición final colapsados e indicadores de generación de residuos per cápita altos (Solíz, 2015).

Antecedentes indican que solamente del 30% al 70% de residuos generados en localidades de países en desarrollo se recolecta para disposición final y los residuos sobrantes se arrojan a cuerpos de agua, calles y basurales a cielo abierto (Ezeah, Jak, & Roberts, 2013).

Usualmente, la planificación del sistema de gestión integral de residuos es competencia de los GAD Municipales, aun así, este servicio es inapropiado y no cumple con las necesidades y requerimientos de la población (Johannes, Arce-Jaque, Ravena, & Villamor, 2012).

Desde cierto punto de vista crítico, la gestión de residuos conlleva un análisis de recursos económicos, ambientales y sociales, siendo dejado de lado, vulnerando a recicladores y poblaciones cercanas a sitios de disposición final (Gutberlet, 2008).

1.3.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

De acuerdo con el COA, “los GAD Municipales o Metropolitanos tendrán la responsabilidad dentro de su jurisdicción de gestionar un sistema integral de residuos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios. Debiendo incorporar procesos idóneos de barrido, recolección y transporte, almacenamiento temporal de ser el caso, acopio y transferencia” (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2017).

Serán responsables los GAD de tratar y disponer de manera adecuada los residuos que no pueden incorporarse al ciclo de vida productivo, incorporando

técnicas que permitan la trazabilidad de estos (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

Las macro y micro rutas del sistema de recolección a elaborarse busca también que el GAD Municipal de Pedro Moncayo cumpla con sus responsabilidades dispuestas en la legislación ecuatoriana, de acuerdo con el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización donde establece que una de sus competencias primordiales que asumen los GAD es prestar un servicio integral del manejo de desechos sólidos (Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización, 2014).

1.3.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

En resultado al sistema de manejo de residuos del país, algunas locaciones que llevan a cabo los municipios han generado en ciertas zonas malestar de la población, debido a que no se brinda un servicio de calidad. Frente a esta situación, se ha acogido políticas con el fin de alcanzar un manejo integral que tengan concordancia con lo que proponen los convenios internacionales dentro de los parámetros de conservación del medio ambiente y calidad de vida (Rumiñahui, 2016).

A pesar de que la gestión de residuos actual no ha sido consolidada con estudios técnicos y una metodología de recolección integral, siendo su planificación de manera empírica, resultando con deficiencias de aplicación y alcance en la gestión, lo que presenta desigualdad del servicio entre las diferentes zonas, urbanos y rurales del cantón de Pedro Moncayo.

El sistema integral de residuos comunes domiciliarios es importante como indicador, para mejorar el servicio de aseo urbano y, concluyente en establecer la calidad de vida y ornato del cantón Pedro Moncayo.

La defectuosa y empírica gestión de residuos sólidos ha ocasionado deterioro para el medio ambiente, tomando importante la implementación técnica de un sistema de rutas de recolección, teniendo como resultado una optimización y eficiencia en el manejo de residuos, de esa manera la población pueda recibir el

servicio, evitando enfermedades y desarrollándose en un espacio equilibrado (Martínez, 2013).

Es así como la responsabilidad de procurar la cobertura global del servicio garantizando la calidad de vida recae en el GAD Municipal de Pedro Moncayo, mejorando el alcance que presenta en la actualidad el diseño de recolección, así como la eficiencia y optimización en tiempos y recursos que se emplean.

1.4. ALCANCE

Mediante un diseño de macro y micro rutas se definirá la metodología usando la formulación y definición de un problema, enfocando un proceso que refleje una solución para establecerlo en el mundo real de manera efectiva, para el ruteo del cantón Pedro Moncayo, priorizando zonas con mayor generación per cápita de desechos sólidos y considerando la separación diferenciada en desechos orgánicos e inorgánicos.

Se elaborará el diseño mediante una herramienta de AutoCAD y la generación de los mapas, los cuales serán utilizadas por el personal de recolección, estableciéndose de manera concisa y clara los puntos específicos de recolección con el objetivo de optimizar el tiempo de trabajo, reduciendo el uso de recursos (Fernández, 2010).

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. RESIDUOS SÓLIDOS

2.1.1. GENERALIDADES

De acuerdo como describe el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), “los residuos sólidos son cualquier sustancia, objeto, material o elemento sólido que no presenta características de peligrosidad, resultantes del consumo o uso de un bien tanto en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no tiene valor para quien lo genera, pero que es susceptible de aprovechamiento y transformación en un nuevo bien con un valor económico agregado” (Concejo Nacional de Competencias, 2019).

Los residuos particularmente se clasifican por orgánicos e inorgánicos y para su estudio se puede considerar su origen, condición, composición y riesgo, entre otros (ver tabla 1).

Tabla 1

Descripción de categorías de residuos sólidos

Categoría	Subcategoría	Descripción	Ejemplo
Origen	Domiciliar	Residen que provienen de hogares y su recolección lo realiza la municipalidad	Restos de alimentos, revistas, botellas, latas, plásticos y otros similares
	Industrial	Generados en actividades de diversas ramas industriales: minera, química, pesquera, etc.	Vidrios, plásticos, papeles, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias peligrosas.
	Comercial	Generados en tiendas, mercados, supermercados como parte de sus actividades.	Papeles, plásticos, residuos producto del aseo personal, latas.
	Agropecuario	Producto de las actividades agrícolas y pecuarias.	Envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos diversos.

	Espacios públicos	Producto de actividades de espacios públicos: parques, museos, etc.	Papeles, plásticos, envolturas, restos de plantas.
	Salud	Generados en hospitales, clínicas, centros, puestos de salud, consultorios clínicos, entre otros.	Agujas, gasas, algodones, órganos patológicos, restos de comida, papeles, embalajes.
	Construcción	Producto de actividades de construcción y demolición de obras: edificios, puentes, carreteras, entre otros.	Piedras, bloques de cemento, maderas, desmonte.
	Instalaciones de actividades especiales	Producidos en infraestructuras de gran dimensión, complejidad y riesgo en su operación	Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales, puertos, aeropuertos.
Condición	Seca	Residuos que se encuentran en estado sólido y seco.	Lata, empaque de galleta.
	Mojada	Residuos que se encuentran humedecidos o mojados.	Sobre de yogurt, cartón mojado.
Composición	Orgánica	Aquellos que se descomponen con facilidad.	Restos de alimentos, restos de poda de los jardines, papeles.
	Inorgánica	Aquellos que por sus características y composición se descomponen lentamente.	Algodón con sangre, agujas usadas, envases de ácidos.
Riesgos Potenciales	Peligrosos	Aquellos que en función a sus características o a al manejo al cuál van a ser sometidos pueden presentar riesgo para la salud pública o al ambiente.	Algodón con sangre, agujas usadas, envases de ácidos.
	No peligrosos	Aquellos que en función a sus características o a al manejo al cuál van a ser sometidos no presentan riesgo para la salud pública, ni causan efectos adversos o al ambiente.	Papeles, plásticos, metales.

Fuente: (Universidad Tecnológica de Monterrey, s.f.)

2.1.2. PRODUCCIÓN PER CÁPITA (PPC)

Indicador del proceso de generación de residuos que produce un individuo dentro de una población en el transcurso del día. Su magnitud tiene relación a las características socioeconómicas de los habitantes y cantidad de residentes de la zona de estudio (Muñoz, 2008).

A partir de la siguiente ecuación se aprecia un cálculo estimado de la PPC.

$$PPC = \frac{\text{Peso del residuo (kg/día)}}{\text{Número de habitantes (hab.)}} = \left[\frac{\frac{kg}{día}}{hab.} \right]$$

De acuerdo como establece (Muñoz, 2008) se aprecian los parámetros que repercuten en la PPC son:

- Disminución de generación de residuos en el origen, uso de materiales con vida útil prolongada y el aprovechamiento de materiales reciclados en la elaboración de productos.
- Reciclaje de diversos materiales como cartón, plásticos, vidrio, etc., por parte de gestores recicladores.
- Implementación de normativa local o nacionales en el manejo de residuos.

2.1.3. RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Actualmente la gestión de residuos municipales ha significado un desafío que enfrentan las ciudades y poblaciones de cualquier tamaño; considerándose un problema que debe ser asumido por los municipios, buscando solucionarlo en cada administración y consumiendo una considerable suma de recursos económicos asignados (ONU Habitat, 2017).

Los residuos sólidos municipales (RSM) desde su generación y manejo ha ido cambiando con el desarrollo urbano, económico e industrial de las ciudades. Actualmente se generan principalmente en zonas urbanas y áreas de influencia, donde, luego de que la sustancia, objeto o material tuvo un uso, pasa a dejar de tener una función y es desechado. Estos desperdicios pueden originarse en hogares, sitios privados y públicos, establecimientos comerciales y de servicios, etc. (Universidad para la Cooperación Internacional, s.f.).

De acuerdo con la derogada Ley Orgánica de Régimen Municipal del Ecuador de 1971, la gestión de residuos sólidos era función de los Municipios. Actualmente, se reconoce como competencia exclusiva de los GAD Municipales, la prestación del servicio para la gestión de residuos, como se presenta en la Constitución y el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD) (Concejo Nacional de Competencias, 2019).

El art. 275 del COOTAD indica “Los Gobiernos Autónomos Descentralizados regional, provincial distrital, o cantonal podrán prestar los servicios y ejecutar las obras que son de su competencia en forma directa, por contrato, gestión compartida por delegación a otro nivel de gobierno o cogestión con la comunidad y empresas de economía mixta” (...) (Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización, 2014).

Es así como de acuerdo con sus necesidades los GAD municipales implementan diferentes modelos para que sus habitantes puedan acceder con los sistemas de recolección.

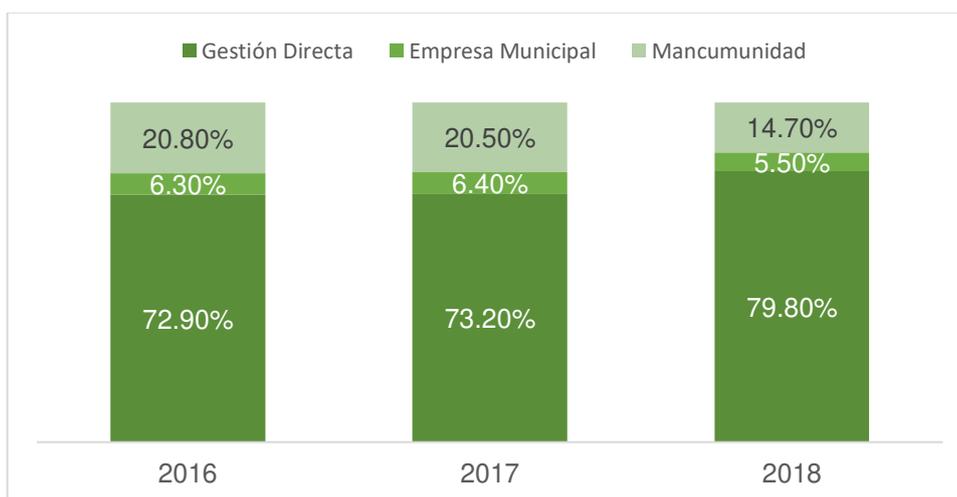


Figura 1. Gestión de los GAD Municipales 2016-2018

Fuente: (AME-INEC, 2020)

En 221 GAD municipales, los modelos de gestión utilizados varían de acuerdo con su necesidad, aunque siendo el de Gestión Directa en el 2018 el más utilizado con un 79.80% debido a que por medio de un departamento, unidad o dirección del municipio se trabaja de manera directa (Consejo Nacional de Competencias, 2019). Ver figura 1.

2.1.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES ZONA URBANA Y RURAL

La generación de RSM indica al valor total que se produce en un día dentro de una población; estando estrechamente relacionada con la cantidad y características de residuos generados, que se consideran como cuantificaciones para los modelos y proyecciones (Muñoz, 2008).

En América Latina y El Caribe, se estima que para el año 2014 la generación de residuos urbanos fue de 541,000 t/día, cifra que puede alcanzar al menos las 671,000 t/día para el año 2050, asumiendo la tasa de generación actual en promedio regional de 1.04 kg/hab. al día. Así y todo, a nivel de región más de 35,000 toneladas por día quedan sin recolectar, afectando a más de 40 millones de personas (7%). Esto incide generalmente sobre los pobladores de zonas marginales o rurales (ONU Medio Ambiente, 2018).

De acuerdo con la proyección de la (CEPAL, 2019) la generación de residuos sólidos se muestra constantemente en aumento hasta el año 2060 (figura 2), donde comienza su decaimiento a causa de daños ambientales lo que aumenta la tasa de mortalidad, concluyendo con riesgos significativos a la salud humana y grandes focos de contaminación al agua, aire y suelo.

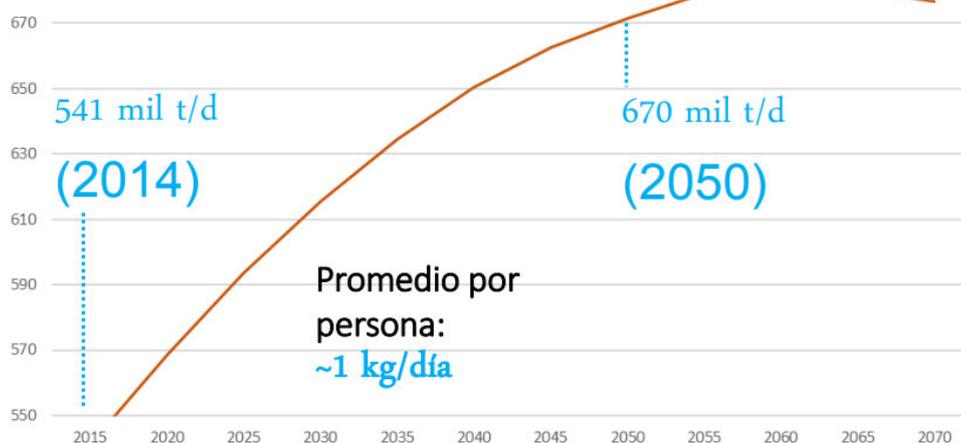


Figura 2. Proyección de generación RSM en América Latina y el Caribe

Fuente: (CEPAL, 2019)

En la generación de residuos en Ecuador se consideran varios factores como: los ingresos económicos, el tamaño de las ciudades, sus actividades económicas

y hábitos de consumo. Se puede establecer que, en cada región, en promedio se genera al día 0.86 kg/hab. en la zona urbana, que deben ser recolectados y tratados por los GAD Municipales. En la figura 3, indica la producción de residuos y su generación per cápita por región geográfica del Ecuador (AME-INEC, 2020).

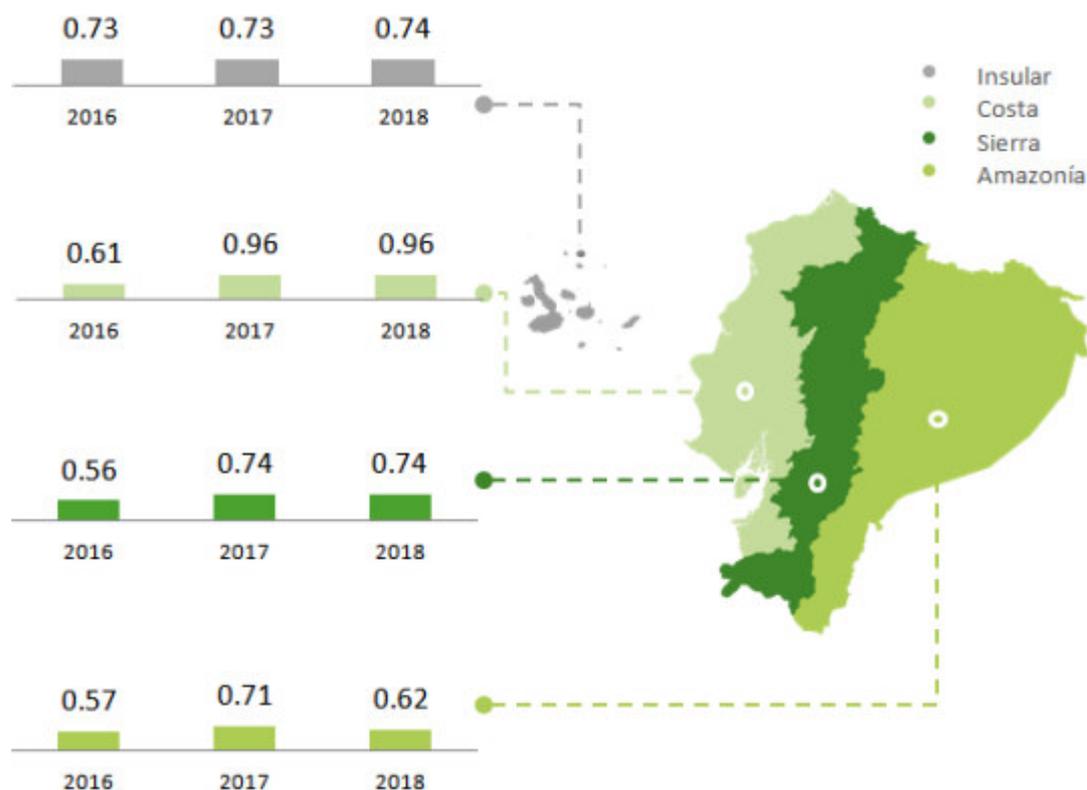


Figura 3. Producción per cápita de RSM 2016-2018

Fuente: (AME-INEC, 2020)

En la figura 4, se considera como un factor para clasificar la generación de RSM, la zona en la que se encuentra la población, siendo que el 58% de la generación per cápita en el Ecuador en el 2016 se produjo en las zonas urbanas, tan solo el 35% en zonas rurales y una producción del 7% como producción cero considerándose como la falta de información de los GAD municipales; o, por que no se realiza el servicio de recolección (Concejo Nacional de Competencias, 2019).

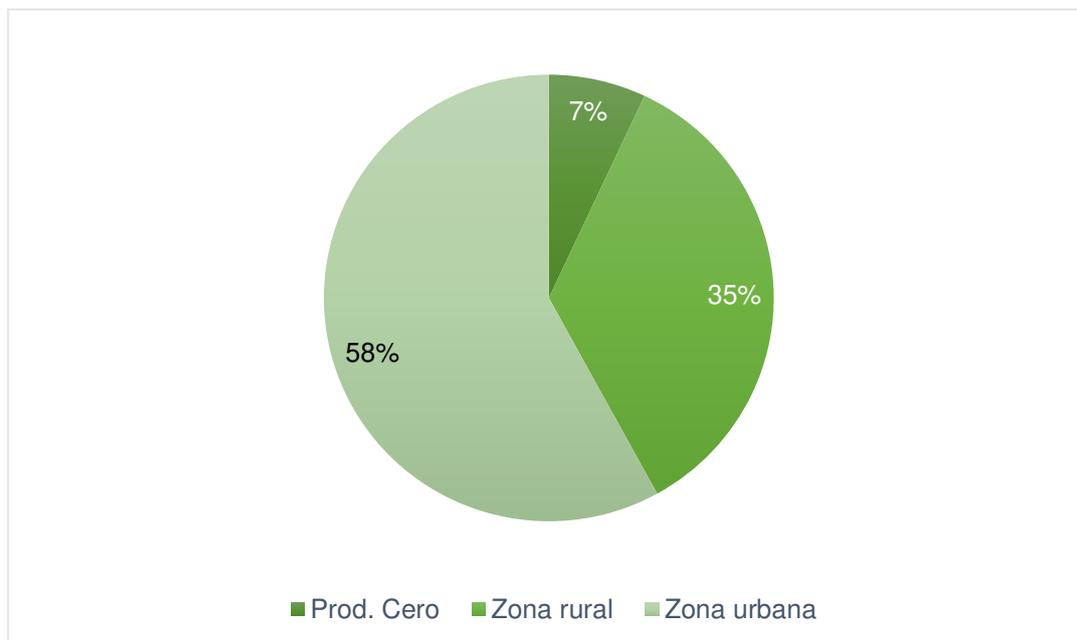


Figura 4. Producción per cápita en el Ecuador-2016

Fuente: (Concejo Nacional de Competencias, 2019)

Al hacer una comparación de los últimos años de la producción per cápita de generación de residuos, resulta que se da el aumento anual presionando a los gobiernos locales a implementar medidas más eficientes para su gestión de residuos. Ver figura 5.

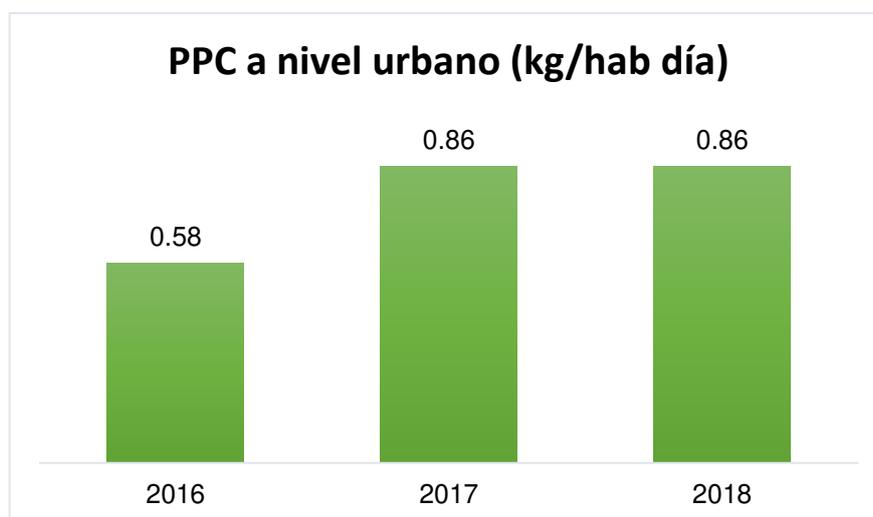


Figura 5. Producción Per Cápita (kg/hab día) de RSM en zona urbana

Fuente: (AME-INEC, 2020)

Hay que considerar que la propia naturaleza con la que están hechos los residuos los vuelve económicamente insostenibles, es así como se han ido incorporando medidas de separación desde la fuente, reciclaje y compostaje,

siendo una alternativa de aprovechamiento, pero se ve limitada por la optimización de costos, desarrollo, asentamientos y los sitios de instalación de unidades de procesos para la gestión (Broitman, Ofira, & Iddo, 2012).

En el 2018, en promedio se generó 12,739.01 ton. diarias de residuos sólidos a nivel nacional, donde el 84.70 % (10,791.03 ton/día) no se gestionó por separación diferenciada y el 15.30 % (1,948 ton/día) por separación diferenciada (AME-INEC, 2020). Ver figura 6.

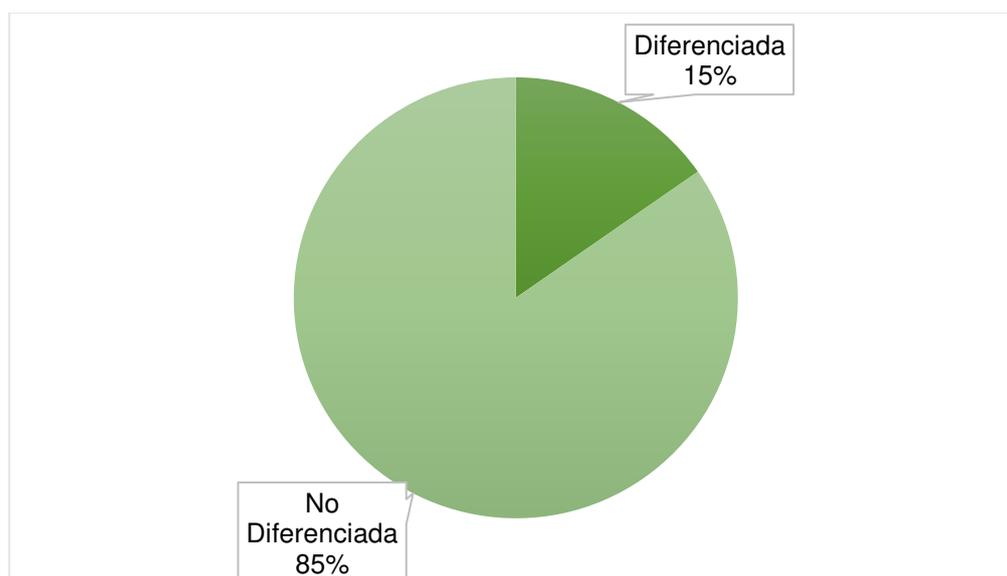


Figura 6. Recolección diferenciada 2018

Fuente: (AME-INEC, 2020)

2.1.5. GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Como problemática presente la producción de residuos sólidos resulta la limitada capacidad de la naturaleza para recibir el aumento desmedido de residuos y por el agotamiento progresivo de la disponibilidad de los recursos para tratarlos (GAD Pedro Moncayo, 2018).

Para manejar integralmente los residuos sólidos corresponde a la relación de varias actividades con el ciclo de vida del residuo, donde se evalúa desde su generación hasta su destino final. (Jiménez Martínez, 2015). Ver figura 7.

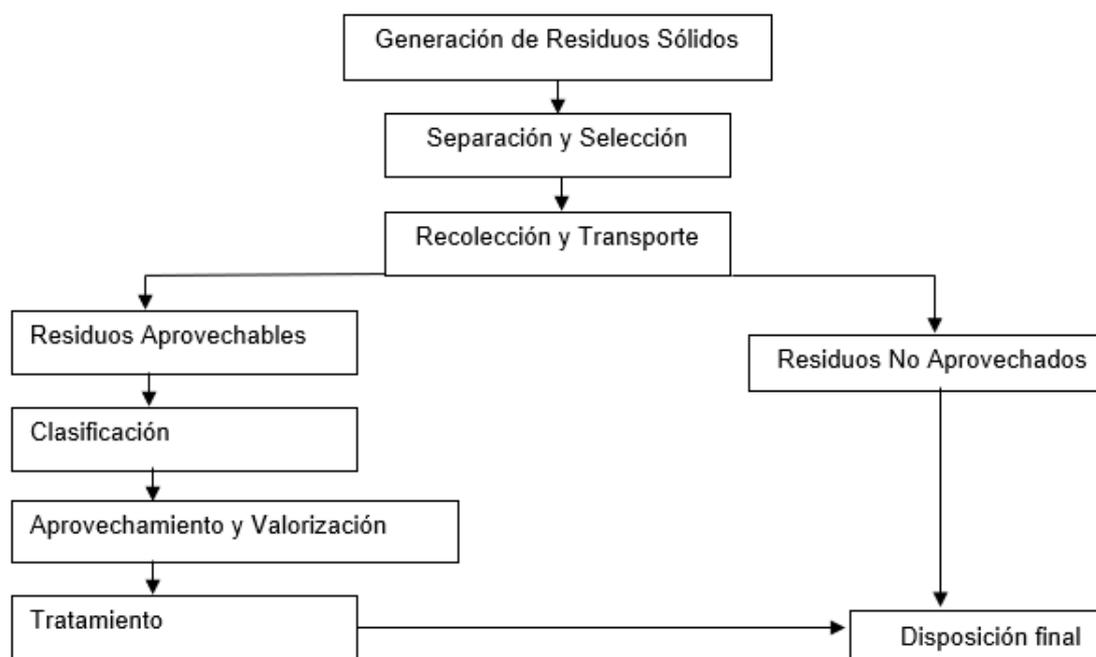


Figura 7. Etapas GIRS

Fuente: (Jiménez Martínez, 2015)

“Se conoce que en América Latina y El Caribe solo el 19.80% de los municipios cuentan con planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), y apenas el 2.20% tiene programas formales para reciclaje, la mayoría de los municipios delega esta tarea al sector informal conformado por personas de escaso nivel económico como un medio para generar algún ingreso en condiciones insalubres” (Consejo Nacional de Competencias, 2019).

Para la adecuada gestión integral de residuos es indispensable saber qué cantidad se genera a diario de residuos durante su proceso, incluyendo la recolección y transporte, debido a que si no se considera una etapa el sistema no es eficiente la gestión es incompleta (Muñoz, 2008).

2.2. SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

2.2.1. GENERALIDADES

Una etapa con mayor vinculación al sistema de salud pública es la recolección de los RSU. Después que se dio la expansión por enfermedades infecciosas en el siglo XIX, debido a la falta de esta actividad, llevó a los países a responsabilizarse y encargarse de este servicio (ONU Medio Ambiente, 2018).

Las cifras de cobertura de recolección de la región de América Latina y el Caribe indican un alcance del 89.90%; comparado con el promedio a nivel mundial es de 73.60%, teniendo un alto nivel de cobertura, que refleja la prioridad que le ha dado la región a este servicio, así también superando la cobertura de África (46%), sur de Asia (65%) y Medio Oriente y Norte de África (aproximadamente 85%) (Grau, Terraza, Rodríguez, Rihm, & Sturzenegger, 2015).

El sistema convencional utilizado para un correcto manejo de los residuos sólidos generados por una población comprende una serie de componentes concatenados entre sí, desde su origen hasta su disposición final (CEPAL, 2019).

Otras actividades importantes en la recolección son la separación y reciclaje o reutilización, mismas que son parte fundamental del manejo de los residuos sólidos municipales. Países de nuestra región continúan disponiendo de los desechos de una manera muy ambigua mediante las etapas de recolección, transporte y disposición de residuos en las afueras de las urbes. Cifras de América Latina y el Caribe indican que más del 2% en temas de reciclaje formal (Rondón, Szantó, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

2.2.2. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN

La fase de recolección implica entre el 80% y el 90% del costo total del servicio, siendo ésta una de las etapas de mayor costo y complejidad del manejo de residuos sólidos (CEPAL, 2019).

Dentro del sistema de recolección cabe recalcar que la selección del método a utilizarse es un factor muy importante, ya que este será un indicador del grado de efectividad del servicio con el propósito de mejorar su desempeño; éste se selecciona de acuerdo con las características demográficas, sociales y el grado de tecnificación de los vehículos recolectores se escogerá el método de recolección más adecuado (Márquez Pérez, s.f).

Aunque en su mayoría se emplea el método de parada fija y el convencional (acera) en zonas urbanas, y el método de contenedores en zonas rurales por su acceso más limitado, depende mucho de la localidad y costumbres de las personas que habitan en el lugar como del acceso.

2.2.2.1. Esquina o de Parada Fija

Se considera como uno de los métodos con menor costo aunque su eficiencia depende de la organización de los usuarios; donde el carro recolector tiene una parada fija donde se estaciona y los usuarios deben realizar una fila ordenada para poder entregar el recipiente a un operador que vacíe el contenido en el carro recolector y luego sea entregado al usuario y se retire de la fila, esta operación debe realizarse de manera consecutiva hasta que la fila termine y el servicio haya sido dado a todos los usuarios de esa zona, y continuar a la siguiente parada. Este método debe ser establecido en paradas y horarios ya establecidos para que los usuarios puedan sacar sus residuos (Gutiérrez Galicia, 2008). Ver figura 8.

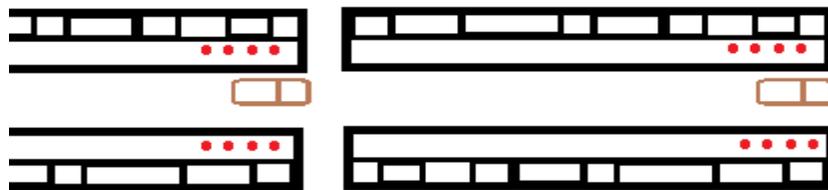


Figura 8. Recolección de esquina o parada fija

Fuente: (Prado & Salgado, 2021, 2020)

2.2.2.2. Convencional (nivel de acera)

Un método semi mecanizado, donde la participación de los usuarios es mediana y para su efectividad es necesario establecer horarios de recolección ya que los animales pueden romper las fundas, causando problemas al momento de la recolección; el usuario coloca sus residuos en la acera y el personal operativo toma los recipientes para colocarlos en el vehículo recolector. El vehículo deberá avanzar a bajas velocidades debido a que deben los operadores recolectar de cada acera de ambos sentidos los residuos. Ver figura 9.

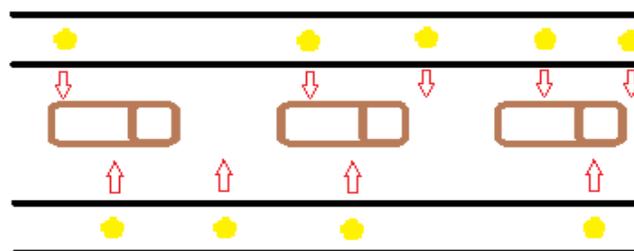


Figura 9. Recolección convencional a nivel de acera

Fuente: (Prado & Salgado, 2021, 2020)

2.2.2.3. “Llevar y Traer” o Intradomicilio”

Se considera como uno de los métodos más costoso en comparación con el de acera debido a que sus operadores deben de ingresar a las casas a recoger los recipientes con los residuos y una vez colocados en los contenedores del camión deben volver a ingresar a dejar el recipiente, lo que interviene tiempo y un número mayor de operadores para cubrir el servicio. Los usuarios no tienen participación en este método de recolección. Ver figura 10.

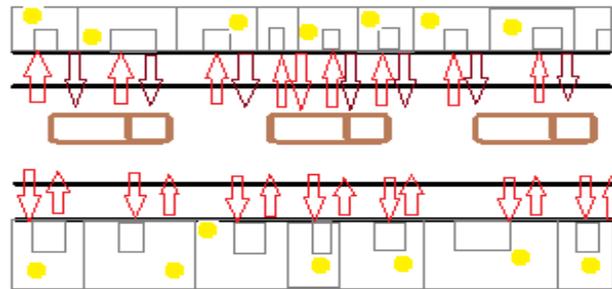


Figura 10. Recolección intradomicilio

Fuente: (Prado & Salgado, 2021, 2020)

2.2.2.4. Contenedores

Este método puede ser con contenedores fijos o móviles y es indispensable que el camión tenga acceso al punto, requiere un sistema mecanizado del camión recolector debido a que vacía y lo regresa a su misma posición. Se recomienda en lugares con acceso limitado o en lugares que presentan alta generación de residuos como mercados, escuelas, plazas y zonas rurales de poco acceso.

Estos contenedores fijos tienen una capacidad de 1 a 7 m³ y los móviles de más de 7 m³ y se requiere una ubicación y planificación de recolección estratégica que no pueda ser generador de vectores, transmisores de enfermedades.

2.2.3. FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN

Uno de los fundamentos que se considera en la frecuencia de recolección es la regularidad para desarrollarse desde puntos principales: domicilias, comercio, industria, oficinas y servicio de salud, también se toma en cuenta en función del clima del sitio. Por esto, para locaciones con climas cálidos se sugiere como estándar mínimo la recolección de tres veces por semana. Se debe advertir que los

desechos recolectados no excedan el volumen de capacidad y el tiempo de almacenamiento desde generación hasta la etapa de recolección y posterior disposición final no sobrepase el tiempo del ciclo de reproducción de la mosca, esto dependerá del clima, y será entre 7 a 10 días (Márquez Pérez, s.f). En consecuencia, por principios sanitarios es necesario tener una frecuencia igual o mayor de 2 veces por semana y, como estándar mínimo una frecuencia de una vez por semana debido a la proliferación de insectos y malos olores en los hogares (Racero & Pérez, 2006).

Según (Koei, 2017) manifiesta que la recolección puede realizarse de manera diaria o alternando los días, mientras menor sea la frecuencia, puede resultar más económicos los costos de recolección. Mientras que la periodicidad con la que se debe realizar el proceso de recolección de residuos se presenta a continuación con algunas opciones:

- Cuando la recolección se realiza todos los días de la semana, en consecuencia, la producción diaria de desechos es recolectada todos los días excepto los lunes, donde se recolecta lo que se ha generado en los últimos dos días.
- La recolección de residuos es realizada tres veces a la semana, por lo cual los restos son almacenados por más de un día en las viviendas.

Tabla 2

La recolección es realizada considerando dos sectores de atención

Sector 1 de atención	Lunes – Miércoles – Viernes
Sector 2 de atención	Martes – Jueves – Sábados

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)

- La recolección de desechos es ejecutada dos veces por semana. Por este motivo se divide la ciudad en tres sectores de acuerdo con el día de atención.

Tabla 3

División de la ciudad en 3 sectores

Sector 1 de atención	Lunes - Jueves
Sector 2 de atención:	Martes - Viernes
Sector 3 de atención:	Miércoles – Sábado

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)

De acuerdo con la frecuencia de recolección se podría considerar la cantidad, transportar y descarga de residuos en el relleno sanitario.

2.2.4. EQUIPOS DE RECOLECCIÓN

Lo que más se emplea para transportar residuos sólidos urbanos es el vehículo de motor; con sistemas neumáticos e hidráulicos. El vehículo recolector con mayor empleo a nivel nacional es el compactador, trasladando los residuos del sitio de generación al sitio de disposición final, o estación de transferencia en algunas localidades, siendo este el más adecuado por el tiempo de operación, pero el menos económico (Koei, 2017). Ver tabla 4.

Tabla 4

Equipos de recolección de residuos sólidos

Sistema	Equipo	Modelos
Sistema contenedor Transportado	Camión eleva contenedor <ul style="list-style-type: none"> • Emplea en regiones pequeñas que se recolecta habitualmente pocos sitios con producción considerable de residuos. 	
	Camión volquete <ul style="list-style-type: none"> • Adecuados para recolección en lugares con alta generación de residuos y empleo de enormes contenedores. 	
	Contenedor remolque <ul style="list-style-type: none"> • Preferibles para residuos pesados. Se emplea para la recolección en sitios de construcción y demolición. 	

Vehículos
Compactadores

- Su finalidad es disminuir el volumen, compactando los residuos para recolectar mayor cantidad de basura domiciliaria.
- Estos camiones tienen altos costos y solicitan de constantes revisiones mecánicas por los dispositivos especializados que lo componen.



Vehículos
recolectores de
caja abierta

- Se utilizan en pequeñas localidades, poseen usos prácticos porque puede ser empleado en diferentes tareas distintas a la recolección.
- Posee desventajas como el reducido almacenamiento y su falta de cubierta, quedando los residuos expuestos a ser arrojados durante el tratamiento de recolección.



Unidades de
recolección no
convencionales

- Carreta de mano
- Su capacidad puede variar entre 1 a 1.5 m³, realiza dos viajes en una jornada de 8 horas en sectores de baja producción de residuos.
 - Su desventaja más notoria es su baja velocidad de transporte, por lo que es adecuada sólo en lugares aledaños a la disposición final.



Carreta de mulas

- La capacidad de recolección que puede presentar es de 2 a 3 m³. Posee la similar desventaja que en el caso anterior.
- Esta carreta es ineficiente sino se emplea un sistema de transferencia.



Fuente: (Márquez Pérez, s.f)

Los equipos de recolección deben ser seleccionados dependiendo el uso que se les brindará en el sistema de recolección, especificando si su función es compactar, transportar, etc.

2.2.5. ANÁLISIS DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS

Los tiempos que se toma en recolección y movilización al lugar de descarga son relativamente constantes, pero el tiempo de trayecto depende de la velocidad y de la distancia.

Los límites de velocidad que un camión debe respetar varían de acuerdo en la zona que se encuentren, tienen márgenes distintos en las vías perimetrales, en las rectas y curvas de las carreteras, además, existen los rangos moderados que se describen en la tabla 5.

Tabla 5

Límites de velocidad de movilización del camión recolector

Tipo de vía	Limite	Rango moderado	Fuera de rango
Urbana	40km	Entre 40 y 50km	Sobre 50km
Perimetral	70km	Entre 70 y 90km	Sobre 95km
Rectas carreteras	70km	Entre 70 y 100km	Sobre 100km
Curvas carreteras	40km	Entre 40 y 60km	Sobre 60km

Fuente: (Ley organica de transporte terrestre, transito y seguridad vial, 2012)

Respetar los límites de velocidad establecidos y los tiempos de recolección que vayan acordes y sincronizados son de vital importancia para avanzar con un servicio de gestión eficiente.

2.3. PARÁMETROS DE DISEÑO DE MACRO RUTAS DE RECOLECCIÓN

(Díaz, 2013) establece parámetros que contribuyen para realizar un diseño de macro rutas son los métodos y frecuencia de recolección, la cantidad de desechos producidos, modelos y cantidad de vehículos disponibles para la acogida de los desechos urbanos. Los límites que se considera para establecer una macro ruta pueden ser naturales como cuerpos hídricos o relieves topográficos, o pueden ser de origen antrópico como calles y vías arteriales. En los siguientes literales, se puntualiza la incidencia de estos puntos.

2.3.1. DENSIDAD DE POBLACIÓN

Este factor señala la cantidad de pobladores que residen en un área determinada y por lo general se expresa como el número de personas por hectárea o unidades de vivienda por hectárea, también puede expresarse en otras unidades de superficie, tales como kilómetros cuadrados o acres (ONU Habitat, 2017).

La densidad en una ciudad no es constante y la media podría ser diferente de la densidad en un distrito o área urbana o rural, las zonas que poseen una alta densidad poblacional debido al crecimiento de habitantes en las últimas décadas producen una gran cantidad de residuos sólidos. Por tal motivo se calcula una proyección del número de ciudadanos para programar la adquisición y reposición de los equipos de recolección para un tiempo referencial de diez años (Martínez F. , 2018).

2.3.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS

(Díaz, 2013) manifiesta que “la generación de residuos o producción per cápita es un parámetro que vincula la densidad poblacional, la cantidad de desechos y el tiempo de recolección con el objetivo de percibir la cantidad total desechos que se producen en una zona determinada, además permite diseñar la macro ruta en función de la capacidad de un vehículo recolector”.

Es importante precisar que, para determinar este factor, se debe promediar el peso de la cantidad de residuos producido y dividir por la cantidad de habitantes (MINAM, 2010).

2.3.3. EQUIPO DE RECOLECCIÓN

Los equipos de recolección tienen que ser apropiados para las particularidades de carácter geográfico y demográfico de una ciudad. Por tanto, deben ser elegidos acatando el fin que cumplirán en el sistema recolección. Para seleccionar la mejor opción dependerá del volumen que se requiera recolectar y distancia de traslado para la disposición final. Los vehículos más empleados comúnmente poseen dispositivos de compactación o una placa empujadora de residuos que aminora el

volumen de desechos, con la finalidad de recorrer mayores distancias y recoger una considerable cantidad de basura domiciliaria (Koei, 2017).

2.3.4. FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN

Según (Márquez, 2010) la disponibilidad de maquinaria y equipo operativo, determinan la efectividad en la recolección de residuos sólidos. Estas frecuencias van de una a tres veces por semana inclusive hasta siete veces por semana de acuerdo con la fuente de generación y al número de equipo y operarios disponibles. Para que la frecuencia de recolección no se convierta en un problema que incida en la recolección de los desechos, debe determinarse la cantidad de residuos a ser recolectados, el clima y las demandas de la población. Si la frecuencia no se fija de una manera adecuada se puede llegar a tener problemas con residuos dispersos en las calles o problemas de proliferación de mosca y roedores. La selección de frecuencia, diaria o Inter diaria, debe realizarse de acuerdo con la generación promedio diaria y del contenido orgánico de los desechos. Sin embargo, la determinación de los horarios de servicio para cada zona debe considerar características específicas de la localidad.

2.3.5. NÚMERO DE VIAJES

(CEPIS, 2005) elaboró un documento, en el cual establece que el número de viajes en un sistema de recolección de residuos se determina relacionando la capacidad de carga del vehículo recolector con la totalidad de residuos a recoger en un tiempo determinado. Es decir, que a mayor capacidad de carga menor serán los viajes de recolección a realizarse, por concordancia si la frecuencia de recolección es mínima se presentará una alta acumulación de desechos urbanos y en consecuencia se deberá realizar más recorridos de recolección. Para determinar la cantidad de recorridos debe realizar un vehículo recolector en una determinada área se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Número de viajes} = \frac{\text{Carga total}}{\text{Capacidad de carga del vehículo}}$$

2.3.6. TIEMPO DE RECOLECCIÓN

Conforme establece (Muñoz, 2008) en la recolección de residuos sólidos urbanos se emplean:

- Tiempos Muertos (T.M.): aquellos tiempos que no son empleados para la recolección.
 - Tiempos muertos necesarios: utilizados para la compactación, revisión del vehículo recolector, registro de asistencia, carga de combustible, semáforos etc.
 - Tiempos muertos no necesarios: empleado por los operadores para labores que no corresponden a la recolección de residuos.
- Tiempo de Trayecto (T.T): emplead por un vehículo recolector al trasladarse desde el garaje hasta el lugar de destino final, aclarando que no se incorpora el tiempo de recolección propiamente dicho.
- Tiempo de Recolección (T.R): tiempo que se ejecuta en la recolección.

$$T.R. = J.T. * (1 - T.M.) - T.T.= \text{horas}$$

donde:

J.T.: Jornada de trabajo (horas)

T.M.: Tiempos muertos manifestados en fracción (0.10 a 0.20)

2.4. MICRO RUTAS DE RECOLECCIÓN

(AIDIS, 2002), establece que las micro rutas de recolección comprenden el trayecto previamente designado a los vehículos de recolección, con el objeto de almacenar eficazmente los residuos que generan los pobladores de dicha área hasta depositarlos en el relleno sanitario. El procedimiento radica en la elaboración de las rutas de recolección para cada subzona, de forma que posibilite a cada vehículo recolector ejecutar su trabajo en el menor tiempo posible y recorrer distancias mínimas.

2.4.1. PARÁMETROS DE DISEÑOS DE MICRO RUTAS

(León Jácome, 2019), menciona que, para implementar un nuevo sistema de recolección de residuos urbanos, el diseño de micro rutas deberá considerar las

características del sitio. Considerando parámetros relevantes y necesario para un correcto diseño y eficiencia, que se describen a continuación:

- Estado de calles y vías
- Sentido de las vías.
- Densidad poblacional (actual o proyectada).
- Producción Per Cápita diaria
- Área del objeto de estudio (ciudad).
- Subzonas definidas, planificación urbana.
- Parqueadero de camiones recolectores.
- Horarios con fluidez vehicular.
- Frecuencia para la recolección.
- Métodos y equipos para la recolección.

2.4.2. MÉTODOS DE DISEÑO DE MICRO RUTAS

Un diseño inapropiado de rutas de recolección puede ocasionar importantes perjuicios a la gestión de recolección de una localidad, entre los cuales se puede mencionar:

- Defectuosa operación y funcionamiento del equipo recolector.
- Despilfarro de recursos económicos.
- Exceso de personal.
- Disminución de las coberturas del servicio de recolección en algunas zonas.
- Finalmente, propagación de botaderos clandestinos a cielo abierto en sitios aledaños.

(Racero & Pérez, 2006).

(León Jácome, 2019), establece que en la actualidad existen algunos métodos de diseño de micro rutas, que evitan inconvenientes a futuro en un sistema de recolección, estos difieren a través de su metodología que utilizan para proyectar sus recorridos. Estos métodos son heurísticos, determinísticos o metaheurísticos, no obstante, los más aconsejables son los determinísticos.

2.4.2.1. Método Heurístico

Este método está construido sobre la aplicación de distintos procesos empíricos, es decir, a través de estrategias que se basan en la práctica, la experiencia y la observación. Por tanto, se establece el sentido común del diseñador, aunque no suministre la trayectoria óptima, pero se utiliza para conseguir una apropiada ruta de recolección (Martí, s. f).

2.4.2.2. Métodos Determinísticos

Son aquellos métodos donde se considera que los datos se saben con exactitud, es decir, se supone que en el momento de emplear el modelo para resolver un diseño de ruteo se posee libre toda la información necesaria para la resolución del conflicto. En consecuencia, estos métodos facultan solventar problemas de ruteo incluyendo en su mayoría los parámetros indispensables para el diseño y así conseguir rutas optimizadas (Guamán Lozano, Miño Cascante, & Cayán , 2017).

Según (Márquez Pérez, s.f) los métodos determinísticos empleados en el diseño de micro rutas son los siguientes:

- **Problema del Cartero Chino:** método de recolección que se realiza en aceras y/o en el interior de domicilios.
- **Problema del Agente Viajero:** métodos de recolección a través de contenedores con parada establecida.

Para permitir proponer tanto el problema del cartero chino como el problema del agente viajero en diseño de redes, es indispensable realizar una consideración de las teorías de grafos y establecer determinadas consideraciones.

(Lipschutz, s. f), establece que un grafo se constituye de un conjunto de nodos o vértices y arcos. Cada arco de un grafo se compone de un par de nodos. A continuación, se establece un ejemplo: Nodos {A, B, C, D, F, G, H}, Arcos {(A, B), (A, D), (A, C), (C, D), (C, F), (E, G), (A, A)} para el grafo de la figura 11.

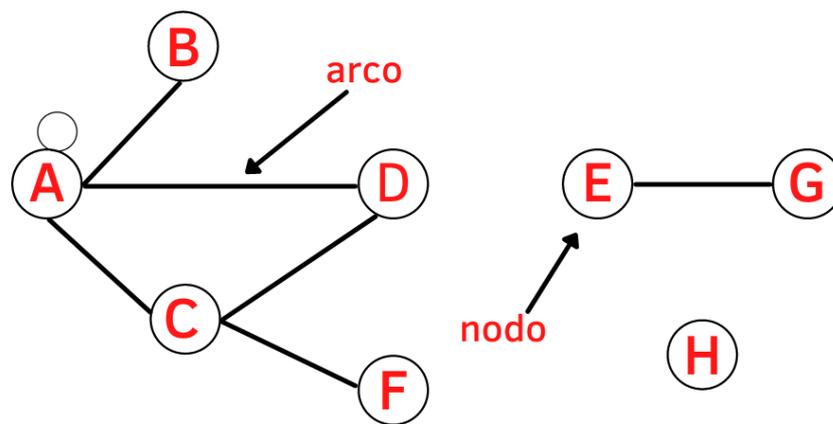


Figura 11. Ejemplo de un grafo con nodos y arcos

Fuente: (Lipschutz, s. f)

Según (Gutiérrez Galicia, 2008) el diseño de micro rutas utilizando el algoritmo del cartero chino, se sugiere transitar por la totalidad de los arcos, sin tener en cuenta las veces que recorra en un nodo.

Para realizar el desplazamiento del recolector como un grafo se conforma el área a través de un mapa físico o digital de la localidad, en el cual se debe desarrollar una red constituida por nodos y aristas. Donde los arcos simularán las vías o calles entre unos dos nodos considerándose la ponderación de la distancia que equivale transitarlos, los nodos van a estar constituidos por las intersecciones de las vías denominadas comúnmente como esquinas (Conejero, A. & Jordán, 2012). Mediante esta conformación se logra poseer grafos Eulerianos y no Eulerianos.

2.4.2.3. Grafos Eulerianos

Se denomina Euleriano cuando adopta un recorrido cerrado que pasa una y sólo una vez por cada una de las aristas, avanza por la totalidad de los nodos y finaliza en el nodo inicial, adicional los nodos de entrada y salida tienen el grado (Braicovich, 2013).

2.4.2.4. Grafos no Eulerianos

Un grafo no Euleriano consiste en un grafo vinculado y complejo cuya trayectoria atraviesa una arista varias veces en su recorrido, es decir que su camino se asemeja a una cadena enredada (Braicovich, 2013).

2.4.2.5. Algoritmos asociados al problema

Se utilizan principios heurísticos para desarrollar el modelo de un grafo con fundamento a la forma y variables que se dispongan para solucionar un problema existente.

(Chamorro Molina, 2014), menciona que haciendo uso de teoremas de Euler se utiliza el algoritmo del cartero chino con el propósito de transitar todas las aristas y se permite duplicar el paso por éstas a un bajo costo. Por tanto, el algoritmo del cartero chino para proporcionar trayectorias óptimas emplea otros algoritmos, como son Edmonds, Dijkstra, Fleury y Hierholzer.

2.4.2.6. Algoritmo de Dijkstra

Algoritmo eficaz de complejidad $O(n^2)$ donde n es el número de vértices que se aprovecha en la localización del camino de costo mínimo desde un nodo de origen a todos los demás nodos del grafo (UDB, s.f).

Como principio de optimalidad se indica que, si la distancia optima de los vértices u y v cruza por el vértice w , la zona del camino que se dirige de w a v debe ser el camino más corto entre los caminos presentes que se desplazan de w a v (Figura 12). En consecuencia, se va edificando sucesivamente los caminos de bajo costo desde un vértice inicial a cada uno de los vértices del grafo, empleando las trayectorias obtenidas como parte de los nuevos caminos (Sánchez & Lozano, s. f).

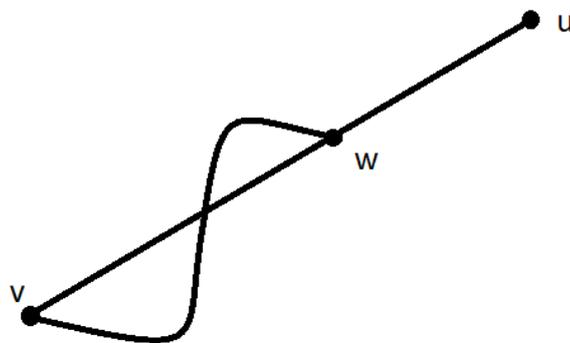


Figura 12. Principio de optimalidad

Fuente: (Sánchez & Lozano, s. f).

2.4.2.7. Algoritmo de Fleury

Permite definir un circuito de Euler, y este circuito es aquel ciclo que transita todos los vértices de un grafo pasando por todas las rutas solamente una vez. Un grafo se comprende de un circuito de Euler si y sólo si es conexo y todos sus vértices tienen grado par.

Para hallar una trayectoria de Euler mediante el uso del algoritmo de Fleury se debe seguir los siguientes pasos:

- Comprobar que el grafo cumpla con los principios de grafos eulerianos, por lo tanto, todos sus vértices deben poseer grado par, a excepción dos como mucho.
- Seleccionar un vértice o grado impar. En el caso de que no se encuentre, se puede elegir cualquier vértice.
- En cada paso, transita cualquier arista disponible, prefiriendo un puente solo cuando exista opción. Al recorrer la arista eliminarla y continuar el proceso hasta que todos los vértices conserven grado cero.

(Coaquira Pinto & Mamani Quispe, 2011)

La aplicación del algoritmo de Fleury se detalla en la Figura 13, donde la línea de color rojo simboliza la arista seleccionada y eliminada en cada paso. Al concluir el procedimiento la ruta seguiría por los nodos 1-2-4-5-6-4-3-1.

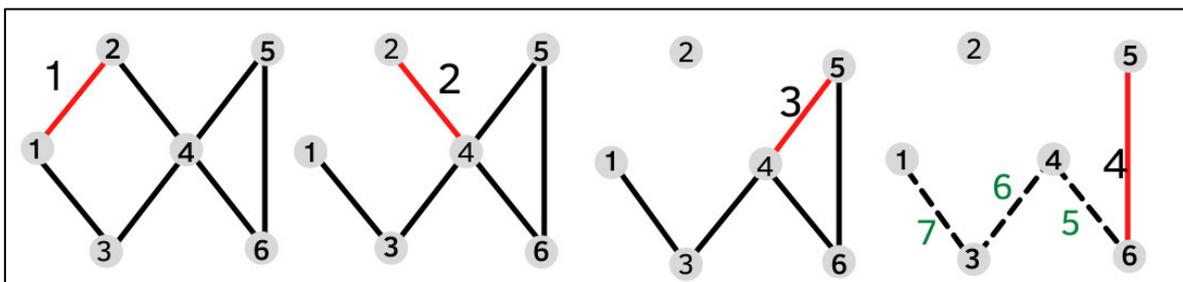


Figura 13. Ejemplo del algoritmo de Fleury

Fuente: (Yordá Pérez, 2015)

2.5. DESCRIPCIÓN DE UN RELLENO SANITARIO

La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) define: “El Relleno Sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y la seguridad pública; tampoco perjudica al medio ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo, este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en la menor superficie posible, reduciendo su volumen por compactación al mínimo practicable, cubriéndola con capas de tierra diariamente. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica” (Meléndez, 2004). Ver figura 14.



Figura 14. Componentes de un relleno sanitario

Fuente: (Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico - Bolivia, 2010)

En América Latina el 54% de los desechos sólidos son depositados en rellenos sanitarios, y el 46% no tiene una disposición final o recibe un adecuado tratamiento según datos extraídos del informe del año 2015–2016 de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en conjunto con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiente (AIDIS), (Concejo Nacional de Competencias, 2019).

Según las cifras declaradas por los GAD Municipales en el 2018, solo el 45% almacena sus residuos en rellenos sanitarios, mientras que un 35% lo realiza en

celdas emergentes y un 20% lo hace en botaderos (AME-INEC, 2020). Ver figura 15.

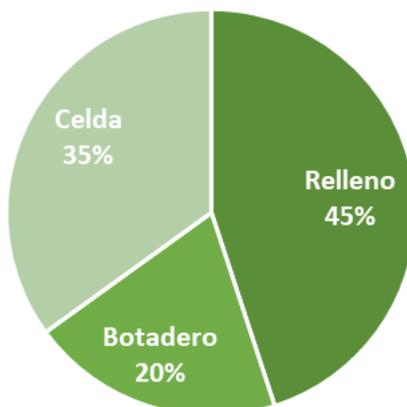


Figura 15. Disposición final de los GAD en el Ecuador de sus RSM

Fuente: (AME-INEC, 2020)

La normativa vigente expone la necesidad de regirse a la “Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Libro VI del Anexo 6, sobre el Proceso de Cierre Técnico y Saneamiento de Botaderos de los Desechos Sólidos y Viabilidad Técnica”, para una adecuada disposición final de los residuos sólidos el diseño debe contemplar la captación, conducción y tratamiento de lixiviados y gases; así también se debe impermeabilizar el cubeto mediante una geomembrana (El Telegrafo, 2020).

Dicha legislación indica la presencia de cunetas perimetrales con el objetivo de conducir aguas de escorrentía, además de la utilización de equipo especializado para la operación. (El Telegrafo, 2020).

2.5.1. COMPONENTES QUE FORMAN PARTE DEL RELLENO SANITARIO

2.5.1.1. Manual

Trata de operaciones de compactación y confinamiento de residuos por medio de mano de obra directa en el frente y con ayuda de algunas herramientas. El relleno sanitario manual se define en pequeñas poblaciones (producción menos de 15 t/día), por su generación, tipo de residuos y costos desligados de la adquisición

de equipos pesados, al no estar en condiciones económicas de mecanizarse, por su elevada inversión en operación y mantenimiento (Jaramillo, 2002).

2.5.1.2. Semi-mecanizado

Se considera recomendable para poblaciones con generación de 16 a 40 t/día, mediante el uso de maquinaria pesada apoyándose de trabajo manual, con el objetivo de realizar una adecuada compactación de los desechos, estabilizando los terraplenes y alargando la vida útil del relleno. Para esta situación, el tractor agrícola se adapta mediante una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para realizar la compactación, logrando convertirlo en un equipo para ser operado en el relleno sanitario (Jaramillo, 2002).

2.5.1.3. Mecanizado

Está concebido para urbes y poblados con una producción mayor a 40 t/día. El proyecto conlleva un grado de complejidad en la ingeniería, representando más que una operación con equipo pesado. Los parámetros dentro del proyecto son: tipo de residuos y cantidad, planificación, lugar seleccionado, dimensiones del espacio, diseño y ejecución del relleno, infraestructura, coordinación de operaciones, la cantidad, dirección de inversiones y planificación de recursos de operación y mantenimiento.

En la operación se requiere utilizar el compactador, maquinaria pesada como retroexcavadora, tractor de oruga, volquetes, cargador, y otros equipos especializados para el movimiento de tierras (Jaramillo, 2002). Los controles ambientales son necesarios para atender el bienestar de las comunidades y sus cercanías.

2.5.2. GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

En un relleno la abundancia de lixiviado que se genera, se pronostica a través de un balance hídrico, en el cual se enumeran todas las corrientes de líquidos que entran y escapan del relleno sanitario, como también del fluido acumulado en el interior del sistema (De la Torre, 2013).

El factor más importante del ciclo líquido en rellenos sanitarios es el agua, generalmente los fluidos más característicos que entran a estos es la lluvia y líquidos almacenados en los desechos sólidos, el lixiviado es el fluido más especial que se escapa de este sitio (De la Torre, 2013).

Elementos que contribuye a generar lixiviados en un relleno, se basan en algunos principios:

- Lluvia en la zona.
- Escorrentía superficial y/o escurrimiento subterráneo.
- Evapotranspiración.
- Remojo natural de los residuos sólidos.
- Valor de compactación.
- Disposición de contención de humedad la superficie y desechos.

(Hidalgo, 2019)

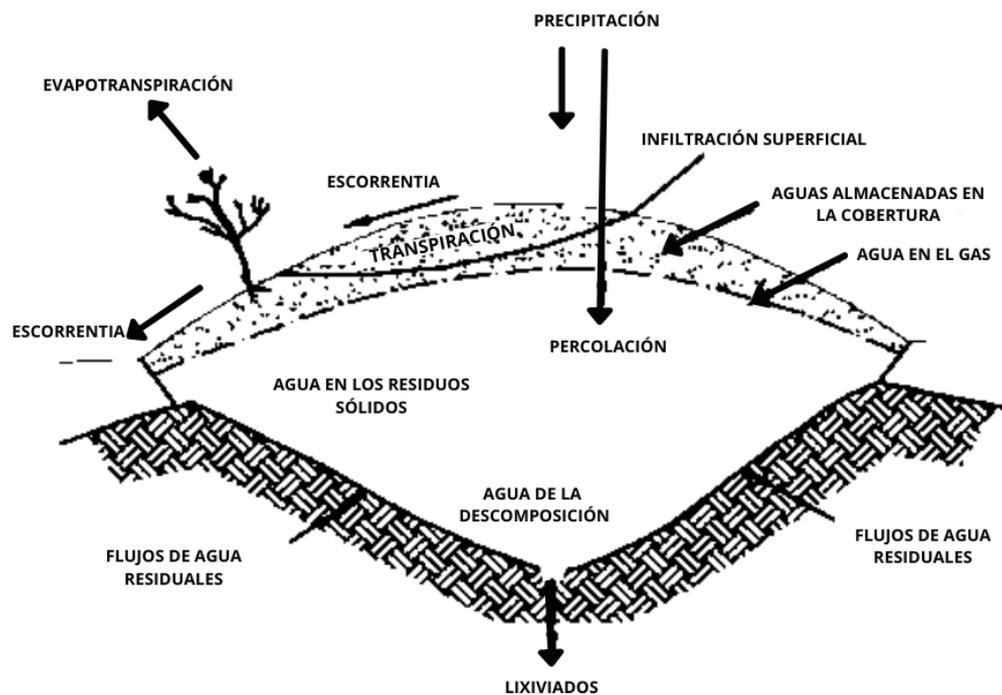


Figura 16. Balance hídrico en un relleno sanitario

Fuente: (De la Torre, 2013)

En los rellenos sanitarios se desarrolla mediante procedimientos de descomposición, determinada porción de remojo se transforma en gas, entre ellos metano y dióxido de carbono. Complementariamente, el agua evacua del relleno en modo de vapor saturado a través de biogás, el sobrante del agua se transforma en lixiviado.

El balance hídrico conformado por la lluvia, la cual filtra a través de la cubierta siendo un factor muy importante para el rendimiento del balance al conocer el pronóstico de porción de lluvia que ingresa a esta área del relleno.

Según el anuario del 2017 de la estación meteorológica 1094 Tomalón-Tabacundo, se detalla que en la zona predomina una precipitación promedio anual de 582.6 mm, registrando máxima mensual de 124.5 milímetros y máxima diaria de 29.6 milímetros. Por tanto, se considera como una zona no lluviosa y se podría implementar sin problemas canaletas de desagüe para la salida de lixiviados y aguas lluvia (INAMHI, 2017).

2.6. MARCO LEGAL Y NORMATIVA VIGENTE RELACIONADA CON EL SECTOR

Detalle del marco legal de obligaciones a los diferentes actores a realizar una gestión integral de residuos.

2.6.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

De acuerdo con la (Constitución de la República del Ecuador, 2008), en el art. 14 donde “se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado [...]”, se establece como interés público la conservación, prevención y recuperación del medio ambiente, evitando la contaminación en el Ecuador.

Es así como en el art. 264, se expresa de manera clara “como competencia exclusiva de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales la prestación de los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos y actividades de saneamiento ambiental”, brindando el acceso de saneamiento a la comunidad en un espacio de convivencia (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.6.2. CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN (COOTAD)

En el art. 55 y 137 se establece que “los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, deberán prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley, en todas sus fases, con sus respectivas normativas”, como una de sus competencias primordiales (COOTAD, 2010).

2.6.3. CÓDIGO ORGÁNICO AMBIENTAL (COA)

Según el art. 23, establece que la “Autoridad Ambiental Nacional nombra al Ministerio del Ambiente para atribuirle la rectoría, planificación, regulación y coordinación del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental” (COA, 2017).

Estableciendo como una competencia ambiental para los GAD en el art. 27, que “atribuciones exclusivas y coincidentes de los municipios, en conformidad con legislación manifestada por los GAD provinciales y el Ministerio del Ambiente, debiendo realizar planes, programas y proyectos para los sistemas de recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos, de igual manera difundir normas y procedimientos destinados a la gestión integral de los residuos”, es así que se reafirma su trabajo en controlar y brindar el servicio de gestión de residuos en sus localidades que le corresponde (COA, 2017).

Mediante el art. 224, se define e instaura el objeto de “contribuir al desarrollo sostenible es la finalidad que está sometida mediante la tutela estatal para la gestión integral de residuos, a través de una agrupación de políticas locales y nacionales en todos los entornos de gestión, de consenso con los principios y mandatos del Sistema Único de Manejo Ambiental” (COA, 2017).

Así pues, el art. 225 del COA detalla las “Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus diferentes niveles y formas de gobierno,

regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:

1. El manejo integral de residuos y desechos, examinando preferentemente la supresión o disposición final más próxima al origen;
2. Del productor, generador o importador su responsabilidad extendida;
3. La minimización de riesgos sanitarios y ambientales, así como fitosanitarios y zoonosanitarios;
4. La participación ciudadana, el refuerzo de la educación y cultura ambiental, y una mayor conciencia con correspondencia al manejo de los residuos;
5. El impulso al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos, considerándolos un bien económico con propósito social, por medio de la instauración de instrumentos y mecanismos de servicio;
6. El fomento de la investigación, desarrollo y uso de apropiadas tecnologías que reduzcan los impactos al ambiente y la salud humana;
7. De acuerdo con los avances de la ciencia y tecnología, el estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, en todas las fases de la gestión integral de los residuos urbanos;
8. El principio de responsabilidad compartida y su aplicación, que incorpora la internalización de costos, derecho a la información e inclusión económica y social, con verificación a través de incentivos, en los casos que se utilice;
9. Instauración de estándares para el manejo de residuos y desechos en la generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final;
10. La sistematización y difusión del conocimiento e información, relacionados con los residuos y desechos entre todos los sectores;
11. La jerarquización en la gestión de residuos y desechos; y,
12. Otras que determine el Ministerio del Ambiente”.

(COA, 2017).

Se detalla en el art. 226 la gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de primacía: Prevención; Minimización de la generación en la fuente; Aprovechamiento o valorización; Eliminación; y, Disposición final.

La disposición final se limitará a aquellos desechos que no se puedan aprovechar, tratar, valorizar o eliminar en condiciones ambientalmente adecuadas y tecnológicamente factibles. El Ministerio del Ambiente, así como los GAD Municipales y Metropolitanos, promocionarán e impulsarán en la ciudadanía, en el marco de sus competencias, la clasificación, reciclaje, y en general la gestión de residuos bajo este principio (COA, 2017).

Es así como en el artículo 228 y 229 se establece la política y fases para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos que serán determinadas por el Ministerio de Ambiente y Agua y se manifiesta que una gestión adecuada de estos residuos ayudará a la prevención de los impactos y daños ambientales, así como a la prevención de los riesgos a la salud humana ligados a cada una de las fases (COA, 2017).

Así pues, el art. 230 expresa que los GAD municipales o Metropolitanos proporcionarán de la infraestructura técnica de acuerdo con la implementación de modelos de gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, de concordancia con los lineamientos y normas técnicas que se pronuncien para el efecto” (COA, 2017).

De conformidad con el art. 231 serán responsables de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos a nivel nacional, las siguientes entidades públicas y privadas:

1. El Ministerio del Ambiente como ente rector que dictará políticas y lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos en el país y elaborará el respectivo plan nacional. Asimismo, se encargará de la regulación y control;
2. Los GAD Municipales o Metropolitanos serán los responsables del manejo integral de residuos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios generados en el área de su jurisdicción, por lo tanto, están obligados a promover en los generadores opciones de gestión, de acuerdo con el principio de jerarquización, así como la investigación y desarrollo de tecnologías.

Estos deberán establecer los procedimientos adecuados para barrido, recolección y transporte, almacenamiento temporal de ser el caso, acopio y transferencia, con enfoques de inclusión económica y social de sectores vulnerables.

Deberán brindar tratamiento y correcta disposición final de los residuos que no pueden ingresar nuevamente en un ciclo de vida productivo, incorporando los mecanismos que permitan la trazabilidad de estos. Para lo cual, podrán constituir mancomunidades y consorcios para ejercer esta responsabilidad de conformidad con la ley. Asimismo, serán responsables por el desempeño de las personas contratadas por ellos, para desarrollar la gestión de residuos sólidos no peligrosos y sanitarios, en cualquiera de sus fases.

3. Los generadores de residuos, en base al principio de jerarquización, priorizarán la prevención y minimización de la generación de residuos sólidos no peligrosos, así como el apropiado manejo que incorpora la separación, clasificación, reciclaje y almacenamiento temporal; en base a los lineamientos establecidos en la política nacional y normas técnicas.
4. Los gestores de residuos no peligrosos que brindan el servicio para su gestión en cualquiera de sus fases serán responsables del correcto manejo, para lo cual deberán enmarcar sus acciones en los parámetros que defina la política nacional en el cuidado ambiental y de la salud pública, procurando maximizar el aprovechamiento de materiales”.

(COA, 2017)

Mediante el art. 232 se determina que el Ministerio del Ambiente o los GAD, según su competencia, promoverán la formalización, asociación, fortalecimiento y capacitación de los recicladores a nivel local y nacional, cuya participación se enmarca en la gestión integral de residuos como una estrategia para el desarrollo social, técnico y económico. Se favorecerá a la asociación de recicladores estableciendo su actividad como negocios inclusivos, especialmente de los grupos de la economía popular y solidaria (COA, 2017).

A través del art. 233 se detalla que la aplicación de la responsabilidad extendida del productor sobre la gestión de residuos no peligrosos, peligrosos y especiales. Los productores poseen la responsabilidad de la gestión del producto en todo el ciclo de vida de este, ésta incluye los impactos inherentes a la selección de los materiales, del proceso de producción y el uso del producto, así como lo relativo al tratamiento o disposición final del mismo cuando se convierte en residuo luego de su vida útil o por otras eventualidades (COA, 2017).

“Mediante la normativa técnica correspondiente el Ministerio del Ambiente, determinará los productos sujetos a REP (Responsabilidad Extendida del Productor), las metas y los lineamientos para la presentación del programa de gestión integral (PGI) de los residuos originados a partir del uso o consumo de los productos regulados. Estos programas serán aprobados por el Ministerio del Ambiente, quien desarrollará la regulación y control de la aplicación de la Responsabilidad Extendida del Productor” (COA, 2017).

Por otra parte, el art. 234 detalla que los movimientos transfronterizos de residuos sólidos no peligrosos que sea por importación, exportación o tránsito, inclusive lo relacionado a tráfico ilícito de los mismos, será regulado por la normativa ambiental específica que dicte el Ministerio del Ambiente (COA, 2017).

2.6.4. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE (TULSMA)

En el artículo 46 se declara prioridad nacional y de interés público la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos en el país, esto implica una responsabilidad extendida y compartida por toda la sociedad para que contribuya al desarrollo sustentable a través de un conjunto de políticas intersectoriales nacionales en todos los ámbitos de gestión (TULSMA, 2015).

La gestión integral constituye en el artículo 55 el conjunto de acciones y disposiciones regulatorias, operativas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación, que tienen la finalidad de dar a los residuos sólidos no peligrosos el destino más adecuado desde el punto de vista técnico, ambiental y socio-económico, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos de tratamiento, posibilidades de recuperación y aprovechamiento, comercialización o finalmente su disposición final. Una gestión apropiada de residuos contribuye a la disminución de los impactos ambientales asociados a cada una de las etapas de manejo de éstos (TULSMA, 2015).

Y en el artículo 57 se establece la “responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales: Garantizarán el manejo integral de residuos y/o desechos sólidos generados en el área de su competencia, ya sea por administración o mediante contratos con empresas públicas o privadas;

promoviendo la minimización en la generación de residuos y/o desechos sólidos, la separación en la fuente, procedimientos adecuados para barrido y recolección, transporte, almacenamiento temporal de ser el caso, acopio y/o transferencia; fomentar su aprovechamiento, dar adecuado tratamiento y correcta disposición final de los desechos que no pueden ingresar nuevamente a un ciclo de vida productivo; además dar seguimiento para que los residuos peligrosos y/o especiales sean dispuestos, luego de su tratamiento, bajo parámetros que garanticen la sanidad y preservación del ambiente” (TULSMA, 2015).

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. UBICACIÓN

Se localiza en el Nororiente de la provincia de Pichincha, en el repecho austral del nudo de Mojanda, lindando al sur con el Distrito Metropolitano de Quito (GAD Pedro Moncayo, 2018). Ver tabla 6.

Tabla 6

Límites territoriales del cantón Pedro Moncayo

Norte	Cantón Otavalo de la Provincia de Imbabura
Sur	Distrito Metropolitano de Quito y Cantón Cayambe
Este	Cantón Cayambe
Oeste	Distrito Metropolitano de Quito

Fuente: (GADPP, 2017)

La provincia de Pichincha cuenta con 8 cantones, entre ellos, Pedro Moncayo situándose al norte de la jurisdicción, y es uno de los 218 GAD cantonales del país conectado por la vía internacional Panamericana (GAD Pedro Moncayo, 2018). Ver figura17.



Figura 17. Mapa de ubicación del Cantón Pedro Moncayo

Fuente: (GAD Pedro Moncayo, 2018)

El área superficial que registra Pedro Moncayo es de 339.10 km², con una variación altitudinal que inicia en 1,730 m.s.n.m; las zonas pobladas están asentados en las faldas a nivel medio del volcán Mojanda entre elevaciones que oscilan desde los 2,848 m.s.n.m, hasta los 2,952 m.s.n.m. (GAD Pedro Moncayo, 2018).

Está conformado por 4 parroquias rurales La Esperanza, Tocachi, Tupigachi y Malchingui consideradas zonas rurales y su cabecera cantonal Tabacundo como zona urbana. Ver figura 18.

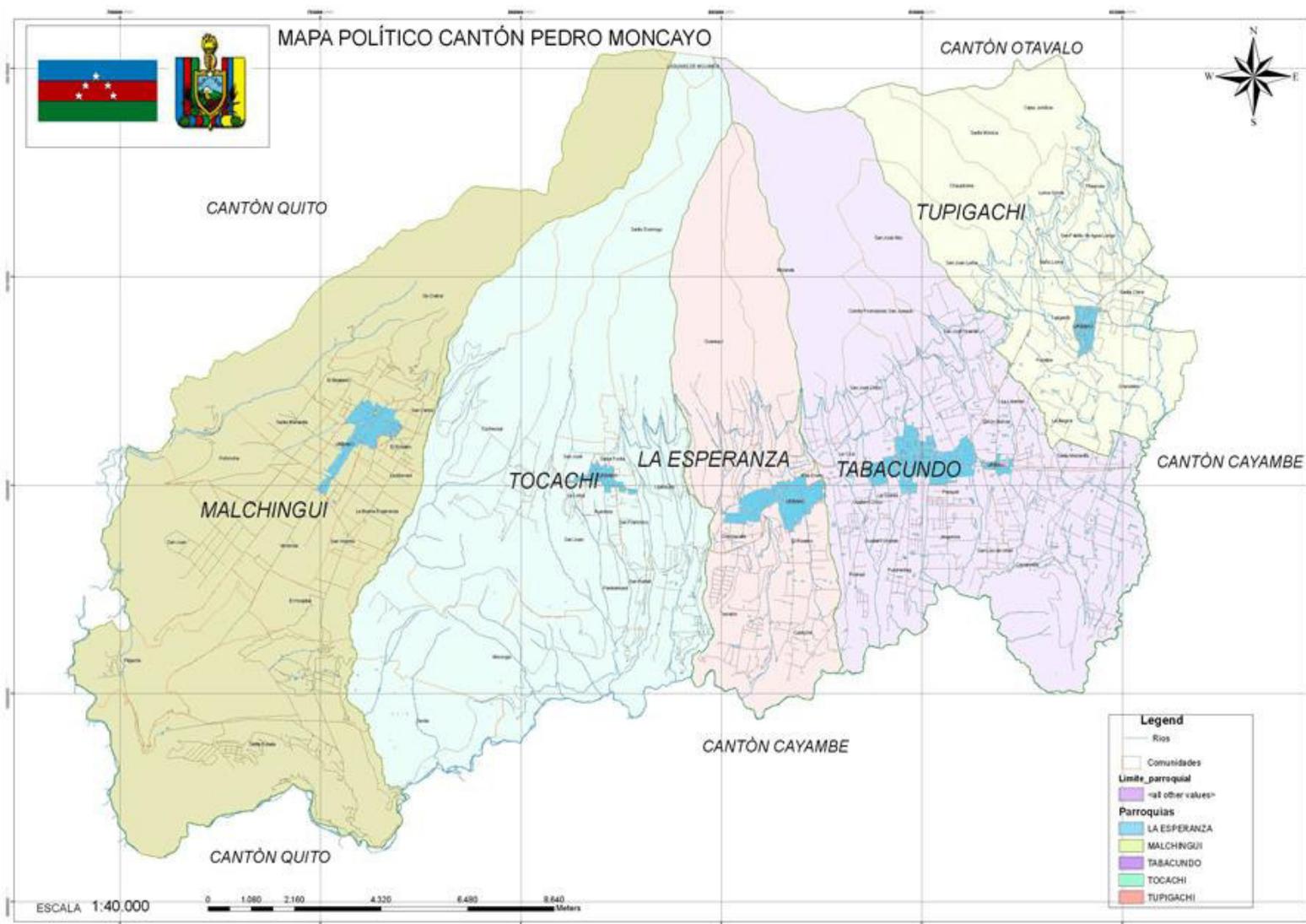


Figura 18. Mapa Político de Pedro Moncayo

Fuente: (GAD Pedro Moncayo, 2018)

3.1.2. DEMOGRAFÍA

Conforme el censo nacional desarrollado por el INEC, las cifras que detallan el número de ciudadanos de Pedro Moncayo evidencian un crecimiento considerable en los últimos años como se describe en la tabla 7, llegando a 33,172 habitantes (GAD Pedro Moncayo, 2018). Ver figuras 19.

Tabla 7

Crecimiento poblacional del cantón Pedro Moncayo

NIVEL	Población por periodos censales							Tasa crecimiento. 2001-2010
	1950	1962	1974	1982	1990	2001	2010	
PICHINCHA	380,012	550,676	879,873	1'235,869	1'756,228	2'388,817	2'576,287	0.84
PEDRO MONCAYO	12,068	12,454	13,436	14,732	16,459	25,594	33,172	2.88
Tabacundo	4,564	4,468	4,591	5,193	5,898	11,699	16,403	3.76
La Esperanza	1,584	1,805	1,842	2,023	2,125	3,276	3,986	2.18
Malchingui	2,135	2,480	2,978	2,921	3,004	3,912	4,624	1.86
Tocachi	1,944	1,525	1,710	1,653	1,459	1,587	1,985	2.49
Tupigachi	1,841	2,176	2,315	2,942	3,232	5,120	6,174	2.08

Fuente: (GAD Pedro Moncayo, 2018)



Figura 19. Población total y tasas de crecimiento

Fuente: (Ecuador en cifras, 2010)

Se detalla la tasa de crecimiento poblacional desde el año de 1990 al 2010 del cantón Pedro Moncayo la provincia de Pichincha y el Ecuador en la tabla 8, donde

se puede evidenciar que la tasa de crecimiento del cantón es mayor a la tasa provincial y nacional.

El aumento de crecimiento poblacional se debe a la afluencia de emigrantes atraídos por la actividad florícola que genera muchas fuentes de trabajo (GAD Pedro Moncayo, 2018).

Tabla 8

Evolución de la tasa del crecimiento poblacional

Descripción	Zona	Tasa de crecimiento %	
		1990 – 2001	2001 - 2010
Cantonal (Pedro Moncayo)	Urbana	6.12	5.54
	Rural	3.96	1.90
	Total	4.43	2.88
Provincial (Pichincha)	Urbana	2.66	0.30
	Rural	3.16	2.09
	Total	2.80	0.84
Nacional	Urbana	2.99	2.24
	Rural	0.85	1.47
	Total	2.10	1.95

Fuente: (GAD Pedro Moncayo, 2018)

De acuerdo con el Censo del 2010 del INEC, el número de mujeres es de 16,861 siendo un 50,8% y la población de hombres es de 16,311 registrando el 49,2% (INEC, 2010). Ver figura 20.

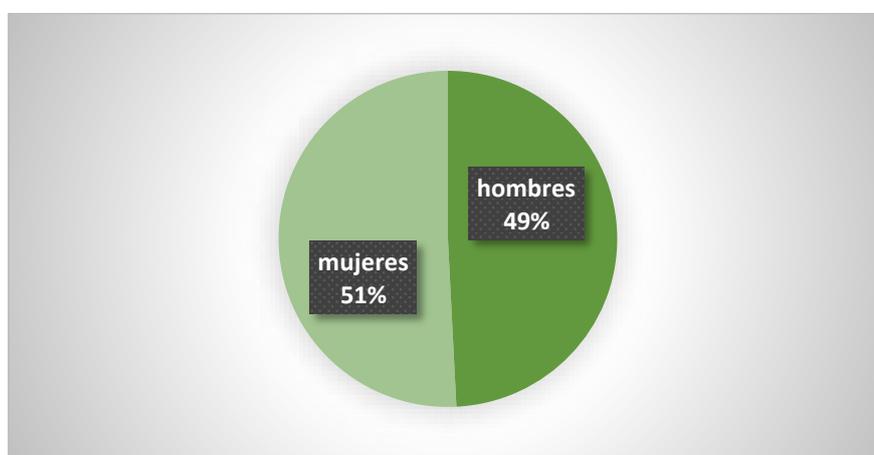


Figura 20. Demografía por género del cantón Pedro Moncayo (Censo 2010)

Fuente: (INEC, 2010)

En Pedro Moncayo puede evidenciarse que se mantiene la mayor población en sectores rurales, el crecimiento de urbanización, tomando en cuenta que en 1990 el 80% de los habitantes está en las zonas rurales, para el 2001 sería el 76,14% y para el 2010 disminuiría al 70%, concluyendo que en 20 años la población rural se ha reducido en un 10%, como se presenta en la figura 21.

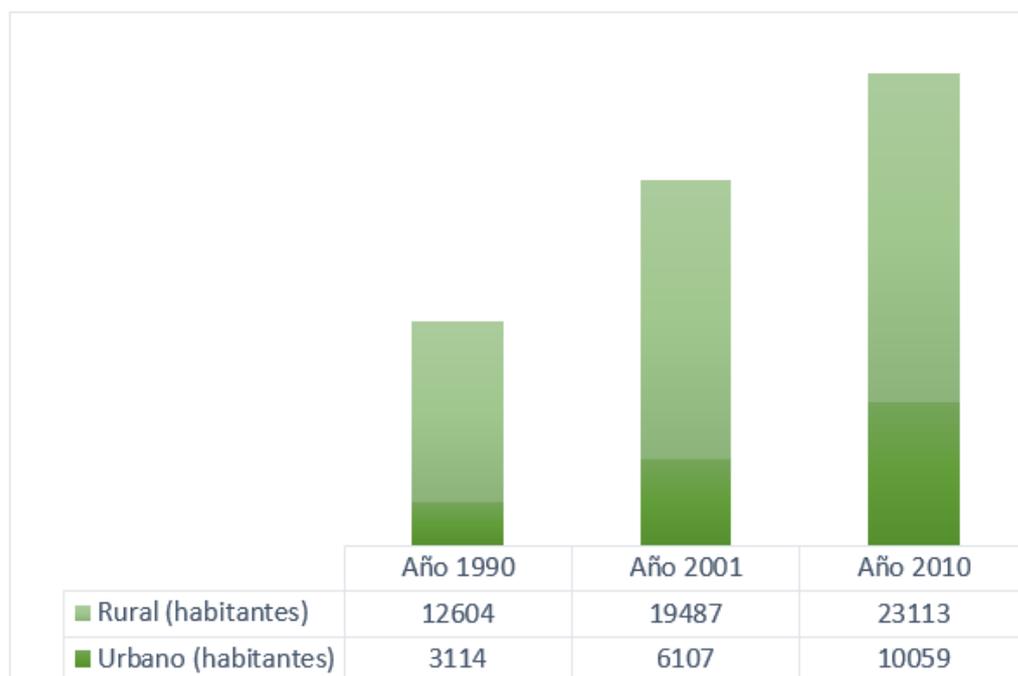


Figura 21. Crecimiento población durante 1990 a 2010

Fuente: (GAD Pedro Moncayo, 2018)

Para analizar la situación actual de la población y la necesidad de ampliar los servicios de gestión de residuos, se procede a realizar una proyección descrita en la tabla 9 y 10, por medio de la metodología geométrica de la población al año 2021 en base al CENSO 2010 realizado por el INEC, con la tasa de crecimiento del 2001 al 2010. Podemos realizar un crecimiento equivalente al crecimiento que se ha dado en los últimos años por medio de la siguiente fórmula.

$$P_f = P_i(1 + r)^n$$

donde:

P_f = población final

P_i = población inicial

r = tasa de crecimiento poblacional

t_i = tiempo inicial

t_f = tiempo final

n = t_f - t_i

$$P_{2011} = 33,172(1 + 0.0288)^{2011-2010}$$

$$P_{2011} = 34,127 \text{ hab}$$

Tabla 9

Proyección de la población del cantón de Pedro Moncayo

Año	Tasa de crecimiento poblacional	Pedro Moncayo (habitante)	Tasa de crecimiento	Zona rural (habitante)	Tasa de crecimiento	Zona Urbana (habitante)
2010		33,172		23,113		10,059
2011		34,127		23,552		10,616
2012		35,110		24,000		11,204
2013		36,121		24,456		11,825
2014		37,162		24,920		12,480
2015	0.0288	38,232	0.019	25,394	0.0554	13,172
2016		39,333		25,876		13,901
2017		40,466		26,368		14,671
2018		41,631		26,869		15,484
2019		42,830		27,379		16,342
2020		44,064		27,900		17,247
2021		45,333		28,430		18,203

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 10

Proyección de la población por parroquia

Año	Tasa de crecimiento poblacional	Tabacundo (habitante)	Tasa de crecimiento	Malchingui (habitante)	Tasa de crecimiento	Tocachi (habitante)
2010		16,403		4,624		1,985
2011	0.0376	17,020	0.0186	4,710	0.0249	2,034
2012		17,660		4,798		2,085
2013		18,324		4,887		2,137

2014	19,013	4,978	2,190
2015	19,728	5,070	2,245
2016	20,469	5,165	2,301
2017	21,239	5,261	2,358
2018	22,038	5,359	2,417
2019	22,866	5,458	2,477
2020	23,726	5,560	2,538
2021	24,618	5,663	2,602

Año	Tasa de crecimiento poblacional	La Esperanza (habitante)	Tasa de crecimiento	Tupigachi (habitante)
2010		3,986		6,174
2011		4,073		6,302
2012		4,162		6,434
2013		4,252		6,567
2014		4,345		6,704
2015	0.0218	4,440	0.0208	6,843
2016		4,537		6,986
2017		4,636		7,131
2018		4,737		7,279
2019		4,840		7,431
2020		4,945		7,585
2021		5,053		7,743

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

3.1.3. MORFOLOGÍA

La morfología del cantón Pedro Moncayo fue determinada del análisis de información recolectada de los PDOT del cantón y de cada parroquia mostrando sus características de suelo y grados de consolidación de las zonas urbanas y rurales.

En este cantón abundan unidades geomorfológicas tales como movimientos de lava con superficie de 8,427.63 hectáreas, también áreas de llanura de origen volcánico de 7,698.68 hectáreas, que comprenden el 25% y 23% correspondiente de la superficie total de Pedro Moncayo (GAD Pedro Moncayo, 2018).

Los suelos presentan aptitudes agropecuarias, en su generalidad, también incluyen la protección y/o producción boscosa. Estos corresponden a los siguientes conjuntos:

1. Suelos con partículas conformadas por arena, limo y arcilla, son texturas equilibradas y adecuadas para la totalidad de los cultivos, debido a su sencillo cultivo, poseen una apropiada reserva de agua y suministros.
2. Suelos de texturas mesuradamente finas que poseen características físicas y químicas con elementales restricciones de compactación y absorción, principalmente se consideran como limosos. Las reservas de suministros y agua se registran con una capacidad de media a baja.
3. Este conjunto de suelo detalla una considerable cantidad de arena y arcilla. Presentando una importante abundancia química en diferencia con dificultades de absorción reducida, compactación elevada, notable capacidad de reserva de agua deteriorando cultivos. Los suelos arenosos presentan permeabilidad elevada y de media a baja compacidad.

(GAD Pedro Moncayo, 2018)

El suelo de Pedro Moncayo se encuentra dedicado a vegetación arbustiva y herbácea en 31.20% y en gran parte a labores agropecuarias registrando un 57.20%. Desde al 2008 hasta finales de 2013 se reconoció la extensión del 2.10% en arbolado, por ende, representó un aumento de 0.60% en vegetación arbustiva y herbácea (GAD Pedro Moncayo, 2018). Ver figura 22.

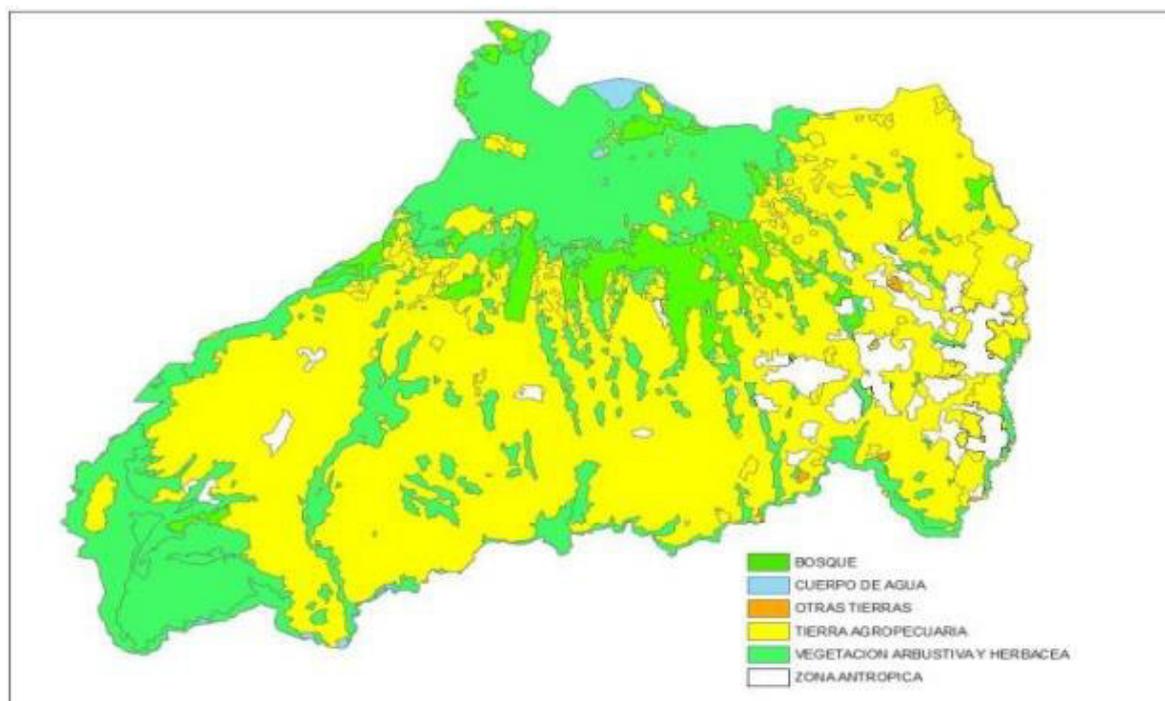


Figura 22. Mapa de cobertura del suelo

Fuente: (GAD Pedro Moncayo, 2018)

El gran crecimiento poblacional también es un factor de cambio en un territorio debido a que se debe aumentar sus servicios y fuentes de trabajo. Esta expansión progresiva se desarrolla de forma lineal con la creación de nuevos barrios y construcciones.

Siendo Tabacundo la cabecera cantonal se considera la parroquia con mayor expansión territorial, alta densidad poblacional y con crecimiento constante urbanístico, mientras que la expansión de las parroquias rurales es menor donde el color rojo representa una densidad poblacional muy alta que se aprecia las zonas céntricas de cada parroquia. La coloración naranja detalla áreas de desarrollo diseminado con media densidad población y en amarillo una baja densidad poblacional. Ver figuras 23 a 27.

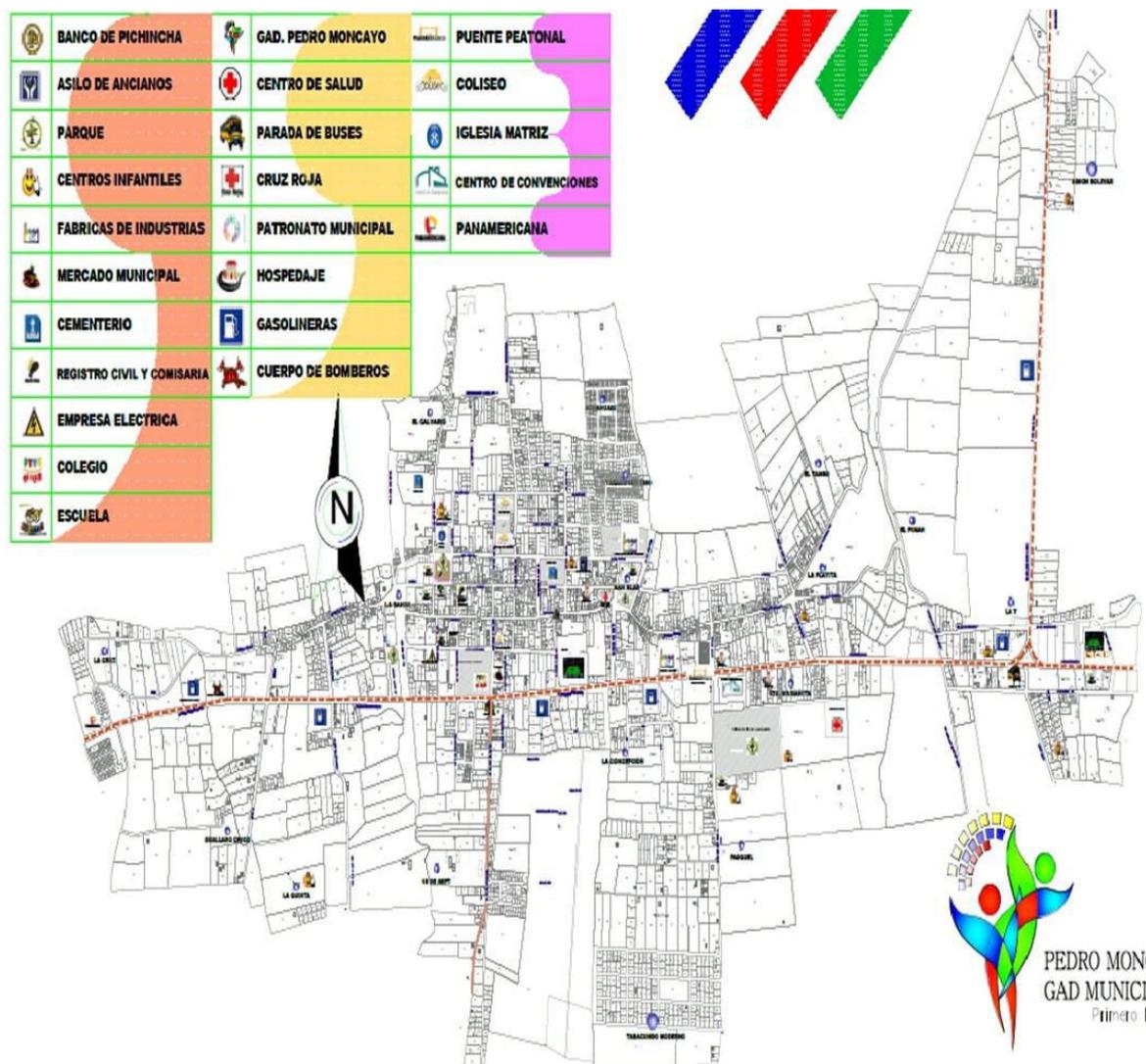


Figura 23. Expansión territorial de la Parroquia de Tabacundo

Fuente: (PDOT Parroquia Tabacundo, 2015)

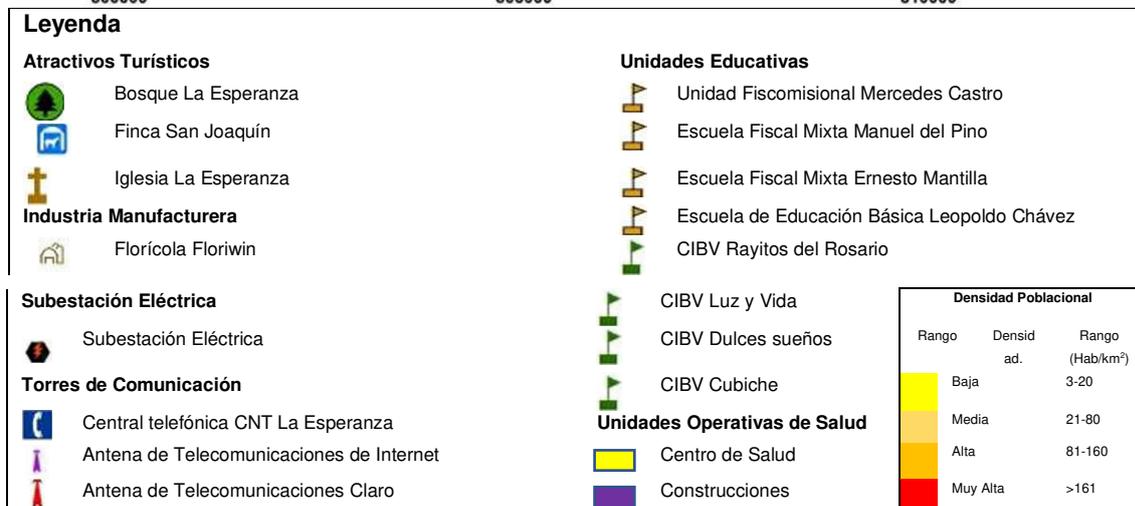
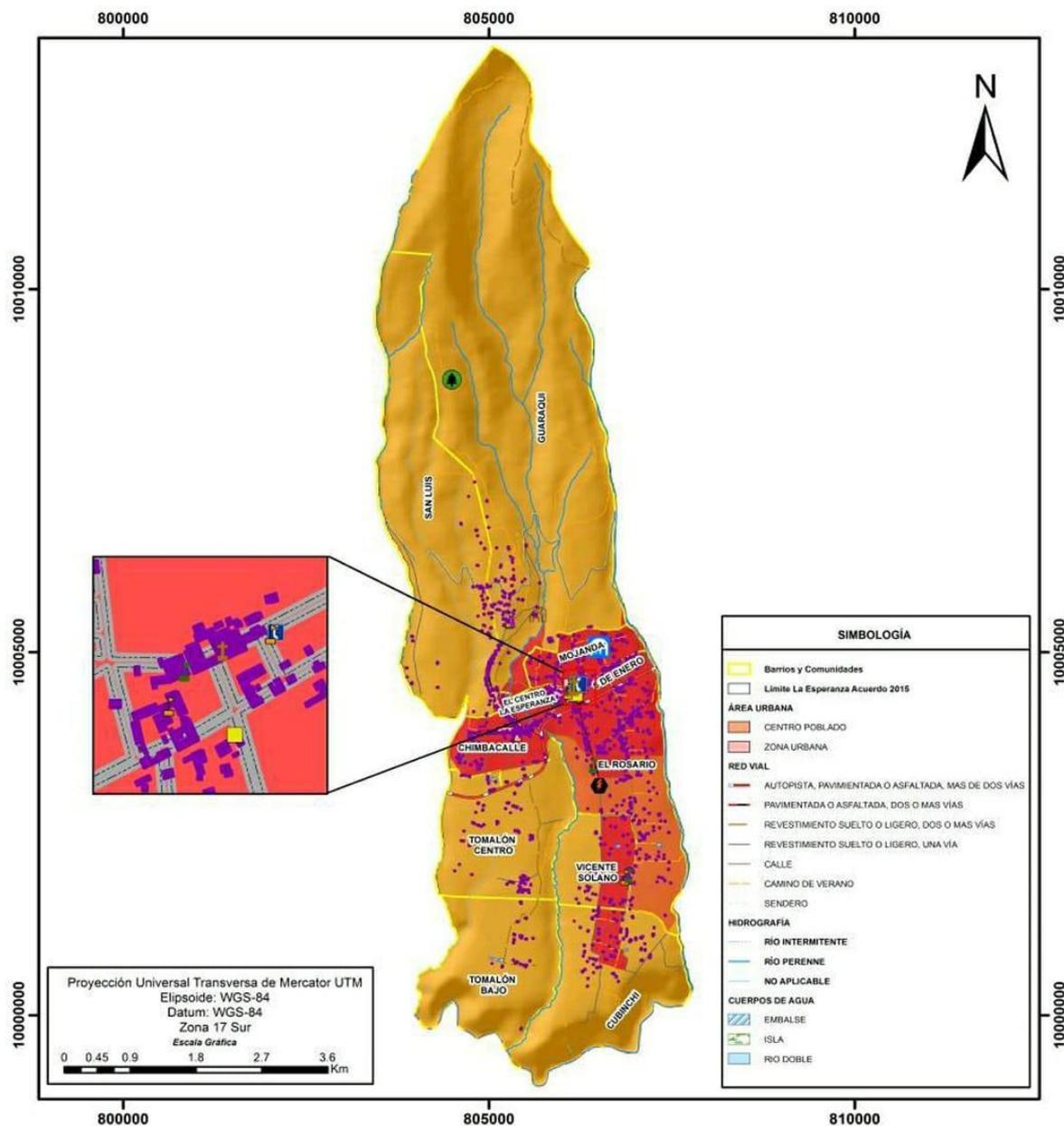


Figura 24. Características morfológicas de la parroquia La Esperanza
 Fuente: (PDOT Parroquia La Esperanza, 2015)

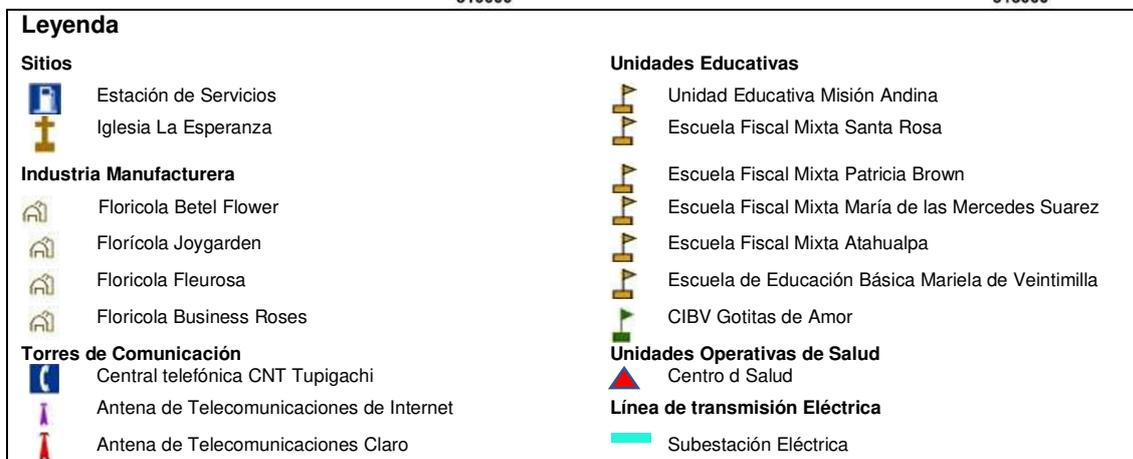
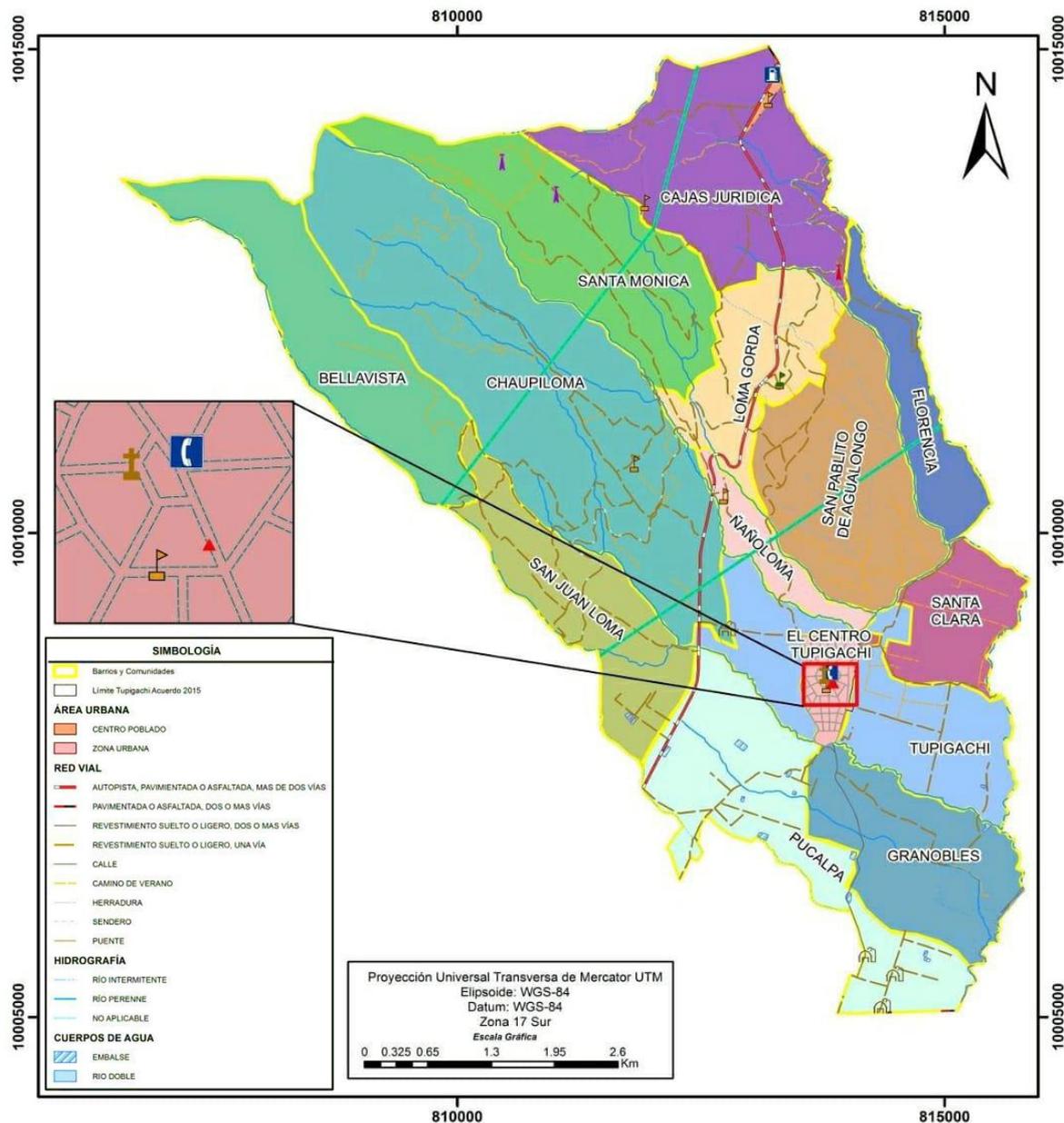


Figura 25. Características morfológicas de la parroquia Tupigachi

Fuente: (PDOT Parroquia Tupigachi, 2015)

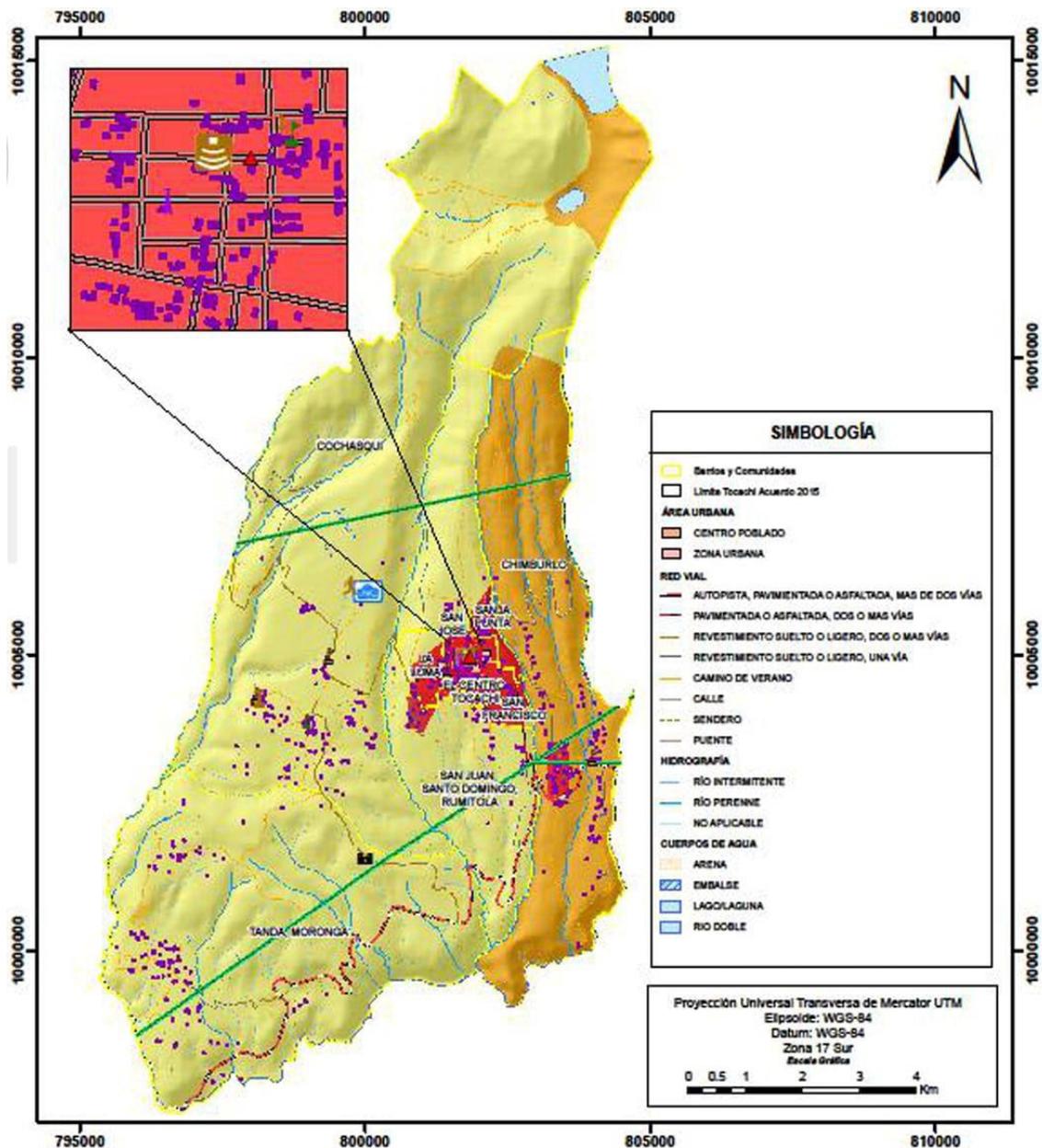


Figura 26. Características morfológicas de la parroquia Tocachi
 Fuente: (PDOT Parroquia Tocachi, 2015)

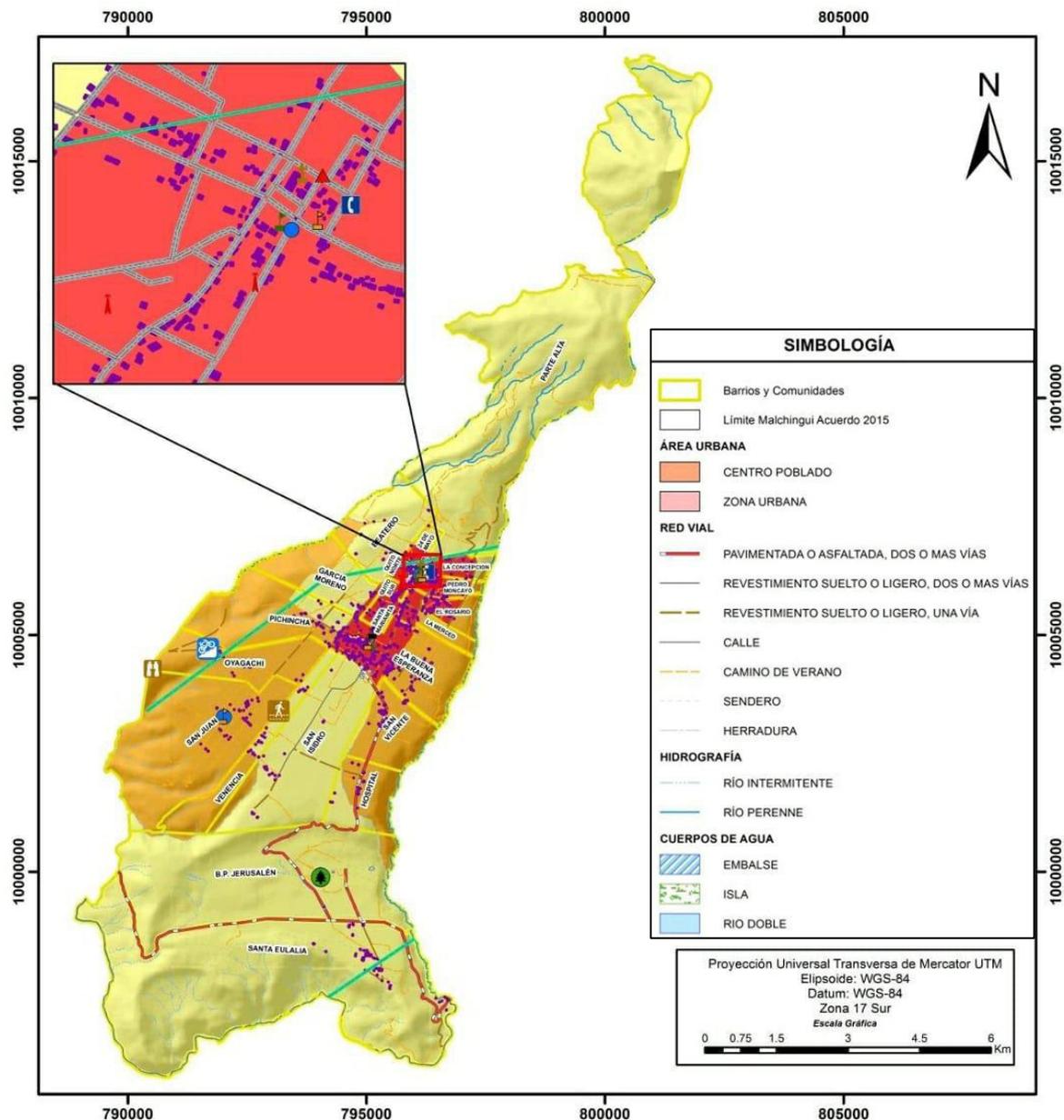


Figura 27. Características morfológicas de la parroquia Malchingui

Fuente: (PDOT Parroquia Malchingui, 2015)

Pedro Moncayo exhibe considerables desafíos concerniente a la ocupación y ordenamiento territorial, debido al superior uso del suelo en variadas áreas por el progreso del límite agropecuario, fundamentalmente para el aprovechamiento florícola, su dispersión poblacional y difícil acceso a varias localidades limita el alcance a servicios básicos de primera necesidad.

La organización y consolidación de zonas urbanas, establecimientos poblacionales, y del crecimiento del cantón necesita la conformación del suelo urbano y de sus áreas contiguas de dominio o de dispersión como un sitio local fortalecido mediante la planificación y estructuración desde la parroquia de su cabecera cantonal Tabacundo las zonas pobladas circundantes como Malchingui, Tocachi, La Esperanza y Tupigachi (GAD Municipal de Pedro Moncayo, 2018).

3.1.4. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

La Administración Ambiental de Pedro Moncayo tiene a su cargo la administración total de residuos sólidos municipales (RSM) del cantón, designado mediante Ordenanza para la gestión integral de residuos sólidos, Art.2 “El servicio de barrido y recolección en cada una de sus fases, desde la generación hasta la disposición final de residuos sólidos le corresponde a la Unidad de Residuos Sólidos de la Dirección de Gestión Ambiental con la participación de todos los habitantes del cantón Pedro Moncayo” (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pedro Moncayo, 2013). La tabla 11 muestra la cobertura del servicio en las diferentes parroquias del cantón.

Tabla 11

Abastecimiento del servicio de recolección de residuos por parroquia

Parroquia	Zona	Gestión de desechos solidos
Tabacundo	Urbana	75.00%
La Esperanza	Rural	70.80%
Malchingui	Rural	72.20%
Tocachi	Rural	62.20%
Tupigachi	Rural	53.50%

Fuente: (GAD Pedro Moncayo, 2018)

La Dirección de Gestión Ambiental actualmente coordina la frecuencia de recolección de residuos sólidos, cuyo resultado alcanza 15 ton/día, cubriendo la cabecera cantonal, y zonas rurales. Se aplica la recolección a nivel de vereda con dos camiones recolectores que incluyen una técnica de compactación de desechos y en ciertas zonas de difícil acceso, se emplea el método de contenedores fijos.

3.2. TRABAJO DE CAMPO

Durante el trabajo se realizó el seguimiento de las rutas actuales de recolección en los vehículos recolectores, pudiendo recabar datos reales de tiempos y movimientos en las rutas de recolección. Además, se pudo recabar información de la satisfacción de la población por el servicio de recolección.

3.2.1. RECORRIDO DE RECOLECCIÓN EN LA ZONA URBANA

En la parte urbana de Pedro Moncayo, cumpliendo el Art. 14 de la Ordenanza Municipal, el sistema de recolección debe ser diferenciada (orgánicos e inorgánicos) por parte de la población. Se proporciona el servicio a 25 Sectores-Barrios, en horario nocturno a partir de las 17h00-23h00 de lunes a sábado, esta recolección al ser diferenciada se la realiza para cada componente pasando un día, dividido en dos rutas para recolección de residuos inorgánico y una única ruta de recolección de residuos orgánicos, saliendo los camiones desde el garaje de la calle Plaza Gutiérrez y Mantilla.

Para determinar las rutas actuales de recolección se contó con el apoyo del supervisor de personal, de choferes y operarios de los camiones recolectores; se acompañó a los camiones en sus diferentes rutas de recolección (zona urbana y zona rural), con lo cual se levantó la información de distancias y tiempos actuales del servicio de recolección para realizar su posterior análisis y mejoramiento.

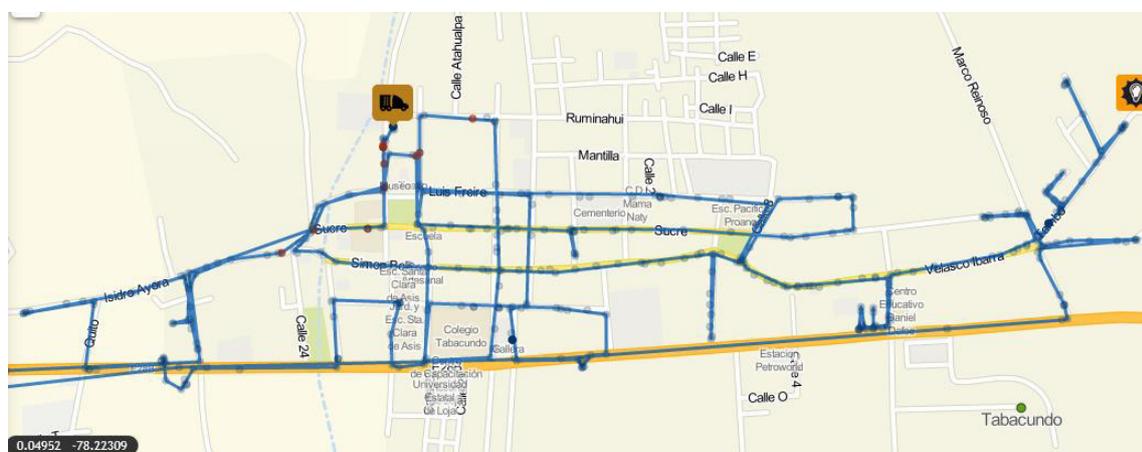
3.2.1.1. Ruta 1: martes, jueves y sábado (residuos inorgánicos)

En esta ruta se cubren 10 sectores de la parroquia urbana de Tabacundo en horario nocturno. El recorrido dura en promedio de 5 a 6 horas hasta el relleno sanitario y regreso al garaje. Ver tabla 12 y figura 28.

Tabla 12*Recolección residuos inorgánicos Tabacundo Urbano*

Barrio-Sector-Calle	Horario
La Banda	17:00 17:30
Juan Montalvo	17:30 17:55
Mercado	18:00 18:15
Gonzales Suarez	18:15 18:34
Bolívar	18:45 19:05
San Blas	19:05 19:25
Sucre	19:25 19:45
Luis Freile	19:45 20:00
	20:00 20:30
La Playita- Plan de Vivienda Tabacundo	20:30 21:10
Prolongación Piman	21:00 21:10

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)

**Figura 28.** Recolección residuos inorgánicos Tabacundo Urbano

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)

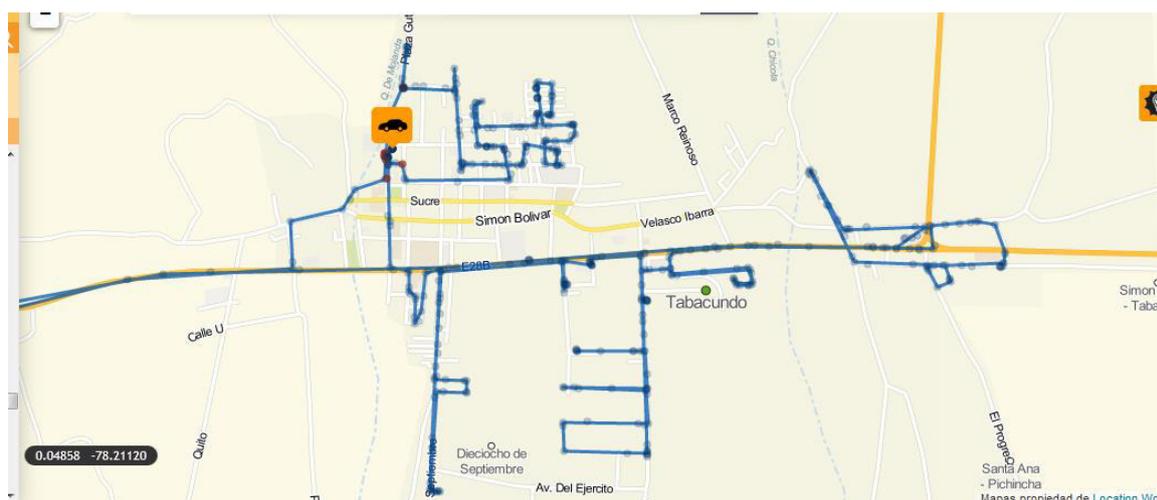
3.2.1.2. Ruta 2: martes, jueves y sábado (residuos inorgánicos)

En esta ruta se cubre 15 sectores de la parroquia urbana de Tabacundo, en horario nocturno. El recorrido dura en promedio de 5 a 6 horas hasta el relleno sanitario y regreso al garaje. Ver tabla 13 y figura 29.

Tabla 13*Recolección residuos inorgánicos Tabacundo Urbano*

Barrio-Sector-Calle	Horario
El Calvario	17:00 17:20
San Nicolas	17:20 17:30
Mama Nati 1	17:30 17:40
San Rafael 2	17:40 17:50
Tabacundo 2000	17:50 18:00
San Rafael 1	18:00 18:05
Suahuasi	18:05 18:15
Mama Nati 2	18:15 18:20
Amistad y Progreso	18:30 18:50
18 de septiembre	18:50 19:10
La Concepción	19:10 19:20
Pasquel	19:20 19:45
Tabacundo Moderno	19:45 19:55
EL Piman	20:35 20:45
Panamericana	20:45 21:15

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)

**Figura 29.** *Recolección residuos inorgánicos Tabacundo Urbano*

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)

3.2.1.3. Ruta 3: lunes, miércoles y viernes (residuos orgánicos)

En esta ruta se cubre los 21 sectores de la parroquia urbana de Tabacundo en horario nocturno. El recorrido dura en promedio 5 a 6 horas hasta el relleno sanitario y regreso al garaje. Ver tabla 14 y figura 30.

Tabla 14

Recolección residuos orgánicos Tabacundo Urbano

Barrio-Sector-Calle	Horario
El Calvario	17:00 17:15
Mama Nati 1	17:15 17:20
San Rafael 2	17:25 17:30
Tabacundo 2000	17:30 17:35
San Rafael	17:35 17:40
Sumahuasi	17:40 17:50
Mama Nati 2	17:50 18:00
La Banda	18:05 18:20
Amistad y Progreso	18:25 18:30
18 de septiembre	18:30 18:40
Mercado	18:40 18:55
Gonzales Suárez	18:55 19:00
Simón Bolívar	19:30 19:45
Sucre	19:45 19:55
Luis Freile	19:55 20:05
La Playita	
Plan de Vivienda Tabacundo	20:05 20:20
El Tambo	20:20 20:25
Panamericana	20:25 20:40
La Concepción	20:40 20:50
La Y	20:50 21:15

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo)

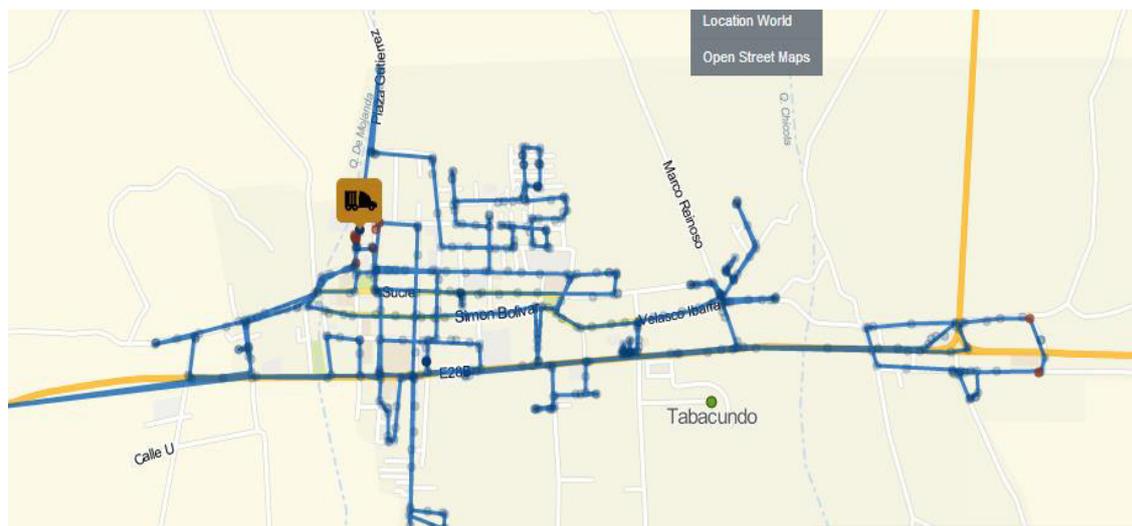


Figura 30. Recolección residuos orgánicos Tabacundo Urbano

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)

3.2.2. RECORRIDO DE RECOLECCIÓN EN LA ZONA RURAL

La recolección de esta zona se constituye en la dotación del servicio a las 4 parroquias rurales de manera diurna, en horario de 08:00 hasta las 15:00, con recolección de método de vereda y estación fija en los lugares con difícil acceso, en esta zona la recolección no es diferenciada sino mixta y se realiza en los dos recolectores, con una duración promedio de 6 horas de tiempo de recolección. Ver tabla 15 y figuras 31 a 34.

Tabla 15

Recolección de las parroquias rurales del cantón

Día	Horario	Ruta	Recolección
RECOLECTOR INTERNATIONAL 1			
Lunes	08h00-15h30	Tocachi – Malchingui	Mixta
Martes	08h00-15h30	Tabacundo rural – La Esperanza	Mixta
Miércoles	08h00-15h30	Tabacundo rural – Tupigachi rural	Mixta
Jueves	08h00-15h30	Tabacundo rural – La Esperanza	Mixta
Viernes	08h00-15h30	Tabacundo rural –Tupigachi rural – Cajas	Mixta
RECOLECTOR INTERNATIONAL 2			
Lunes	08h00-15h30	Tocachi – Malchingui	Mixta
Martes	08h00-15h30	Tabacundo rural – Tupigachi	Mixta

Miércoles	08h00-15h30	Tupigachi – Florícolas	Mixta
Jueves	08h00-15h30	Tabacundo rural – San Luis de Ichisi	Mixta
Viernes	08h00-15h30	Tocachi – Malchingui	Mixta

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)



Figura 31. Recolección residuos parroquia de Malchingui

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)



Figura 32. Recolección residuos en la parroquia Tocachi

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)



Figura 33. Recolección residuos en la parroquia de La Esperanza

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)



Figura 34. Recolección residuos parroquia Tupigachi

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2019)

3.2.3. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

3.2.3.1. Composición

De acuerdo con (Muñoz, 2008), los RSM están compuestos por varios materiales, y se toma en cuenta que en la caracterización de residuos generados en Pedro Moncayo se debe considerar, que en la zona urbana su recolección es diferenciada y, en las zonas rurales la recolección es mixta ya que su generación de residuos es menor, debido a que aprovechan los residuos orgánicos como abono en el campo y su generación es mínima, desechando en su mayoría residuos inorgánicos. Ver tabla16.

Tabla 16*Caracterización de residuos sólidos en zonas rurales y urbanas*

Material	Composición urbana	Composición rural
Orgánico	64.58%	34.68%
Papel	1.84%	3.66%
Cartón	3.06%	4.92%
Plástico rígido	4.16%	9.90%
Plástico suave	5.91%	12.80%
Madera	0.52%	0.00%
Vidrio	2.79%	1.67%
Chatarra	1.41%	2.06%
Pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias	11.69%	25.34%
Caucho	1.10%	0.00%
Textil	2.02%	4.98%
Otro	0.92%	0.00%

Fuente: (Hidalgo, 2019)

3.2.3.2. Peso Especifico

En la Tabla 17 se detalla desde el año 2010 hasta 2020 los datos históricos del peso específico de los residuos orgánicos de la zona urbana de Pedro Moncayo que comprende específicamente la parroquia de Tabacundo.

Tabla 17*Pesos específicos de los residuos orgánicos de la zona urbana*

Zona	Parroquia	Tasa de crecimiento poblacional (%)	Años	Población (habitantes)	Peso específico (kg/m³)
Urbana	Tabacundo Urbano	5.54	2010	10,059	272.3
			2011	10,616	274.5
			2012	11,204	276.5
			2013	11,825	278.6
			2014	12,480	280.1
			2015	13,172	281.3
			2016	13,901	283.8
			2017	14,671	285.9
			2018	15,484	286.1

	2019	16,342	286.7
	2020	17,247	288.4

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2020)

En la Tabla 18 se contempla desde el año 2010 hasta 2020 los datos históricos del peso específico de los residuos inorgánicos de la zona urbana de Pedro Moncayo que comprende concretamente la parroquia de Tabacundo.

Tabla 18

Pesos específicos de los residuos inorgánicos de la zona urbana

Zona	Parroquia	Tasa de crecimiento poblacional (%)	Años	Población (habitantes)	Peso específico (kg/m ³)
Urbana	Tabacundo Urbano	5.54	2010	10,059	165.7
			2011	10,616	166.1
			2012	11,204	168.5
			2013	11,825	170.9
			2014	12,480	173.6
			2015	13,172	175.3
			2016	13,901	176.9
			2017	14,671	179.5
			2018	15,484	182.1
			2019	16,342	183.2
			2020	17,247	185.4

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2020)

En la Tabla 19 se detalla los datos históricos de pesos específicos de residuos sólidos en la zona rural, siendo tomado de la parroquia de Tupigachi, Malchingui, La Esperanza y Tocachi, estos valores corresponden a los residuos sólidos tomando en cuenta su recolección mixta.

Tabla 19

Pesos específicos de los residuos orgánicos e inorgánicos de la zona rural

Zona	Parroquia	Tasa de crecimiento poblacional (%)	Años	Población (habitantes)	Peso específico (kg/m ³)
Rural	La Esperanza	1.90	2010	23,113	188.9
			2011	23,552	190.1

Tupigachi	2012	24,000	192.3
Tocachi	2013	24,456	193.8
Malchinguí	2014	24,920	194.2
Tabacundo	2015	25,394	206.1
rural	2016	25,876	20.4
	2017	26,368	205.2
	2018	26,869	207.2
	2019	27,379	209.3
	2020	27,900	211.4

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2018)

Las características que hacen diferentes a los residuos sólidos municipales de América Latina y el Caribe en relación con los de los países desarrollados son el mayor contenido de humedad que varía de 35 a 55% y el mayor peso específico que alcanza valores de 125 a 250 kg/m³ cuando se mide suelta. Se observa valores de 375 a 550 kg/m³ cuando está en el camión compactador y de 700 a 1.000 cuando se compacta en los rellenos sanitarios (Acurio, Rossin, Teixeira, & Zepeda, 2010).

3.2.4. ENCUESTA DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

Se realizó una encuesta de percepción de la satisfacción del servicio de recolección de residuos domiciliarios que recibe la población de Pedro Moncayo con el objetivo de analizar sus resultados y la necesidad de la implementación de un nuevo diseño de rutas.

Para la realización de la encuesta es necesario tomar en cuenta una serie de reglas y principios para lograr su objetivo, en donde se diseñó el cuestionario considerando el lenguaje, redacción, el tipo de pregunta y su respuesta, de igual manera que tengan conectividad y orden. El formato de la encuesta se encuentra en el anexo 3.

Y la determinación de la muestra que son los encuestados elegidos siendo una porción significativa que cumple con el objeto del análisis, siendo confiable y representativa, la finalidad es que las personas completen la encuesta y te otorguen los datos que se buscan.

Se ha considerado que una muestra demasiado grande dará lugar a la pérdida de valiosos recursos como el tiempo, mientras que una muestra pequeña puede no proporcionar información confiable.

3.2.4.1. Cálculo del tamaño de la muestra

De acuerdo con (Valencia, 2011), cuando conocemos el tamaño de la población, la muestra necesaria es más pequeña y su tamaño se determina mediante la fórmula:

$$n = \frac{z^2 qpN}{e^2(N - 1) + z^2 pq}$$

donde:

n = tamaño de la muestra buscada

z = parámetro estadístico del nivel de confianza

p = probabilidad de que ocurra el evento

q = probabilidad que no ocurra el evento

N = Tamaño de la población

e = error de estimación máximo aceptado

El nivel de confianza corresponde a una puntuación Z. Este es un valor constante necesario para esta ecuación. Aquí se presentan las puntuaciones Z para los niveles de confianza más comunes:

90% - Puntuación Z = 1,645

95% - Puntuación Z = 1.96

99% - Puntuación Z = 2.576

3.2.4.2. Determinación de la muestra de acuerdo con la zona de estudio

Zona Urbana

De acuerdo con el último CENSO en el 2010 la zona urbana compuesta por la parroquia de Tabacundo alberga a 10,059 habitantes con una tasa de crecimiento

poblacional de 5.54% con su proyección al 2021 se puede aproximar a una población de 18,203 habitantes de la cual se estableció como nuestro número total de población para determinar nuestra muestra.

donde:

$$z = 1.96$$

$$p = 0.5$$

$$q = 0.5$$

$$N = 18203$$

$$e = 0.05$$

$$n = \frac{z^2 pqN}{e^2(N - 1) + z^2 pq}$$

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 18203}{0.05^2(18203 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 376 \text{ habitantes zona urbana}$$

Zona Rural

La zona rural se compone de 4 parroquias (Tupigachi, Malchingui, Tocachi y La Esperanza) en donde de acuerdo con el último CENSO en el 2010 se obtuvo una población de 23,113 habitantes con una tasa de crecimiento de 1.9%, con su proyección al 2021 se considera una población de 28,430 habitantes de la cual se estableció como nuestro número total de población para determinar nuestra muestra.

donde:

$$z = 1.96$$

$$p = 0.5$$

$$q = 0.5$$

$$N = 28,430$$

$$e = 0.05$$

$$n = \frac{z^2 qpN}{e^2(N-1) + z^2 pq}$$

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 28,430}{0.05^2 (28,430 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 379 \text{ habitantes}$$

3.3. DISEÑO DE MACRO RUTAS

La Dirección de Gestión Ambiental de Pedro Moncayo proporcionó información a emplear, entre las cuales señalan la producción per-cápita (PPC), cantidad de habitantes por zona, concentración poblacional, número de vehículos recolectores disponibles y área que abarca el servicio de recolección.

3.3.1. SECTORIZACIÓN

Con la finalidad de establecer a cada grupo de recolección un trabajo conveniente y justo de forma que el trayecto desarrollado termine con la jornada laboral idónea (8 horas), utilizando la capacidad de carga del camión recolector a más del 90% en cada recorrido se realiza la zonificación, que consiste en distribuir la localidad en zonas operativas.

Con referencia a la eficiencia del sistema de recolección actual, la cantidad de zonas se determina en fundamento de las jornadas laborales imprescindibles para recaudar los residuos generados en la localidad.

3.3.1.1. Vías

Pedro Moncayo está comprendido de 910.50 km de vía; donde corresponde a la autopista (Panamericana Norte) 39.11 km, siendo caminos pavimentados 35.101 km, caminos lastrados o con revestimiento suelto y ligero 273.42 km, calles en zona urbana o centro poblado 51.4 km, caminos de verano 348.99 km, caminos de herradura 3.34 km y senderos 159.13 km (IEE, 2013). Ver tabla 20.

Tabla 20

Descripción de las vías en el cantón Pedro Moncayo

VÍAS	Km	%
Autopista o pavimentada de dos o más vías con separador	39.11	4.30
Camino pavimentado de dos o más vías	35.11	3.80

Revestimiento suelto y ligero de dos o más vías	60.27	6.60
Revestimiento suelto y ligero de una vía	213.15	23.70
Calle en zona urbana o centro poblado	51.40	5.60
Camino de verano	348.99	38.30
Camino de herradura	3.34	0.30
Sendero	159.13	17.40
TOTAL	910.50	100.00

Fuente: (IEE, 2013)

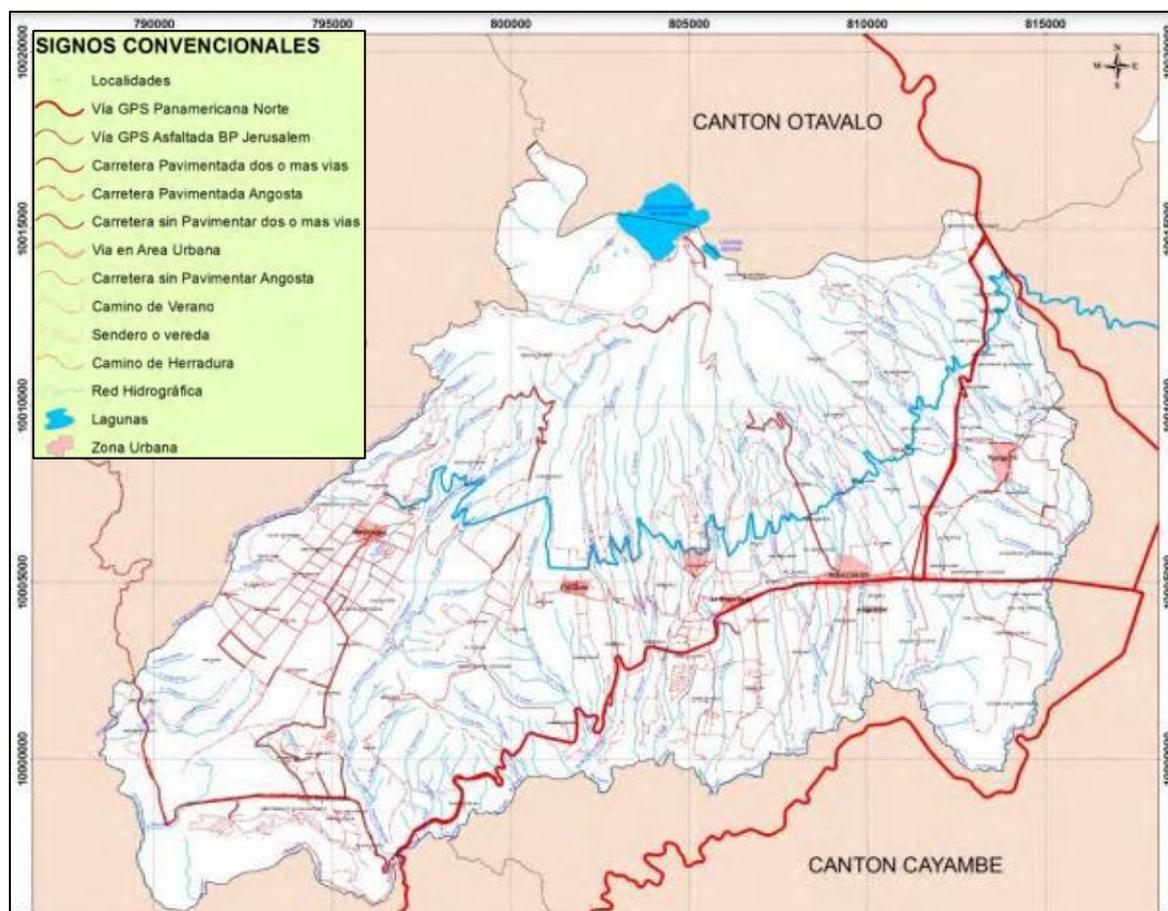


Figura 35. Mapa vial del cantón Pedro Moncayo

Fuente: (GAD Pedro Moncayo, 2018)

3.3.1.2. Poblados

La cabecera cantonal de Pedro Moncayo es Tabacundo y constituye el principal centro poblado del cantón, y conformado por 4 parroquias rurales, con sus respectivas cabeceras parroquiales: Malchingui, Tocachi, Tupigachi y La Esperanza. Ver tabla 21.

Los centros poblados y comunidades se encuentran dispersos por todo el territorio del cantón. A la mayoría se accede por vías lastradas de una o más vías y por caminos de verano.

Tabla 21

Centros Poblados y Caseríos

Nombre	Tipo	Hectáreas
Tabacundo	Cabecera Cantonal	298.21
Tupigachi	Cabecera Parroquial	49.9
Malchingui	Cabecera Parroquial	30.26
Tocachi	Cabecera Parroquial	29.5
La Esperanza	Cabecera Parroquial	18.87
Cochasquí	Poblado	3.18

Fuente: (IEE, 2013)



Figura 36. Mapa Político Cantón Pedro Moncayo

Fuente: (GAD Pedro Moncayo, 2018)

3.3.1.3. Determinación de la producción de residuos

Definiendo el peso de los residuos sólidos producidos diariamente en la urbe, se establece PPC total, utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Producción Per Cápita(PPC)} = \frac{Pw}{Np} \left(\frac{Kg}{\text{hab} * \text{día}} \right)$$

dónde:

Pw=Producción per cápita total

Np=Habitantes

En concordancia con los datos históricos y de compactación entregados por el Departamento de Gestión Ambiental del GAD Municipal Pedro Moncayo del pesaje que se obtiene en el relleno sanitario de la recolección de residuos municipales del cantón de los años del 2010 al 2020 y la proyección de la población de Pedro Moncayo del año 2010 al 2021 (tabla 9), se determinó la PPC alcanzó 0.32 kg/hab-día considerando aproximadamente un crecimiento de 0.01 kg/hab*día de producción per cápita del cantón que incluye a las 4 parroquias rurales (La Esperanza, Malchinguí, Tocachi y Tupigachi) y la cabecera cantonal que es la zona urbana (Tabacundo). Ver tabla 22.

Tabla 22

Datos históricos de la generación de residuos sólidos de Pedro Moncayo

Año	Tasa de crecimiento poblacional	Pedro Moncayo (habitante)	Generación de residuos		PPC
			ton/día	kg/día	kg/hab*día
2010		33,172	8.22	8,220	0.248
2011		34,127	8.62	8,620	0.253
2012		35,110	9.16	9,160	0.261
2013		36,121	9.56	9,560	0.265
2014		37,162	10.13	10,130	0.273
2015	0.0288	38,232	10.56	10,560	0.276
2016		39,333	11.02	11,020	0.280
2017		40,466	11.88	11,880	0.294
2018		41,631	12.47	12,470	0.300
2019		42,830	13.09	13,090	0.306
2020		44,064	14.21	14,210	0.322

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2020)

La (OPS/OMS, 2002) llevaron a cabo un estudio sectorial de residuos sólidos urbanos en Ecuador, siendo la ciudad de Tena tomada como referencia con un valor de 0.45 kg/hab*día. Por consiguiente, la categoría frecuente para regiones pequeñas varía entre 0.2 a 0.6 kg/hab*día.

3.3.1.4. Determinación de la eficiencia de recolección actual

La determinación del tiempo operacional destinado en recolectar residuos sólidos municipales producidos en cada recorrido se fundamenta en las cifras de tiempo de recogimiento obtenidas en campo, se solicita un resultado de 23 horas en un día. El tiempo operacional destinado en recolectar residuos y la porción de estos generados en 24 horas se relacionan mediante la siguiente fórmula.

$$\eta_{rec} = \frac{\textit{Producción de residuos diarios}}{\textit{horas operativas}}$$

dónde: η_{rec} = Eficiencia de recolección.

La eficacia media de la recolección de la zona se establece por dicha correlación.

3.3.1.5. Cálculo del número de sectores

Se determina la proporción de desechos que son recolectados en un recorrido completo y se relacionan variables antes referidas para calcular el número de zonas requeridas. Sobre el principio de esta valoración, se determina la cantidad de recorridos indispensables que proyectan las zonas a ser planteadas, asumiendo que se necesita de un recorrido para abarcar una zona.

Para recolectar en su mayoría los desechos producidos en la localidad, con referencia de que un trayecto realiza un recorrido completo (8 horas), se determina la cantidad de zonas necesarias mediante la ecuación.

$$S = \textit{Producción de residuos} \times J \times \eta_{rec} \times V_j$$

dónde:

S = Número de sectores

J = Horas operativas por jornada

$\eta_{rec} = \text{Eficiencia de Recolección}$

$V_j = \text{Sectores cubiertos por jornada en un día}$

3.3.2. ZONIFICACIÓN

3.3.2.1. Cálculo de la capacidad de los vehículos recolectores

Consecuentemente se realiza la estimación de la cabida de carga en toneladas de los camiones recolectores empleando la fórmula.

$$CVR = C_V \times \partial r$$

dónde:

CVR = Capacidad de vehículos recolectores (ton)

$C_V = \text{Capacidad de vehículo (m}^3\text{)}$

$\partial r = \text{Peso específico del residuo en el interior del camión recolector.}$

Se destina un camión recolector a cada zona, de manera que la generación de desechos no rebase la cabida máxima de recolección en cada trayecto, vinculando de esta forma la generación de residuos por zona y la cabida de recolección de los camiones utilizables.

3.3.2.2. Cálculo de la frecuencia de recolección

Tomando en cuenta las especificaciones para determinar la frecuencia de acuerdo con la generación de residuos, densidad poblacional, comercio y desarrollo. Se determina la frecuencia de recolección con las siguientes ecuaciones (Asanza Castro, 2017).

$$\text{Volumen diario} = \frac{\text{ppc} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} * \text{día} \right) * \#\text{habitantes}}{\text{Peso específico en el camión} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

$$\text{Frecuencia de recolección máximo} = \frac{\text{Capacidad de recolección (m}^3\text{)}}{\text{Volumen diario} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}$$

Para la frecuencia de recolección del cantón para un análisis integral se ha tomado en cuenta la generación de residuos de acuerdo la parroquia y en el área en que se encuentra siendo urbana o rural (ver tabla 23).

Tabla 23
Frecuencia de Recolección Máxima de Pedro Moncayo.

Zona	Parroquia	Tipo de Residuos	Frecuencia máxima (días)	Frecuencia Recolección (semanal)
Urbana	Tabacundo urbano	Orgánico	2	6
		Inorgánico	2	6
Rural	Tabacundo rural	Mixta	6	2
	Tupigachi		2	2
	Malchinguí		5	2
	La Esperanza		3	2
	Tocachi		6	2

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Por medio de los resultados obtenidos (tabla 23) la frecuencia de recolección máxima de residuos se toma como referencia para el tiempo de almacenamiento que se debe dar para iniciar la recolección de desechos.

En la zona urbana tenemos una recolección diaria, pero intercalando durante la semana laboral entre recolección de residuos orgánicos e inorgánicos utilizando los dos camiones para abastecer al servicio de acuerdo con su generación.

Por otro lado, en la zona rural que comprende 4 parroquias y una zona de Tabacundo rural, tomando en cuenta que su recolección no es diferenciada, resulta que los valores de frecuencia máxima de recolección son mayores a un día a excepción de Tupigachi, lo cual se determina realizar rutas combinadas de recolección entre las parroquias de Tupigachi y Tabacundo rural con dos rutas para poder abastecer con el servicio y de la misma manera combinar las rutas entre Malchingui y Tocachi, con el fin de optimizar los recorridos y brindar un servicio dos veces a la semana cubriendo la zona rural.

3.3.2.3. Cálculo del número de viajes y zonas operativas

Para recoger en su mayoría los residuos producidos en cada localidad, se diseñan zonas operacionales relacionadas con la cantidad de trayectos requeridos. La cantidad de recorridos se determina mediante la fórmula, obtenida de (Kunitoshi, 1980).

$$V_r = \frac{R_s \times d_{ac}}{CVR}$$

dónde:

V_r = Viajes requeridos en cada zona

CVR = Capacidad del vehículo recolector ($\frac{ton}{viaje}$)

d_{ac} = días de acumulación de residuos

R_s = Producción de residuos por zona

3.4. DISEÑO DE MICRO RUTAS

Un recorrido eficiente de residuos sólidos en Pedro Moncayo se determina a través del diseño micro rutas en cada una de sus parroquias, para ejecutar la recolección en una jornada laboral completa. Mediante salidas de campo se modificaron las rutas originalmente establecidas.

El diseño consideró:

- Estudio de las redes viales.
- Especificación del criterio de recogimiento a emplear.
- Bosquejo de grafos en determinadas áreas.
- Utilización de software editor de grafos.
- Planteamiento de micro rutas mediante el software AutoCAD 2021.

3.4.1. ANÁLISIS DEL PLANO VIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se dibujó la red vial del cantón Pedro Moncayo, mediante información otorgada por la Dirección de Tránsito del GAD de Tabacundo, como también información obtenida mediante la aplicación Google Maps e información obtenida en campo. Para el trazo de la red vial se desarrolló un estudio de redes viales en cada uno de los sectores operativos, el proceso se fundamentó en el reconocimiento de regiones de acceso complejo, evaluación del sentido de circulación de las arterias viales, su estado y ancho. Luego, disponiendo la dirección vial actual de la jurisdicción cantonal, se aplicó el software AutoCAD 2021 a proporción 1:100, este proceso fue consensuado a través de un experto de la Administración de Tránsito de Tabacundo.

Reglas Básicas de Diseño

- Procurar incrementar las distancias efectivas de recolección en correlación a la distancia total de la ruta.
- Las trayectorias no deben dividirse ni tampoco superponerse, es decir cada una debe basarse en recorridos que se realicen en una misma zona cubriendo la mayor área posible de la localidad.
- Para iniciar una ruta se planifica desde su salida y distancia del garaje de los vehículos recolectores hasta el final de la recolección con dirección o cerca del sitio del relleno sanitario.
- Para zonas que presentan pendiente de terreno elevada, se debe realizar el trayecto desde la zona alta hacia la más baja.
- Se debe cumplir con las leyes de tránsito y obedecer la circulación vehicular establecida.
- Es favorable no ejecutar maniobras de conducción tales como giros a la izquierda o viraje en “U”, debido a que contribuyen al tráfico y pueden ocasionar accidentes de tránsito.
- En horas “pico” se debe evitar realizar recorridos de recolección de residuos sólidos porque favorece el tráfico en la zona.
- Cuando en los recorridos se presentan calles angostas o sin salida, se recomienda no ingresen, y que los operarios recolecten los residuos presentes en estas vías.

(Henao Guzmán & Piedrahita Arana, 2019)

3.4.2. MÉTODO DE RECOLECCIÓN Y TIPO DE VEHÍCULOS

Se ha tomado en cuenta varios factores para la implementación de los métodos de recolección: la zona, accesos y cantidad de generación de residuos.

3.4.2.1. Método de recolección

Es así como en la parte urbana ya que se ha establecido rigurosamente la ordenanza municipal de control de la separación diferenciada de residuos domésticos se concluyó que el mejor método de recolección será a nivel acera, y en la zona rural al tener baja cantidad de recolección de residuos orgánicos, menor

frecuencia de recolección y difícil acceso a ciertos sectores se ha establecido una recolección mixta e implementación de contenedores fijos para controlar vectores.

El (CEPIS, 2005), presenta dos tipos de trazos de ruta que se debe considerar al momento de diseñar rutas de recolección, que concisamente se especifican en la tabla 24.

Tabla 24

Trazados para diseñar las rutas de recolección

Tipo	Descripción	Recomendado
Peine	Recolección a ambos lados de las vías, el vehículo recolector transita una sola vez por la vía recaudando los residuos-generados al mismo tiempo.	Común en áreas de mínima densidad poblacional.
Doble Peine	Recolección en un solo lado de las vías, el camión recolector transita por lo menos dos veces cada vía.	Para localidades de elevada densidad poblacional, principalmente en zonas comerciales con avenidas amplias.

Fuente: (Pineda, 1998)

3.4.2.2. Tipo de Vehículo

El GAD Pedro Moncayo en el año 2000 adquirió dos nuevos camiones recolectores con carga trasera de 10 m³ de capacidad, sustituyendo de esta forma a los antiguos vehículos que cumplieron su tiempo de vida útil. Además, que estos camiones favorecen la recolección de residuos sólidos por medio del método a nivel de vereda, tienen ventaja en la altura de carga (en la tolva posterior) que permite el trabajo del jornalero de recolección.



Figura 37. Camiones recolectores

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

3.4.3. DISEÑO DE GRAFOS

Se elaboraron los grafos de cada una de las zonas operativas determinadas a través del análisis e identificación de la red vial del cantón. Las esquinas de cada manzana fueron representadas por nodos y las calles o avenidas se simbolizaron mediante arcos, es decir, que la red de un grafo se conforma de nodos y arcos. El sentido de dirección de las vías es reflejado por la dirección de cada arco, a éste se destinó un valor que simboliza dimensión de las vías.

3.4.3.1. Simplificación de la red vial

El vehículo recolector no podía ingresar en algunas vías, por tanto, en esta fase se procedió a suprimir ciertas vías, rectificando la red que se diseñó con anterioridad. Vías que no se tomaron en cuenta fueron: vías sin salida, vías de tercer y cuarto orden que presentan capas de rodadura de tierra o lastre. La figura 38 indica un croquis del proceso de reducción de redes viales; las vías en las que no se proporcionará servicio están representadas por líneas punteadas.

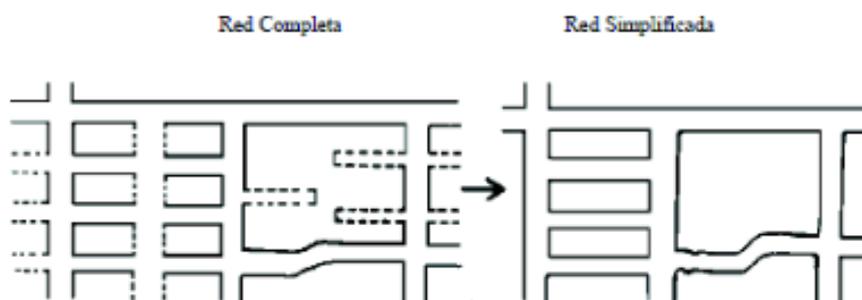


Figura 38. Simplificación de redes

Fuente: (Kunitoshi, 1980)

Se proyectó un bosquejo previo de grafos mediante la reducción de redes viales de cada parroquia que conforma Pedro Moncayo, procurando en lo factible de elaborar grafos Eurlianos con el objeto de facilitar el diseño de micro rutas en las 5 zonas pobladas del cantón. La red que conformaba los grafos finales se trazó digitalmente mediante el software AutoCAD 2021 debido a la simplicidad que proporciona esta herramienta computacional.

3.4.3.2. Diseño de micro rutas con el Programa GRAFOS-V. 1.3.5.

Este software de libre acceso facilita la edición, estudio y elaboración de grafos, y fue diseñado por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV); conteniendo algoritmos que facultan definir el recorrido apropiado, para este trabajo el programa computacional posibilitó trazar trayectos reducidos de recogimiento de residuos sólidos en las determinadas zonas de análisis.

Se dibujó de forma digital empleando el software AutoCAD 2021, el resultado final obtenido mediante el software Grafos, luego se desarrolló una representación de los trayectos de recolección elaboradas mediante el recorrido de un vehículo particular Honda Civic 1996, a través de esta información se realizó arreglos a las micro rutas en varias zonas empleando métodos aleatorios o heurísticos. Esta fase se efectuó en varios grafos hasta conformar la red vial de las zonas en análisis. El bosquejo definitivo considera un 20% de dibujos mediante algoritmos y 80% de trazo digital. Ver figuras 39 a 49.

Por último, se realizó el bosquejo final de los trayectos reducidos de recolección y se entregó el plano temático con su respectiva proporción mediante el programa computacional AutoCAD 2021. En el Anexo 1 se presentan las láminas de las rutas elaboradas en AutoCAD.

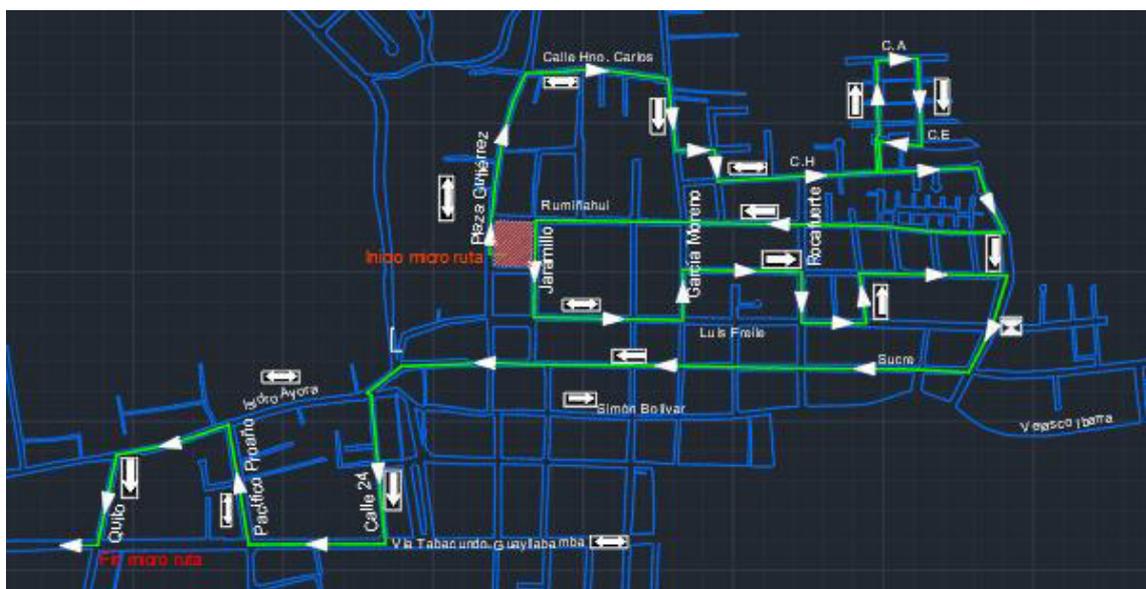


Figura 39. Diseño ruta RU1-Tabacundo

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

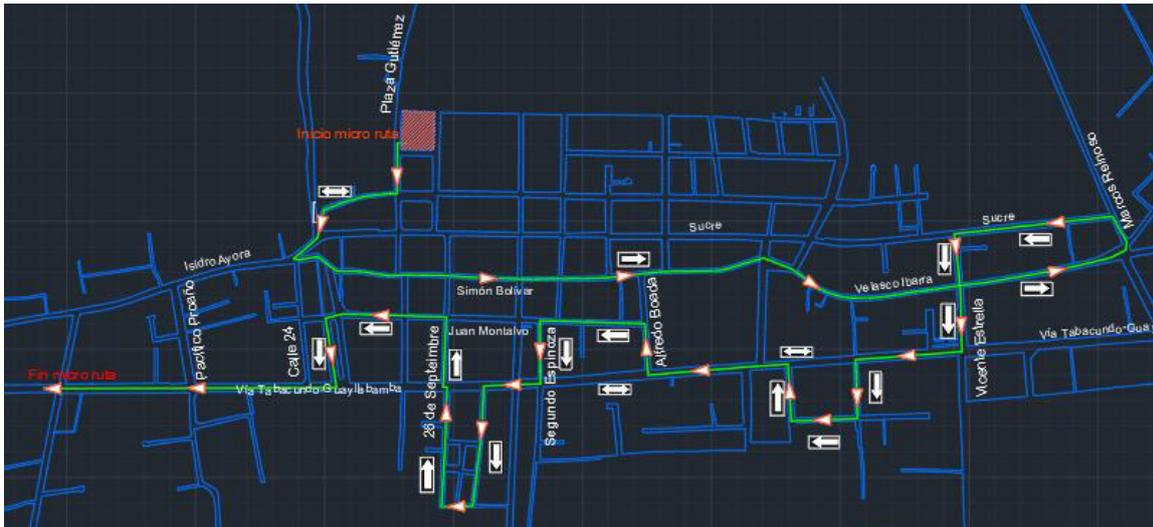


Figura 40. Diseño ruta RU2-Tabacundo

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

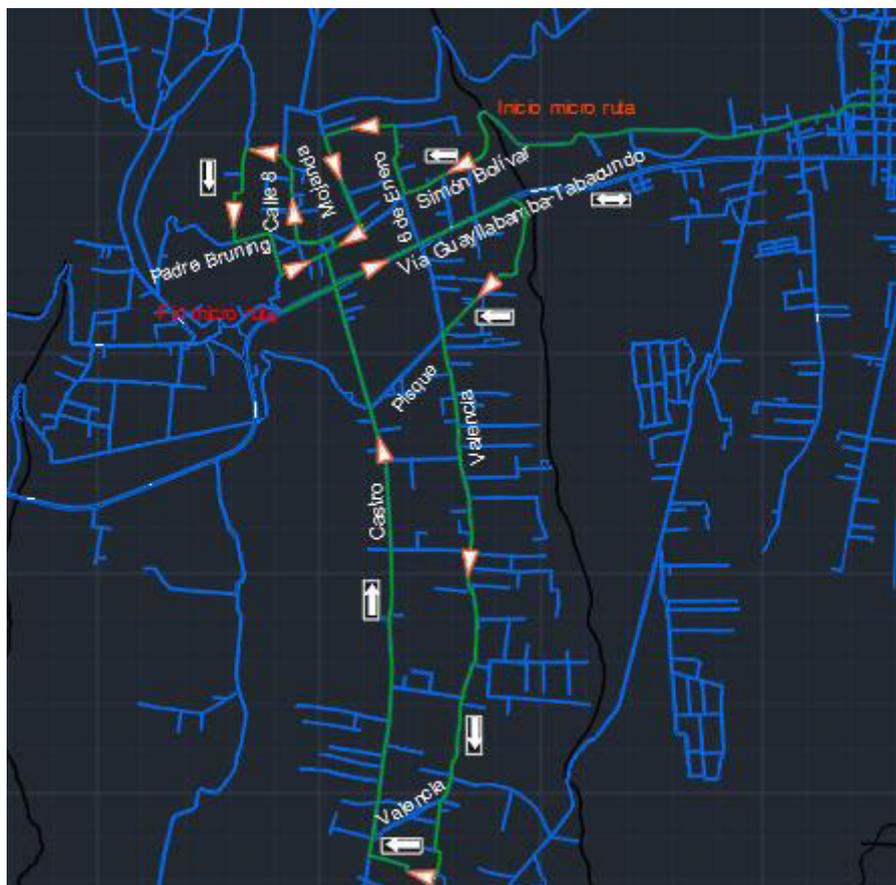


Figura 41. Diseño ruta RR1-La Esperanza

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

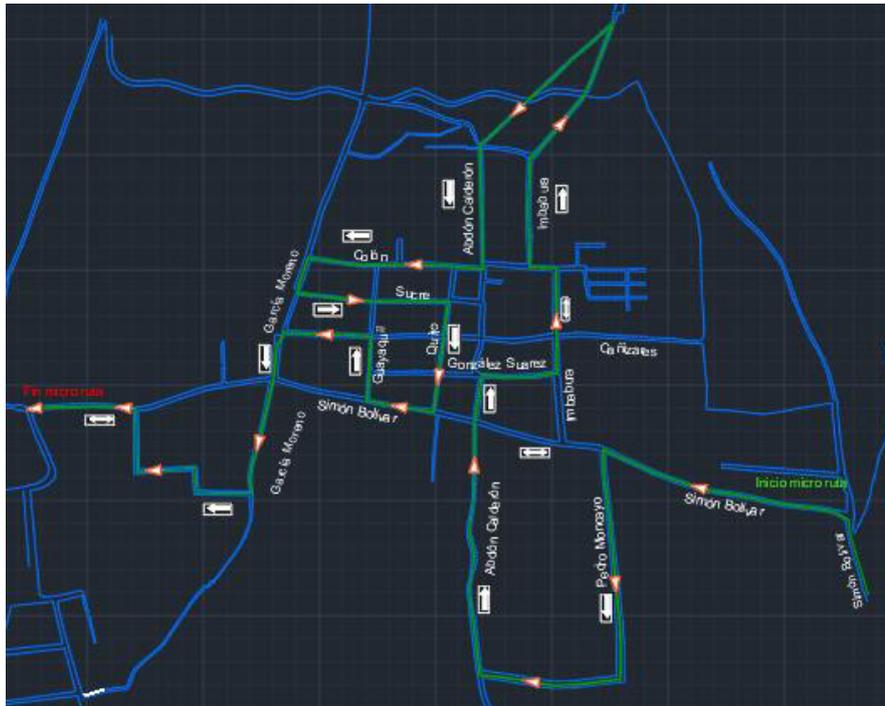


Figura 42. Diseño ruta RR2-Tocachi

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

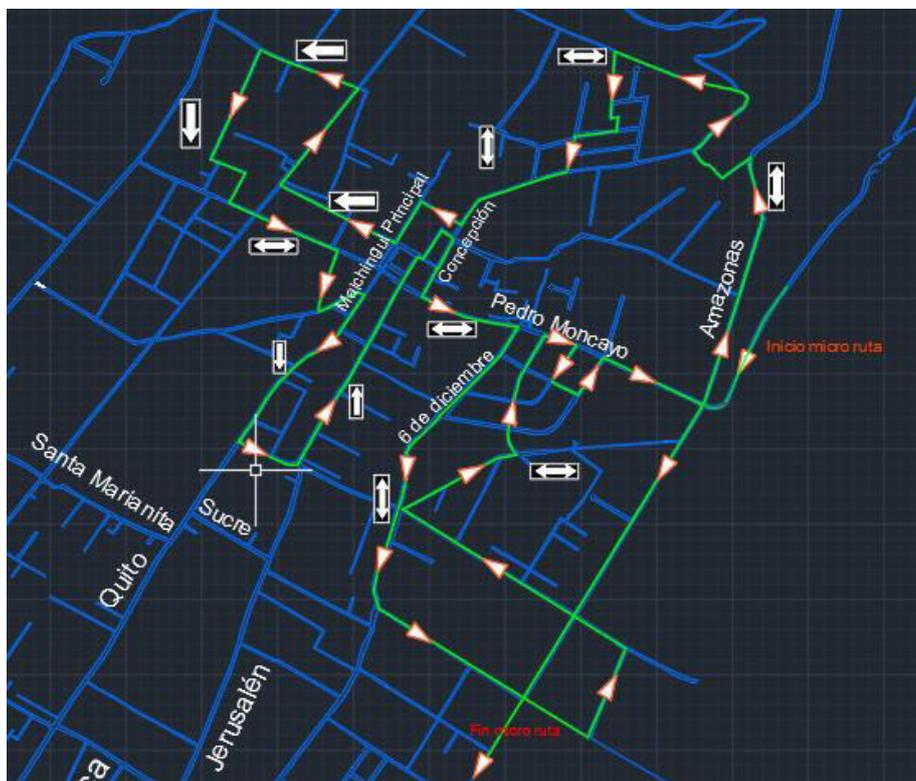


Figura 43. Diseño ruta RR2-Malchingui

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

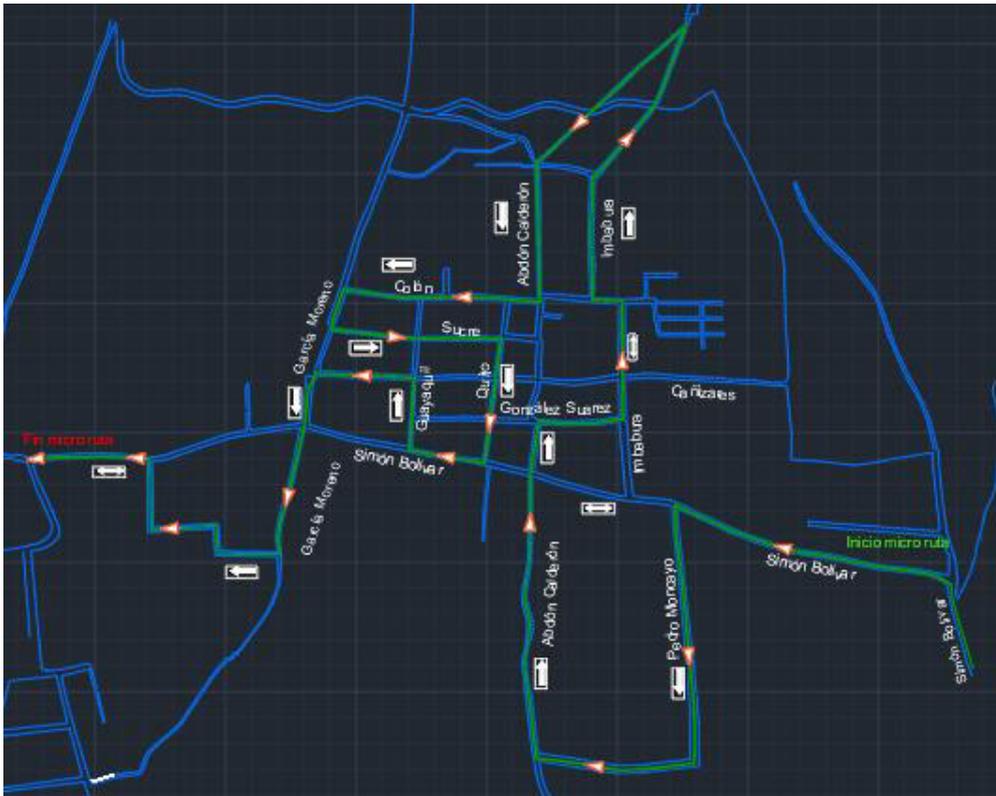


Figura 44. Diseño ruta RR3-Tocachi

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)



Figura 45. Diseño ruta RR3-Malchingui

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

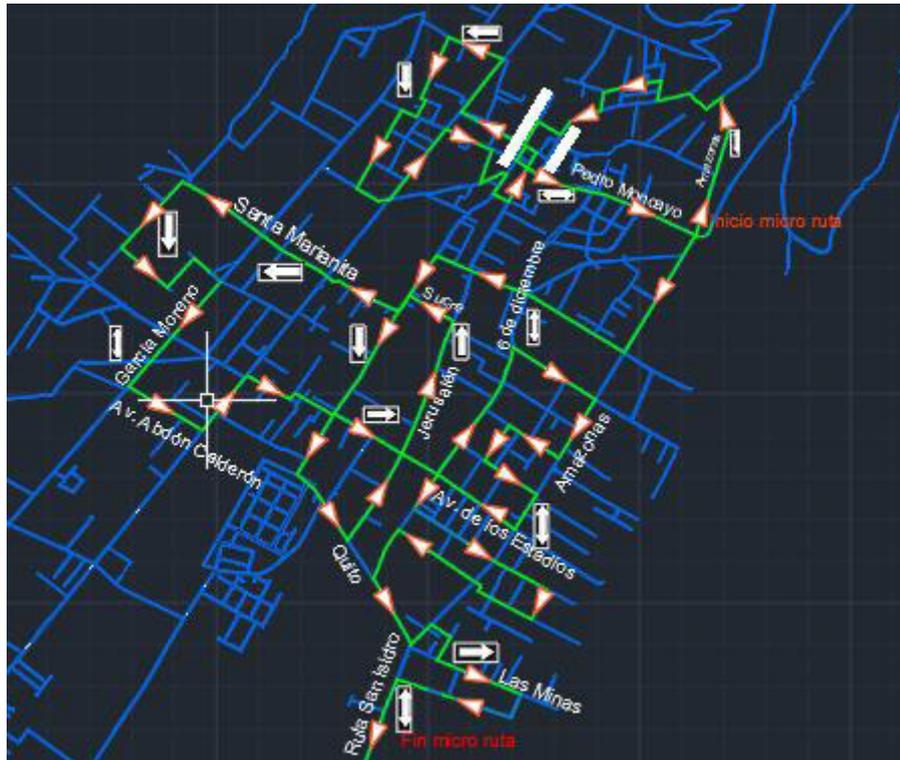


Figura 46. Diseño ruta RR4-Malchingui

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)



Figura 47. Diseño ruta RR5-Tabacunfo Rural y la Y

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

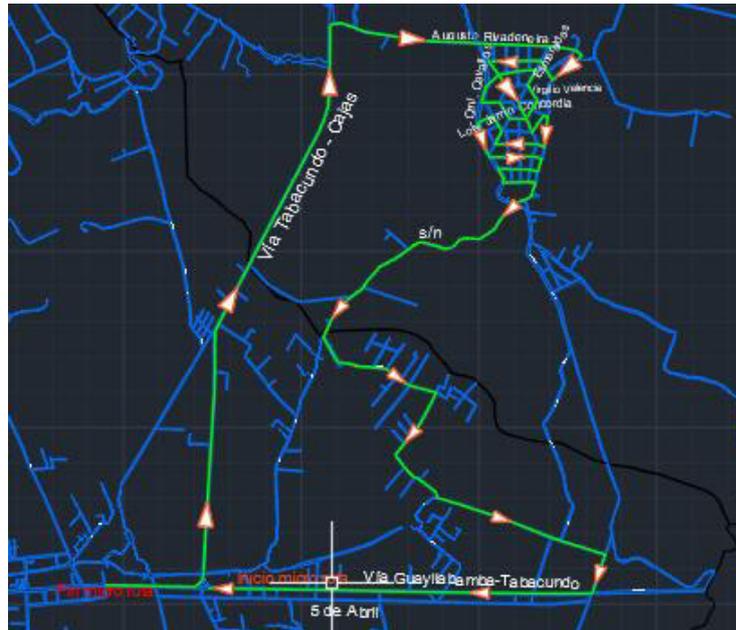


Figura 48. Diseño ruta RR6-Tupigachi
Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

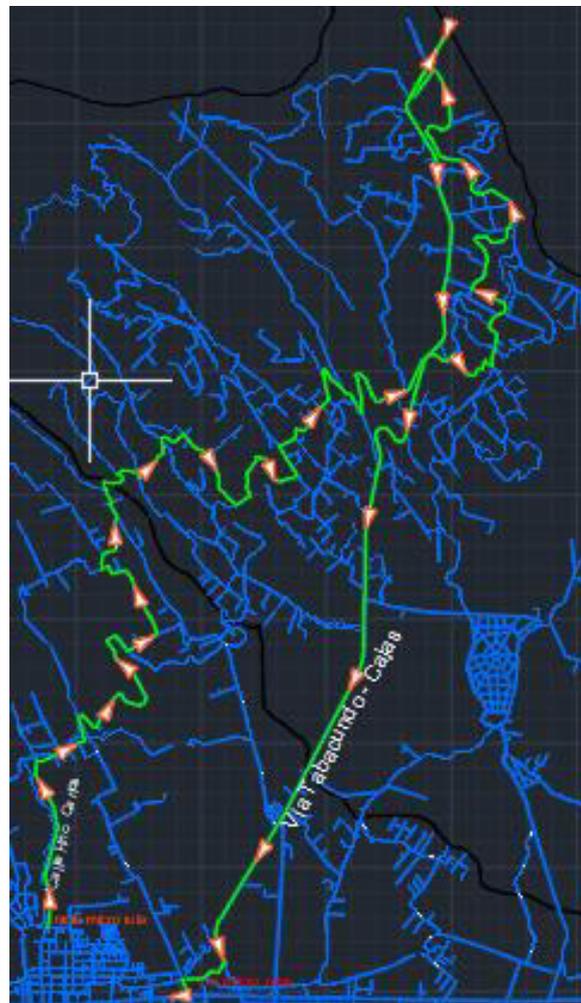


Figura 49. Diseño ruta RR7-Tupigachi
Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

3.5. PREDISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO

Para el prediseño del relleno sanitario del cantón Pedro Moncayo es necesario se considere los siguientes criterios técnicos:

- Conformación y delimitación del terreno original en su totalidad.
- Intervención del área, implementación en planta de obras civiles de infraestructura y construcciones auxiliares.
- Detalles constructivos: drenajes principales, construcciones auxiliares y accesos.
- Planificación constructiva para la orientación de las operaciones del relleno (frente de trabajo, construcción de plataformas y celdas).
- Configuraciones parciales del relleno sanitario en concordancia del progreso.
- Configuración final del relleno sanitario debe incluir la intervención paisajística (inclusión adecuada en el entorno).

(Jaramillo, 2002)

3.5.1. INFRAESTRUCTURA

En Tocachi, en la colectividad denominada Moronga, específicamente en el sector de El Tunal, se ubica el relleno sanitario de Pedro Moncayo de 20 hectáreas, en donde solo se ha planificado hasta el momento el uso de 5 hectáreas como área de implementación del relleno sanitario.

Para implementar un método combinado y por presentar condiciones adecuadas se planificó el relleno sanitario de Pedro Moncayo, siendo eficiente, permitiendo economizar la conducción del material de cobertura y prolongando el periodo de duración provechosa de este lugar. Iniciando mediante el modo zanja para posterior emplear el denominada modo superficial en la zona alta.

Actualmente cuenta con un área de compostaje y un solo cubeto de disposición final en la parte posterior del relleno con el 20% de vida útil es así como mediante levantamientos de información se presenta el prediseño del segundo cubeto en la parte inferior para que pueda seguir brindando el servicio a la población del cantón.

3.5.1.1. INFRAESTRUCTURA EXTERNA

Los estudios facilitados por la Dirección de Ambiente de Pedro Moncayo y la ejecución del levantamiento de datos en campo, demuestran factibilidad de montaje del relleno salubre en dicha zona, debido a que no existe población a su alrededor que pueda ocasionar afectaciones y tampoco existen fuentes de agua superficial que puedan ser contaminadas.



Figura 50. Mapa de ubicación del relleno sanitario

Fuente: (Google Earth, 2020)

La ubicación del actual relleno comprende áreas con desniveles medios a elevados, en su generalidad la unión abarca micro conglomerados de matrices limo arenosas, de areniscas voluminosas relacionadas a la Hilera Chiche, además de estar recubierta por capas volcánicas de la Hilera Cangahua.

Por estar ubicado en una pendiente se tomó en cuenta sus curvas a nivel, es así como se puede evidenciar el predio destinado para el levantamiento del relleno sanitario, posee un camino destinado al ingreso alrededor de la propiedad, las curvas de nivel varían de altura de 2,552 msnm hasta una altura 2,492 msnm, presentando una diferencia de 60 metros entre dichas zonas.



Figura 51. Mapa de curvas de nivel del relleno sanitario
Fuente: (Hidalgo, 2019)

3.5.1.2. INFRAESTRUCTURA INTERNA

El área auxiliar en un relleno sanitario es de un 20 – 30% del área total para implementar áreas adicionales en la implementación del relleno sanitario a los cubetos de disposición final de los residuos, en nuestro caso se incrementó el 20% (MMAyA/VAPSB/DGGIRS, 2012).

$$A_t = A_{DF} * 1.2$$

$$A_t (m^2) = 74,289 (m^2) * 1.2$$

$$A_t (m^2) = 89,146.8 m^2$$

Los cubetos destinados a la disposición final ocuparán un área determinada de 74,289 m², su área complementaria es 14,857.8m², abarcando en la planificación para: guardianía, bodegas de clasificación, área compostaje y parqueadero.

En la planificación del Relleno Sanitario se espera ir construyéndose de manera gradual tomando en cuenta las siguientes instalaciones. Ver tabla 25.

Tabla 25

Instalaciones con sus respectivas extensiones a considerar

Instalación	Extensión
Cubetos de Disposición Final	74289 m ²
Área de Compostaje	1250 m ²
Área de Clasificación	800 m ²
Garita, Báscula de Ingreso	50 m ²
Área de Oficinas	75 m ²
Área de Talleres	112.2 m ²
Área de residuos hospitalarios	800 m ²
Vivero	729 m ²
Parqueaderos	500 m ²

Fuente: (Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo, 2013)

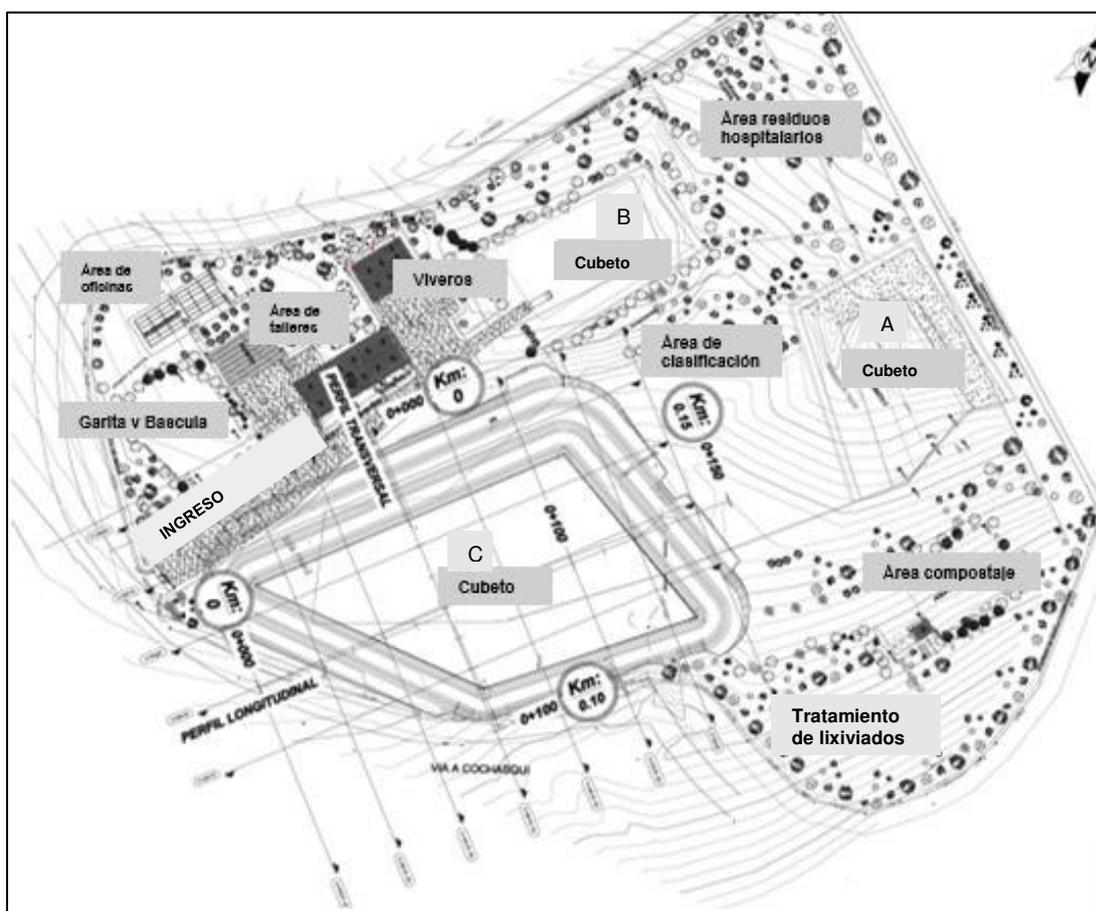


Figura 52. Mapa de instalaciones planificadas en el relleno sanitario

Fuente: (Hidalgo, 2019)

3.5.2. FRENTE DE TRABAJO

3.5.2.1. Cantidad de residuos sólidos

Los residuos sólidos domiciliarios serán el resultado por la población proyectada en cada año en toneladas.

Tomando como referencia de los datos históricos del 2010 al 2020 un aumento aproximado de 0.01 kg/hab*día de producción per cápita de la generación en residuos, se estima la generación de desechos mediante la siguiente ecuación. En este caso realizamos una proyección del año 2021 al año 2035. Ver tabla 26.

$$GRS \left(\frac{ton}{día} \right) = \frac{PPC \left(\frac{kg}{hab * día} \right) * Población(hab)}{1000}$$

donde:

GRS= Generación Residuos Sólidos

Hab= Habitantes proyectados

PPC= Cantidad Per Cápita (kg/hab*día)

Diario

$$GRS \left(\frac{ton}{día} \right) = \frac{0.33 \left(\frac{kg}{hab * día} \right) * 45,333(hab)}{1000}$$

$$GRS_{2021} = 14.96 \left(\frac{ton}{día} \right)$$

Anuales

$$GRS \left(\frac{ton}{año} \right) = 14.96 \left(\frac{ton}{día} \right) * 365 \left(\frac{día}{año} \right)$$

$$GRS_{2021} = 5,460.33 \left(\frac{ton}{año} \right)$$

Tabla 26*Generación de Residuos totales proyectados del cantón Pedro Moncayo*

Año	Habitantes (hab)	PPC kg/(hab*día)	Generación ton/día	Generación ton/año
2021	45,333	0.33	14.96	5,460.33
2022	46,638	0.34	15.86	5,787.82
2023	47,982	0.35	16.79	6,129.64
2024	49,363	0.36	17.77	6,486.35
2025	50,785	0.37	18.79	6,858.52
2026	52,248	0.38	19.85	7,246.75
2027	53,752	0.39	20.96	7,651.65
2028	55,300	0.40	22.12	8,073.87
2029	56,893	0.41	23.33	8,514.06
2030	58,532	0.42	24.58	8,972.90
2031	60,217	0.43	25.89	9,451.11
2032	61,952	0.44	27.26	9,949.43
2033	63,736	0.45	28.68	10,468.61
2034	65,571	0.46	30.16	11,009.44
2035	67,460	0.47	31.71	11,572.74

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

3.5.2.2. Volumen de residuos sólidos compactados

Está conformado de los residuos sólidos municipales recién recolectados y vertidos. La densidad utilizada en este proyecto será de 0.35 ton/m³ por ser un relleno Sanitario manual (MMAyA/VAPSB/DGGIRS, 2012).

Tabla 27*Densidades de residuos sólidos compactados*

Residuos sólidos	Manuales	0.3 ton/m ³
compactados	Mecanizados	0.5 ton/m ³

Fuente: (Jaramillo, 2002)

$$VRC = \frac{GRS * Ef}{D}$$

Donde:

VRC: Volumen de residuos sólidos compactados en el relleno (m³)

GRS: Residuos sólidos generados (ton/día)

Ef: Eficiencia de recolección

D: Densidad de recolección (ton/m³)

Diario

$$VRC = \frac{14.96 \frac{\text{ton}}{\text{día}} * 0.75}{0.35 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}}$$

$$VRC = 32.06 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Anual

$$VRC = 32.06 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} 365 \text{ días}$$

$$VRC = 11,700.71 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

3.5.2.3. Material de Cubierta

Se comprende por material inerte que cubre los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario, y corresponde a un promedio de 20% de los residuos.

$$VMC = VRC * Mc$$

Donde:

VMC: Volumen de material de cobertura (m³)

VRC: Volumen de residuos compactados (m³)

Mc: Factor de material de Cobertura (20%)

Diario

$$VMC = 32.06 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 0.2$$

$$VMC = 6.41 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Anual

$$VMC = 11,700.71 \frac{m^3}{día} * 0.2$$

$$VMC = 2,340.14 \frac{m^3}{día}$$

3.5.2.4. Prediseño de Celdas

Para el diseño de la celda se requerirá el volumen de residuos que se depositaran en las celdas, la densidad de compactación de los residuos y el factor de material de cobertura, que en este caso será del 20%, de esa manera se conocerá el volumen por día de espacio que se necesita para confinar los residuos generados (MMAyA/VAPSB/DGGIRS, 2012).

$$V_c = \frac{GT * Mc}{D} = \frac{m^3}{d}$$

Donde:

V_c: Volumen de la celda diaria, en m³

GT: Cantidad residuos sólidos que llegan al relleno sanitario, en (ton/día)

D: Densidad de compactación de los residuos (ton/m³)

Mc: Factor de material de cobertura

Para calcular el largo de la celda o el avance se tiene la siguiente ecuación:

$$L_D = \frac{V_c}{AC \times AT} = \frac{m^3}{m^2}$$

L_D: largo del frente de trabajo (donde se descargan diariamente los residuos recolectados) (m)

V_c: Volumen de la Celda (m³)

AC: Ancho de la celda o considerado frente de trabajo (m)

AT: Altura de la celda (m)

Prototipo de celda diaria

Longitud de frente de trabajo, descarga diaria. Ejemplo (2021):

Donde:

GT: Cantidad residuos sólidos que llegan al relleno sanitario, en (ton/día)

D: 0,35 ton/m³

Mc: 1.2

$$V_c = \frac{GT * Mc}{D} = \frac{m^3}{d}$$

$$V_c = \frac{11.22 \frac{ton}{d}}{0.35 \frac{ton}{m^3}} * 1.2$$

$$V_c = 38.47 \frac{m^3}{d}$$

Donde:

Vc: 38.47 m³/d

AC: 3 m

AT: 1,4 m

$$L_D = \frac{V_c}{AC * AT} = \frac{m^3}{m^2}$$

$$L = \frac{38.47 \frac{m^3}{d}}{(1.4 * 3) m^2} * 1.2 = 11.45m$$

$$L = 9.16m$$

Para la operación en la plataforma, utilizar la celda tipo 1 para los 312 días del año, que opera un relleno sanitario desde el fondo hasta el inicio del relleno en los diferentes niveles, pegado a la pared del terreno.

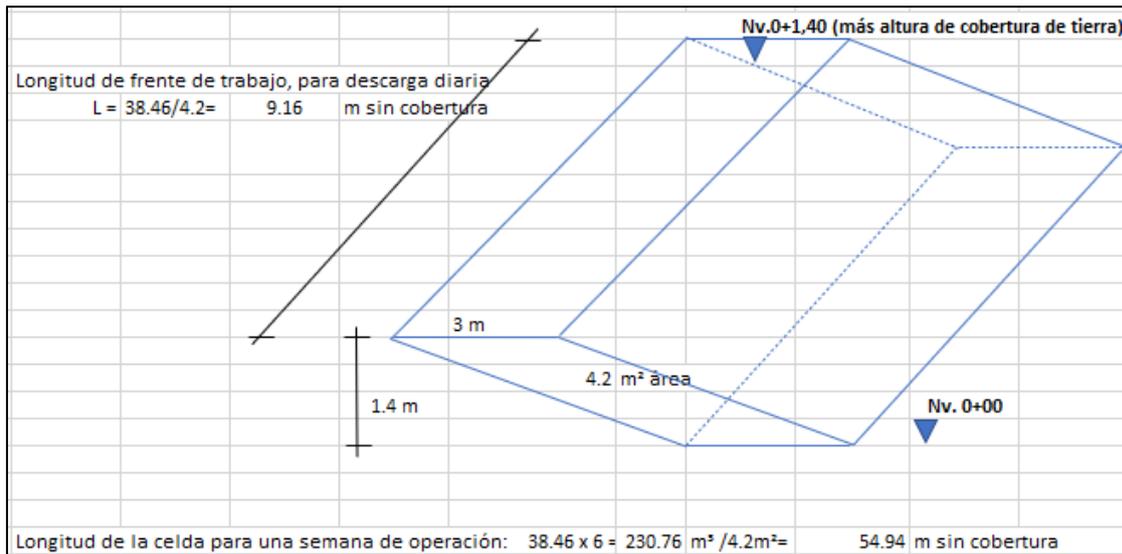


Figura 53. Celda Tipo 1

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

3.5.2.5. Volumen de la plataforma

Para calcular el volumen de plataformas proyectadas se utilizará la regla de prismoide que es aquella figura geométrica que posee dos caras planas y paralelas ya sea de forma regular o irregular, las cuales estarán unidas por superficies planas o alabeadas en las que es posible trazar rectas desde una cara hasta la otra cara paralela. Se puede calcular su volumen por la regla de Simpson, donde se divide la figura de forma que resulte un número de secciones equidistantes donde 3 es el número menos que llega a cumplir la condición (Jaramillo, 2002).

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{1}{3} * h * ((a * b) + (c * d) + \sqrt{(a * b) * (c * d)})$$

Donde:

a = Largo de la plataforma inferior (m)

b = ancho de la plataforma inferior (m)

c = Largo de la plataforma superior (m)

d = ancho de la plataforma superior (m)

h = altura de la plataforma total (m) = 1.4m

Talud utilizado vertical/horizontal 1:1.3

Berma: 4m de cada lado

Plataforma N 1

$$Volumen = \frac{1}{3} * 1.4 * ((194 * 194) + (190 * 190) + \sqrt{(194 * 194) * (190 * 190)})$$

$$Volumen = 51,611 m^3$$

3.5.3. SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LIXIVIADOS Y TRATAMIENTO

Por la típica dinámica de alteración de residuos o su fricción con el agua, se originan lixiviados, formándose por precipitado de uno o más combinaciones de los desechos sólidos. Estos lixiviados poseen considerable cantidad de materia orgánica elevadamente contaminada y sólidos en suspensión (De la Torre, 2013).

3.5.3.1. Producción de lixiviado

La técnica recomienda controlar el lixiviado mediante un sistema de drenaje ubicado en el fondo del relleno, para captarlos y conducirlos fuera del cuerpo del relleno para su tratabilidad y disminuir su carga contaminante, y no afecte al medio ambiente.

Para el cálculo del caudal de lixiviados se utilizó el método suizo con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} P * A * k$$

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (m³/seg)

P = Precipitación media anual (mm/año) = 582.60 mm/año

A = Área superficial del relleno (m²) = 10029.18 m²

t = Número de segundos en un año = 31'536,000 seg/año

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (k = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0.7 Ton/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (K= 0.15 a 0.25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Para la determinación del caudal generado del lixiviado producido por el relleno sanitario del cantón de Pedro Moncayo, usaremos el método suizo donde para un relleno débilmente compactado se utilizará un k de 0.3 y calculando el área requerida al año, permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado o líquido percolado mediante la ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} P * A * k$$

$$Q = \frac{1}{31'536,000 \text{seg/año}} 0.58260 \text{ m/año} * 10029.18 \text{ m}^2 * 0.3$$

$$Q = 0.00006 \text{ m}^3/\text{s} = 4.8 \text{ m}^3/\text{d} = 1752.90 \text{ m}^3/\text{año}$$

3.5.3.2. Sistema de Drenaje

Se planifica un sistema de drenaje y almacenamiento de lixiviado el cual consistirá en la construcción de una red horizontal de zanjas de piedra, tipo “espina de pescado” (ver figura 54), disponiéndose por medio de canaletas unas tuberías de drenaje la cual llevará hasta la laguna de almacenamiento. Al interior de las canaletas se colocarán los tubos perforador o ranurado de manera que facilite el escurrimiento de los lixiviados hacia las tuberías de drenaje.

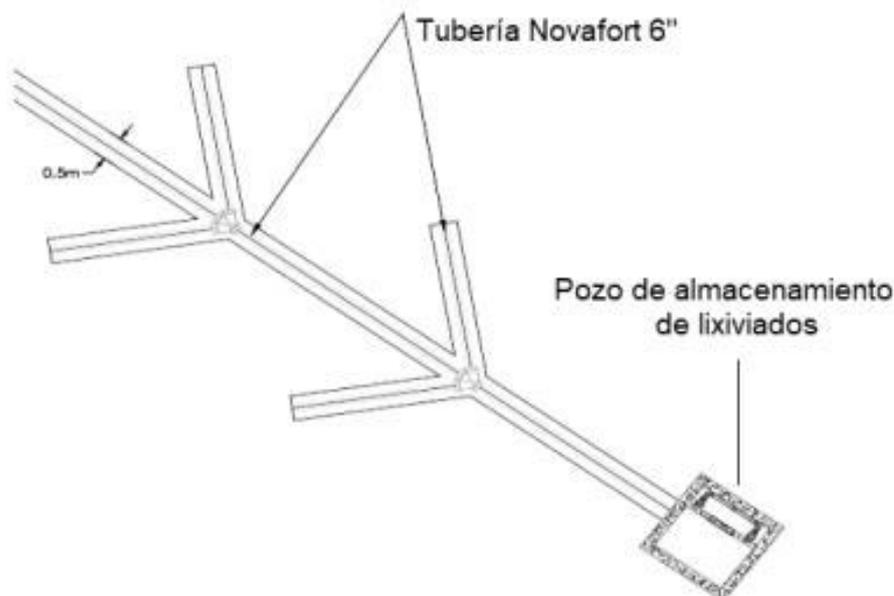


Figura 54. Red horizontal de zanjas de piedra, tipo espina de pescado

Fuente: (Jaramillo, 2002)

Esta canaleta tendrá una pendiente de 2-3% para facilitar el escurrimiento de los lixiviados. El espacio no ocupado por los tubos perforados al interior de las canaletas de drenaje se rellena con grava limpia, o lavada, de 3,5 a 5 cm. Las tuberías de drenaje deberán tener una pendiente del orden del 0,5 al 1% hacia el colector. Los drenes están constituidos por tubería de un diámetro.

Una vez que se colectan los lixiviados y estos salen del cuerpo del relleno, son conducidos por medio de un drenaje principal a una caja de revisión, el cual es conducido a un sistema de tratamiento, cuya función principal es disminuir la carga orgánica del líquido.

3.5.3.3. Tratamiento de Lixiviado

Existen diferentes tecnologías para tratar las aguas lixiviadas de un relleno sanitario. La selección del sistema depende del presupuesto disponible para la implementación, de la cantidad de las aguas lixiviadas y del área disponible.

En base a esta realidad, se plantea diseñar un sistema de tratamiento básicamente para reducir la carga orgánica del lixiviado, como un procedimiento idóneo para manejarse en el relleno sanitario del Cantón de Pedro Moncayo.

Tanque Séptico

Tienen como objetivo principal la reducción de los sólidos en suspensión del agua contaminada (sólidos sedimentables, flotantes, coloidales) (Gias, 2017).

En el tanque séptico el agua permanece retenida por un período suficientemente largo, logrando así separar de las aguas contaminadas los sólidos sedimentables, que se depositan en el fondo y las natas flotantes que se acumulan en la parte superior (Gias, 2017).

Los tanques sépticos, sirven simultáneamente como tanques para la sedimentación y digestión anaeróbica de lodos, sin necesidad de mezcla ni calentamiento, además de ser utilizados como almacenamiento de lodos. En la construcción de los tanques sépticos se usan generalmente materiales como el concreto o la fibra de vidrio, aunque también se han utilizado materiales como acero, madera de secuoya y polietileno (Tchobanoglous, 2000).

Filtro Anaeróbico de Flujo ascendente

La función del filtro también llamado reactor anaerobio es reducir la carga contaminante de las aguas contaminadas. Los filtros anaeróbicos son sistemas denominados de alta tasa, que han encontrado aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas (Gias, 2017).

En el filtro anaeróbico de flujo ascendente, el agua residual, se hace pasar uniformemente a través de un tanque empacado con un soporte sólido fuerte (grava, piedra de mano, trozos de material sintético, etc.). Sobre el soporte se genera una biopelícula, que es retenida en el medio y que es la encargada de digerir la materia orgánica. Los filtros anaeróbicos permiten la aplicación de tiempos de retención hidráulica cortos y altas cargas orgánicas, ya que su operación es bastante estable (Nayola & Morgan, 1997).

Aunque las ventajas de la digestión anaeróbica sobre la aeróbica se hacen más evidentes a medida que la concentración de materia orgánica se incrementa, reportan la utilización de filtros anaeróbicos en el tratamiento de aguas residuales domésticas (diluidas) con eficiencias de remoción de materia orgánica de hasta 84% (Gias, 2017).

Para evitar que se colme el filtro anaeróbico, se recomienda construir una pequeña piscina de sedimentación, donde se van las aguas lixiviadas antes de ser conducidas al filtro anaeróbico. La figura 55 muestra una secuencia posible para el tratamiento con reactor anaeróbico.

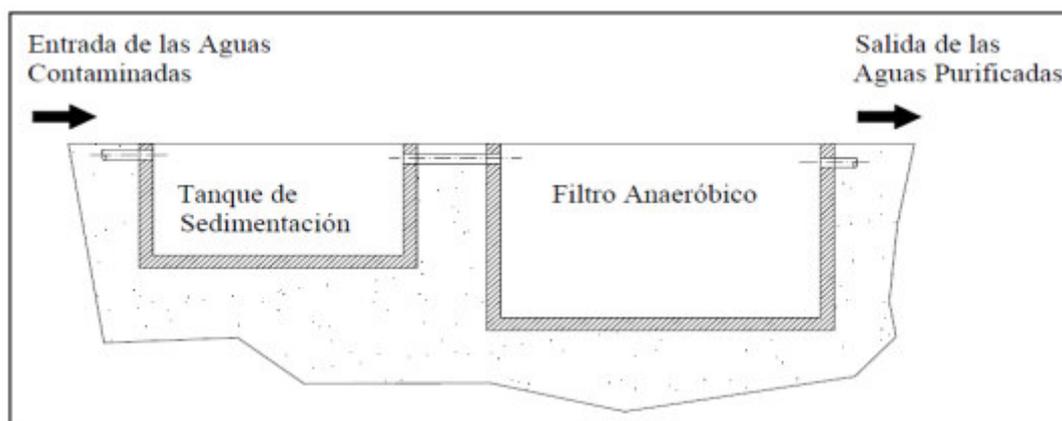


Figura 55. Secuencia del digestor anaerobio

Fuente: <http://gestionintegralresiduos.blogspot.com>

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE RUTAS ACTUALES DE RECOLECCIÓN

El GAD de Pedro Moncayo ha dispuesto al Departamento de Gestión Ambiental planificar y ejecutar la gestión de residuos sólidos municipales del cantón y se brinde el servicio en una óptima cobertura lo cual no se ha podido cumplir por varios problemas técnicos como rutas de recolección ineficaces con lo cual ha aumentado un mayor gasto público para logra una eficiencia de recolección del 75%, y el mal estado de los camiones de basura que en ocasiones deben de reemplazarse con otros vehículos livianos para poder llegar con el servicio a ciertos sectores.

La gestión de residuos sólidos domésticos ha venido funcionando durante 20 años sin tomar en cuenta el rápido crecimiento que ha sufrido el cantón al ofrecer fuentes de trabajo, está en una situación de constante crecimiento, lo que ha generado la necesidad de implementar una revisión de sus rutas aplicando un diseño técnico que mejore con mayor alcance y optimice recursos.

4.1.1 ANÁLISIS TÉCNICO

Mediante la incorporación de un nuevo modelo de diseño de micro rutas se establecieron horarios fijos, frecuencias estables de recolección de residuos, fijación de la velocidad de avance de los camiones recolectores. Con la implementación de contenedores en las rutas se obtiene una disminución en el tiempo de recolección, almacenando temporalmente mayor cantidad de residuos y abarcando un mayor número de zonas rurales de Pedro Moncayo. De esta forma la problemática actual del modelo de recolección de desechos en lo referido a la eficiencia del servicio se soluciona.

4.1.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

El personal que tiene la responsabilidad del servicio de recolección está conformado por un chofer y dos jornaleros de recolección, por la demanda del servicio y horarios rotativos de lunes a sábado en horario diurno y nocturno,

divididos en varias rutas de recolección para la zona rural y urbano, intentando tener una cobertura de recolección debido a la creciente población.

Tabla 28

Costos del sistema de recolección actual

Personal	Cantidad	Unidad	Costo Unitario (USD)	Costo Anual (USD)
Choferes	5	U	614.84	36,890.40
Operadores	10	U	561.84	67,420.80
Administración	3	U	528.84	19,038.24
Equipos				
Combustible	32,580	Gal	1.04	33,883.20
Mantenimiento	2	U	15,000.00	30,000.00
Sanitización				
Permisos				
EPP				
Guantes	20	U	12.00	240.00
Overol	30	U	45.00	1,350.00
Mascarilla	5,616	U	0.5	2,808.00
Chalecos reflectivos	20	U	18.00	360.00
Gorra	30	U	11.00	330.00
Otros				
Herramientas	.	U	150.00	1,800.00
Horas extras	.	U	3,477.04	13,908.16
Total, anual				208,028.80
Recolección (ton/año)				5,975.73
Costo por tonelada al año				34.81

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Basándose los gastos (tabla 28) que se han generado en el 2020 para el GAD Pedro Moncayo por el servicio que ofrecen a su población de recolección de residuos con una generación de 5,975.73 ton/año de residuos, se tiene un costo de 34.81 dólares/ton, siendo una cantidad que sobrepasa el promedio de 34.20 dólares/ton en sistemas de recolección de América Latina y el Caribe.

4.1.3 ANÁLISIS SOCIAL

Existiendo falencias en la organización, supervisión del personal operativo y cooperación de los pobladores en la presentación de residuos, a nivel de vereda, que genera un problema social que no tiene relación con el diseño técnico del modelo de recolección, lo que implica es la pérdida de recursos, daños a la imagen (estética) del cantón, afectando al turismo y generando problemas ambientales.

En la actualidad el sistema de gestión de recolección que conforma sus rutas de recolección han quedado deficientes por el crecimiento poblacional del cantón y sus asentamientos dispersos, lo que genera malestar y no se pueda cubrir con el servicio a toda la población, siendo la zona rural el sector menos favorecido para la recolección, por lo cual en varios sectores los mismos pobladores improvisan pequeños colectores de madera para colocar los residuos, debido a que los residuos abandonados en la zona rural se colocan en la vía propiciando a la aparición de perros y vectores q rompen las fundas y dispersan la basura y eso responde a una carencia de cobertura del servicio de recolección.

4.1.3.1 Tabulación de encuesta de satisfacción a la población de Pedro Moncayo

Para poder medir la percepción del servicio, por la población, se aplicaron encuestas a los habitantes del cantón Pedro Moncayo, determinando una muestra para la zona rural y urbana, debido a que el sistema de gestión de residuos se diferencia en cada zona por su tipo de recolección y frecuencia.

1. En que parroquia se encuentra su vivienda

Se realizó la encuesta en la zona urbana para 376 habitantes y para la zona rural 379 habitantes vinculando a todas las parroquias rurales, de lo que se obtuvo como resultado lo siguiente:

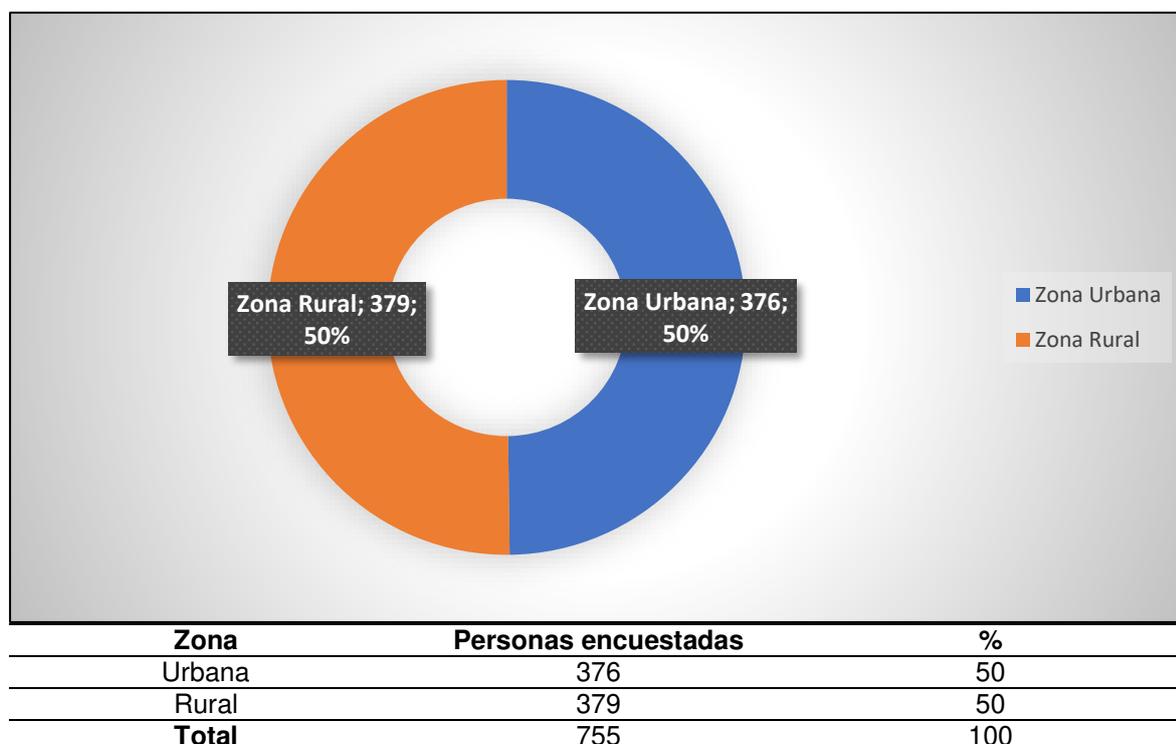


Figura 56. Total personas encuestadas

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA URBANA

En la muestra de la zona urbana se tiene el 100% de la población de la parroquia de Tabacundo, siendo considerada como cabecera cantonal y urbana.

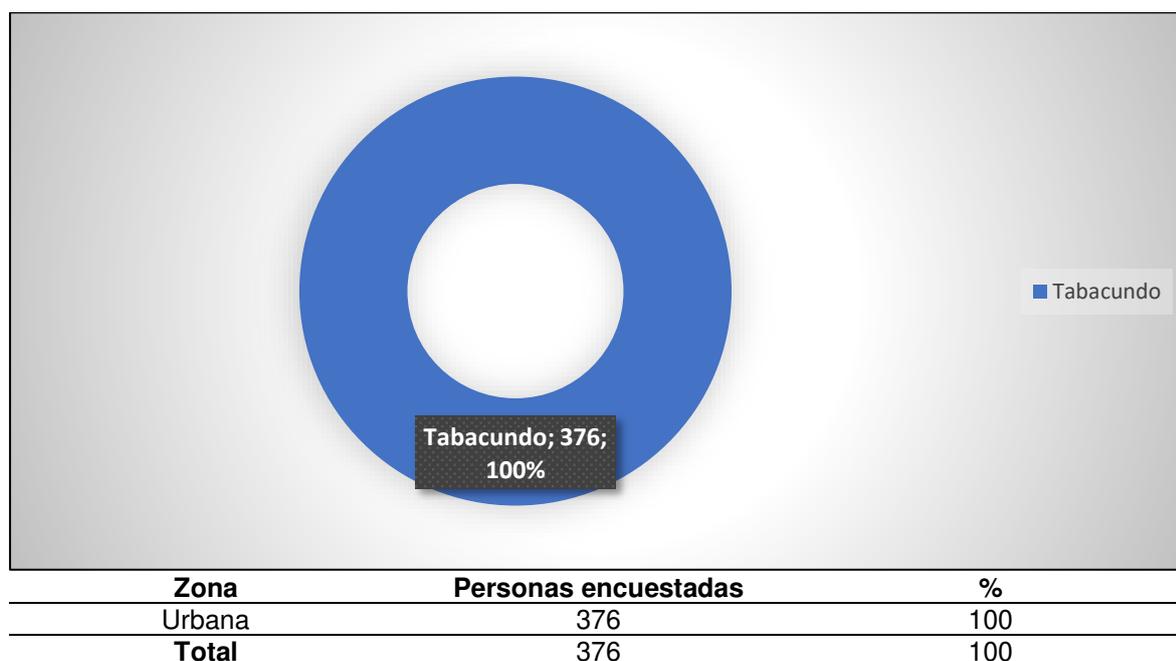
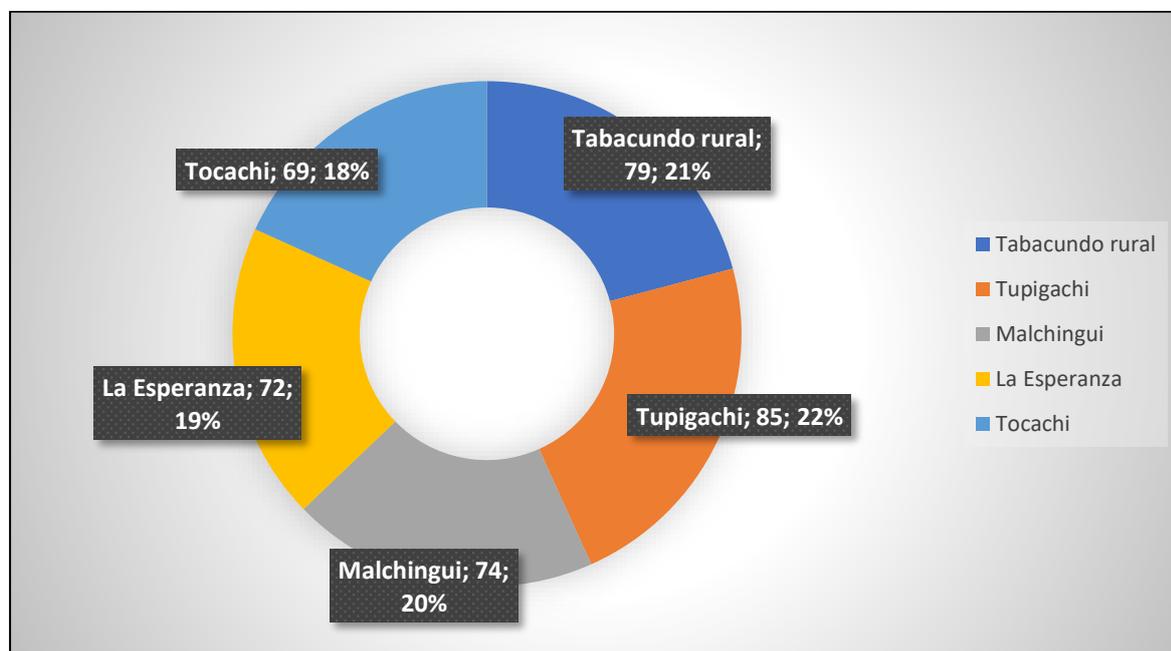


Figura 57. Personas encuestadas zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL

Para la muestra considerada en la zona rural se tomó en cuenta sus 5 parroquias las cuales comparten un mismo sistema de recolección al ser su generación menor que en la zona urbana de residuos y de difícil acceso.



Zona	Personas encuestadas	%
Tabacundo rural	79	21
Tocachi	69	18
Malchingui	74	20
La Esperanza	72	19
Tupigachi	85	22
Total	379	100

Figura 58. Personas encuestadas zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

2. ¿Cuántas personas habitan en su domicilio?

ZONA URBANA

En los hogares de la zona urbana se evidencia que en su mayoría están conformados entre 3 a 4 habitantes, lo que su generación de residuos semanal es significativa.

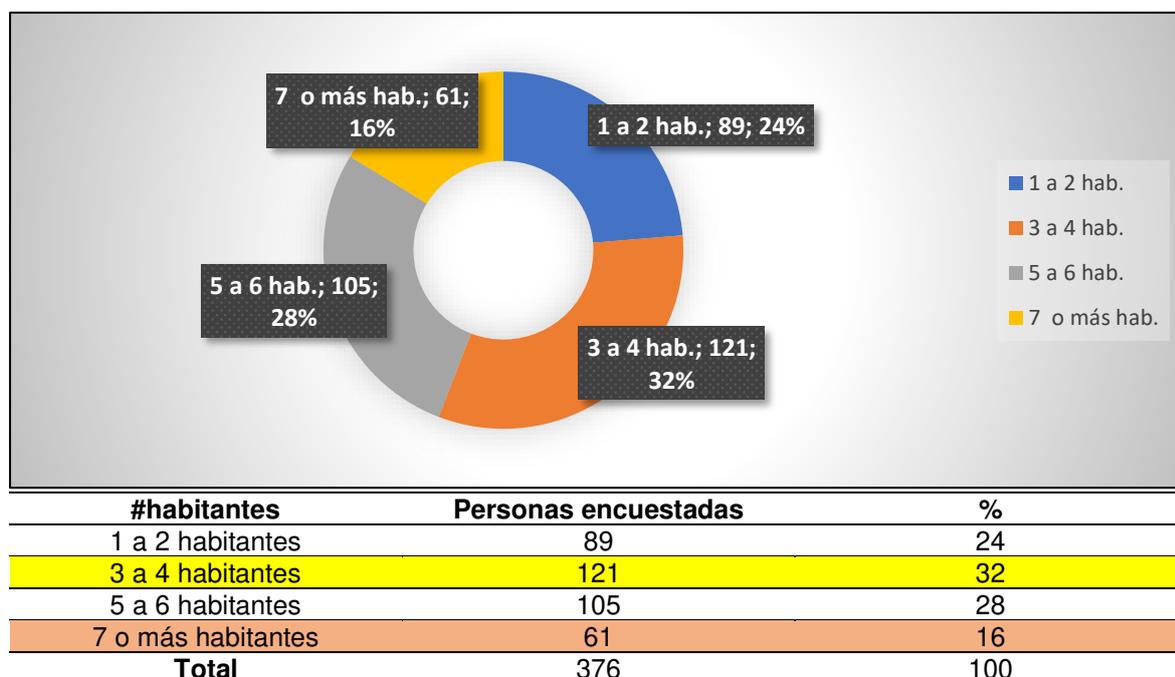


Figura 59. Habitantes por domicilio zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL

En los hogares encuestados en la zona rural se evidencia que en su mayoría están conformados entre 5 a 6 habitantes, lo que su generación de residuos semanal es considerable por el número de personas.

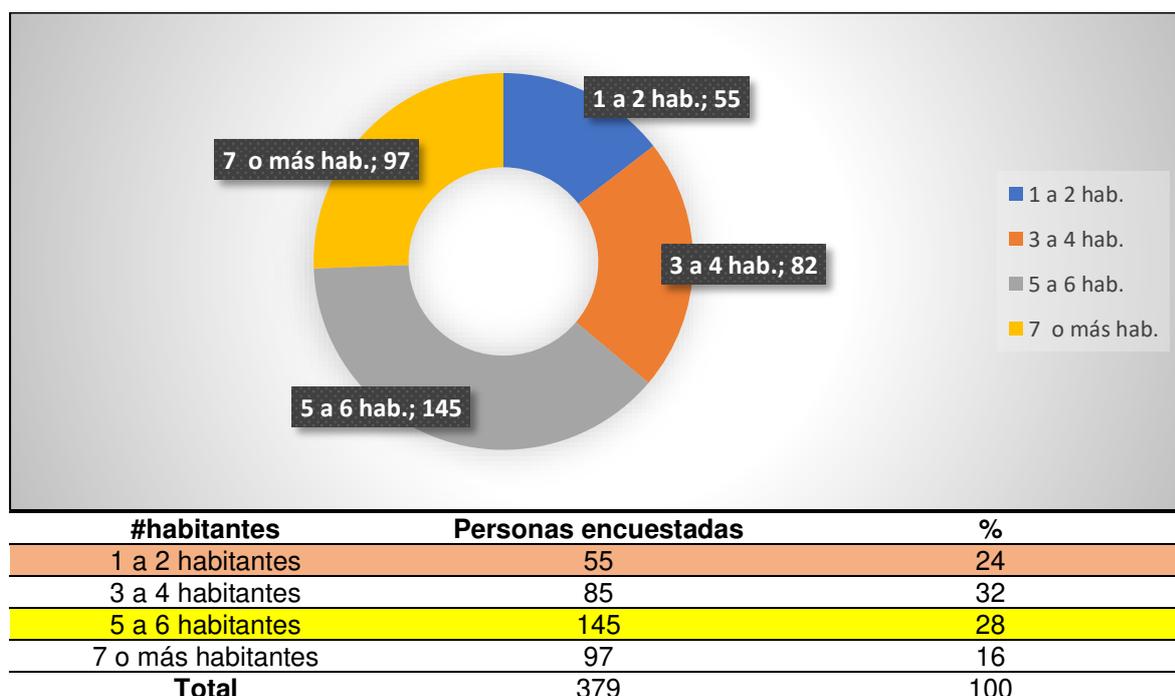


Figura 60. Habitantes por domicilio zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

3. ¿Cuál es la condición de la calle frente a su vivienda?

ZONA URBANA

Los pobladores encuestados han mostrado que en su mayoría tienen sus viviendas con vía pavimentada y adoquinada, pero un 43% con difícil acceso por vías en mal estado.

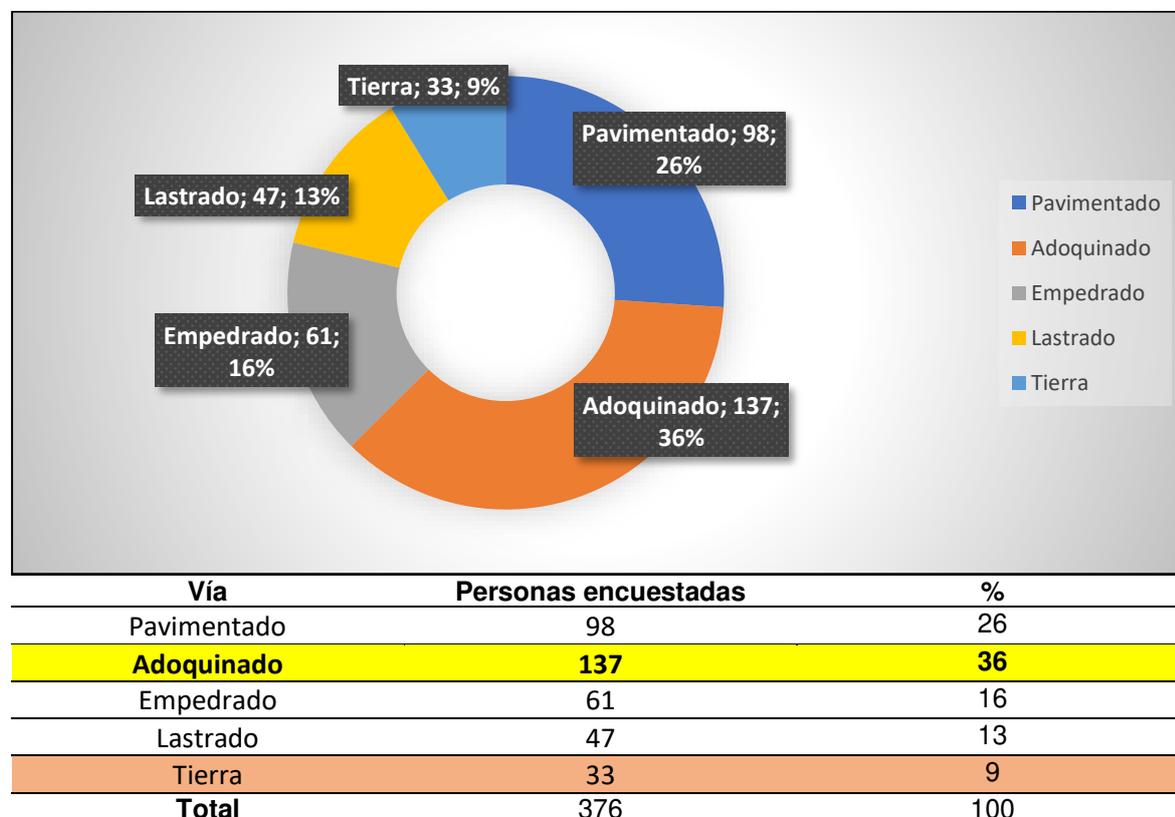


Figura 61. Condición de la calle frente a su vivienda zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL

Los pobladores encuestados han mostrado que al ser una zona rural no poseen de buenas vías siendo en un 28% lastrado con acceso limitado o difícil por vías en mal estado.

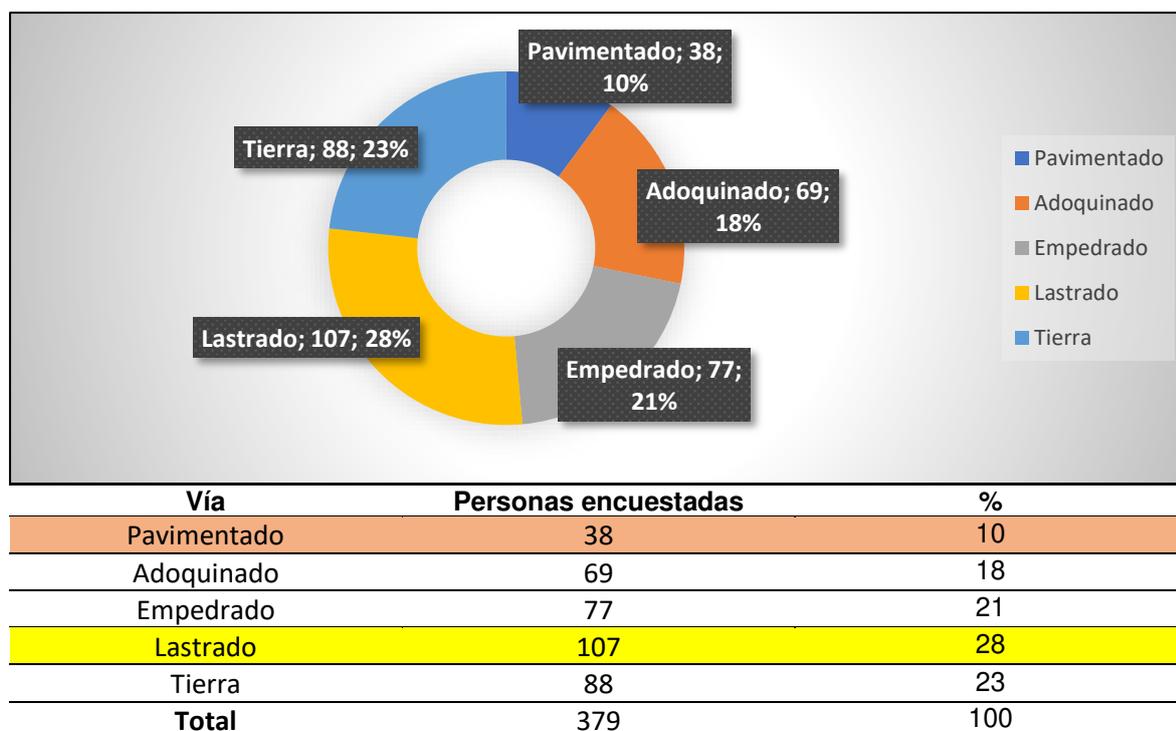


Figura 62. Condición de la calle frente a su vivienda zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

4. ¿El vehículo recolector de basura pasa por frente de su vivienda?

ZONA URBANA

Se ha determinado el 73% de muestra encuestada reciben la asistencia de recogimiento, mientras un 27% detalla que la asistencia no asiste sus hogares, quienes deben realizar algún esfuerzo para depositar sus residuos a zonas céntricas.

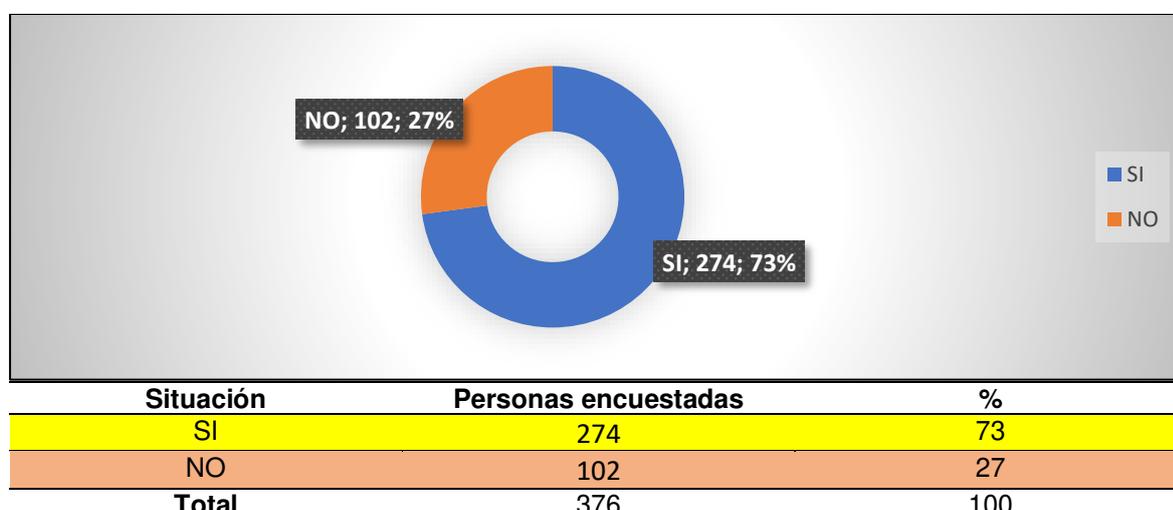


Figura 63. Hogares con recolección por su vereda zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL

En la muestra de encuestados de la zona rural se ha obtenido que el 39% de los hogares reciben la asistencia de recogimiento, mientras un 61% detalla que el servicio no llega a sus hogares, quienes deben realizar el esfuerzo de llevar sus residuos a depositar por sectores donde hayan identificado que existe el servicio o a zonas céntricas.

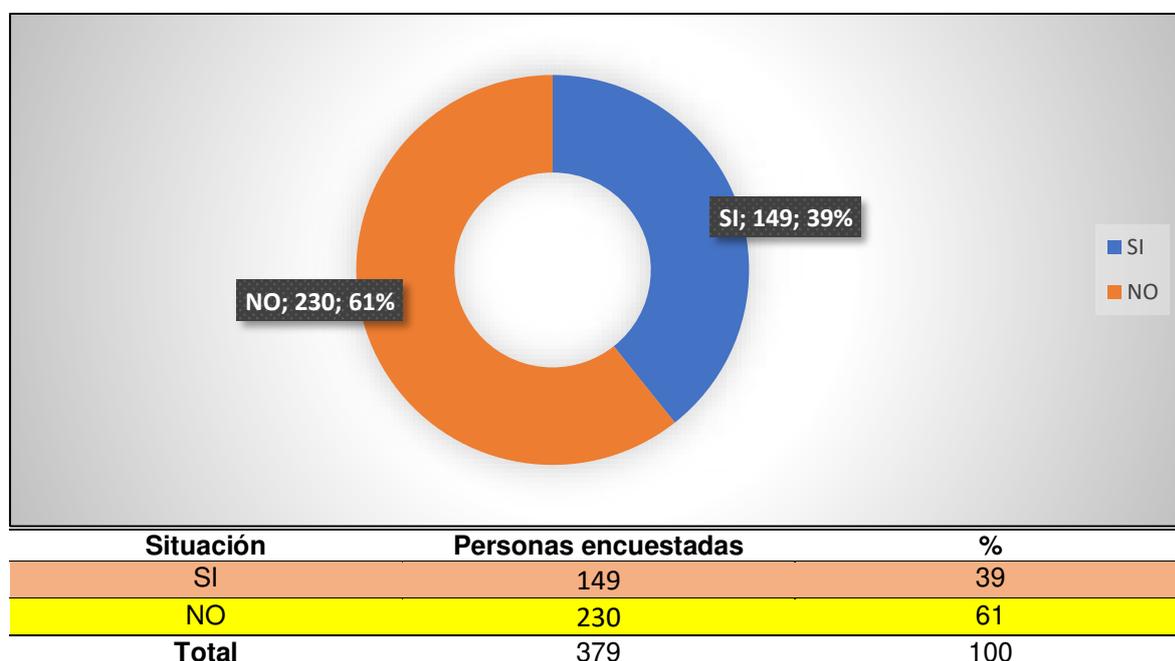


Figura 64. Hogares con recolección por su vereda zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

5. Califique el servicio de recolección de basura

ZONA URBANA

Se muestra que de los hogares encuestados el 50% consideran que el servicio bueno y un 10% ha mostrado completo malestar por el servicio indicando que lo consideran malo.

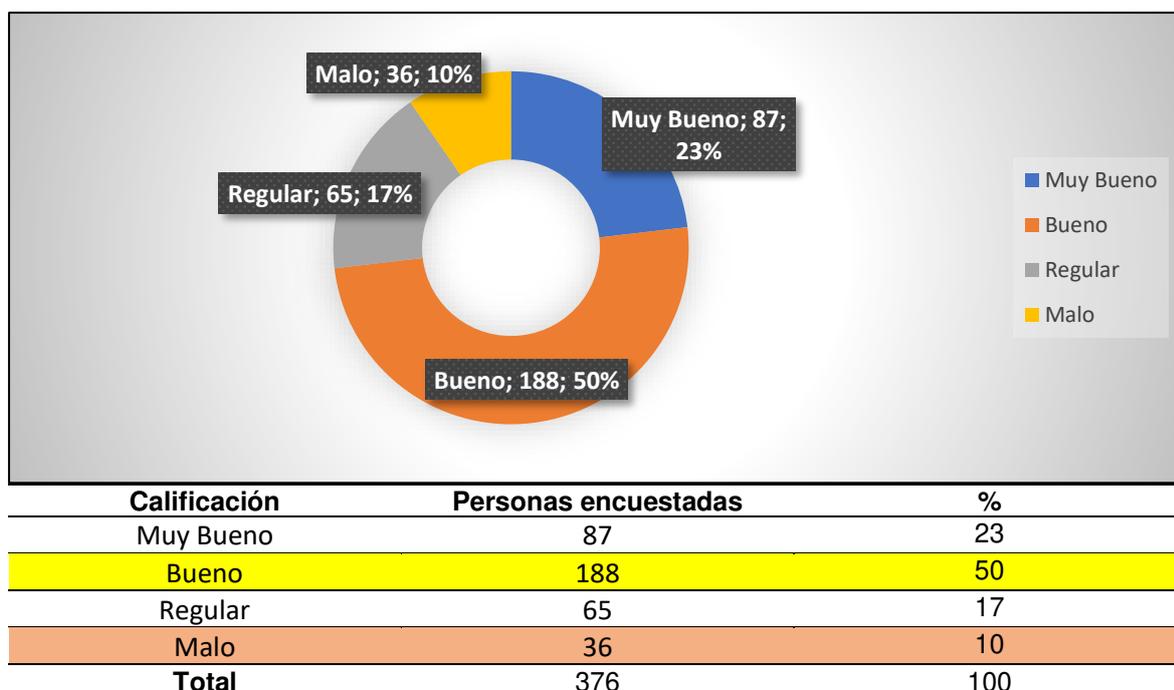


Figura 65. Calificación del servicio de recolección de basura zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL

Los hogares de la zona rural han calificado al servicio como regular un 34% mostrando algún malestar por el servicio.

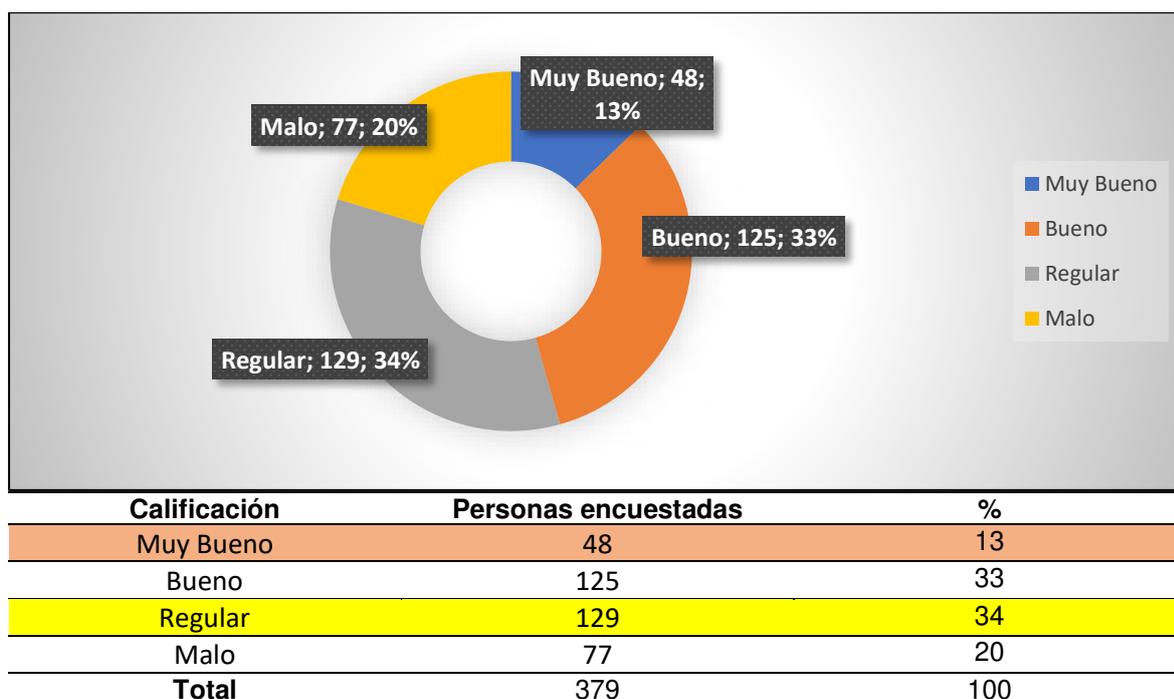


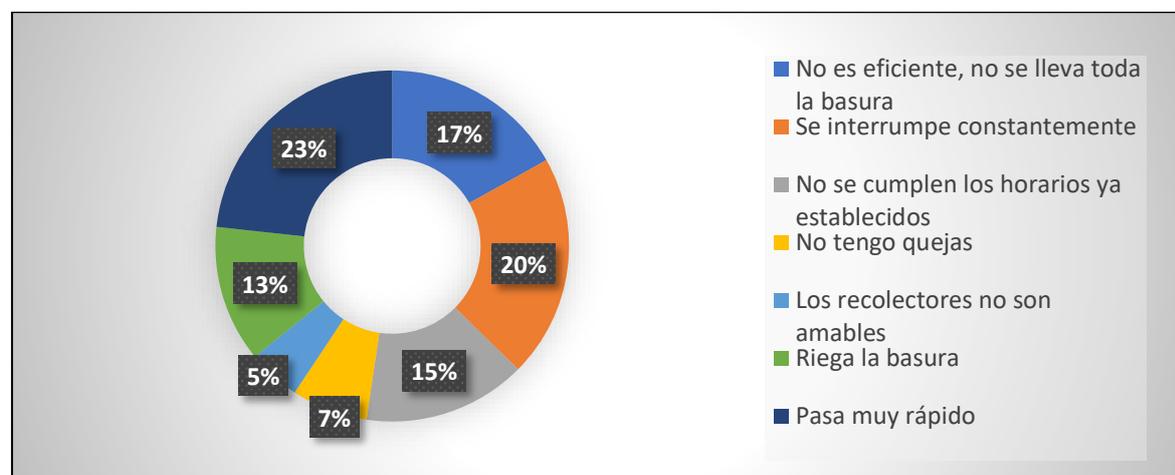
Figura 66. Calificación del servicio de recolección de basura zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

6. Indique el ¿por qué? de su calificación del servicio de recolección de basura

Debido a modificaciones en horarios, daños de los camiones y poco acceso a zonas periféricas los pobladores consideran que existe una ineficiencia en el servicio de recolección.

ZONA URBANA

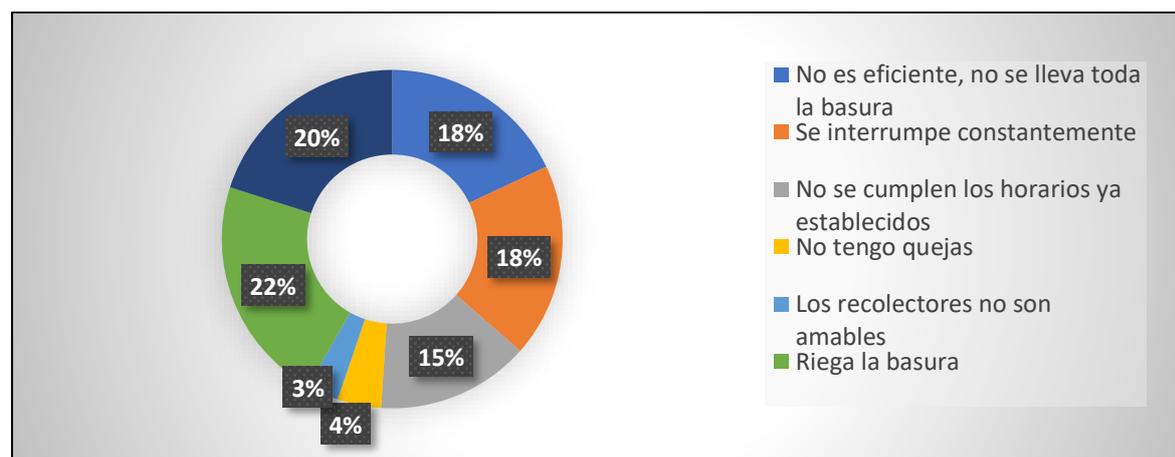


Razón	Personas encuestadas	%
No es eficiente, no se lleva toda la basura	87	17
Se interrumpe constantemente	106	20
No se cumplen los horarios ya establecidos	77	15
No tengo quejas	36	7
Los recolectores no son amables	25	5
Riega la basura	65	13
Pasa muy rápido	120	23

Figura 67. Justificación de calificación del servicio zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL



Razón	Personas encuestadas	%
No es eficiente, no se lleva toda la basura	95	18
Se interrumpe constantemente	98	18
No se cumplen los horarios ya establecidos	77	15
No tengo quejas	22	4
Los recolectores no son amables	16	3
Riega la basura	115	22
Pasa muy rápido	106	20

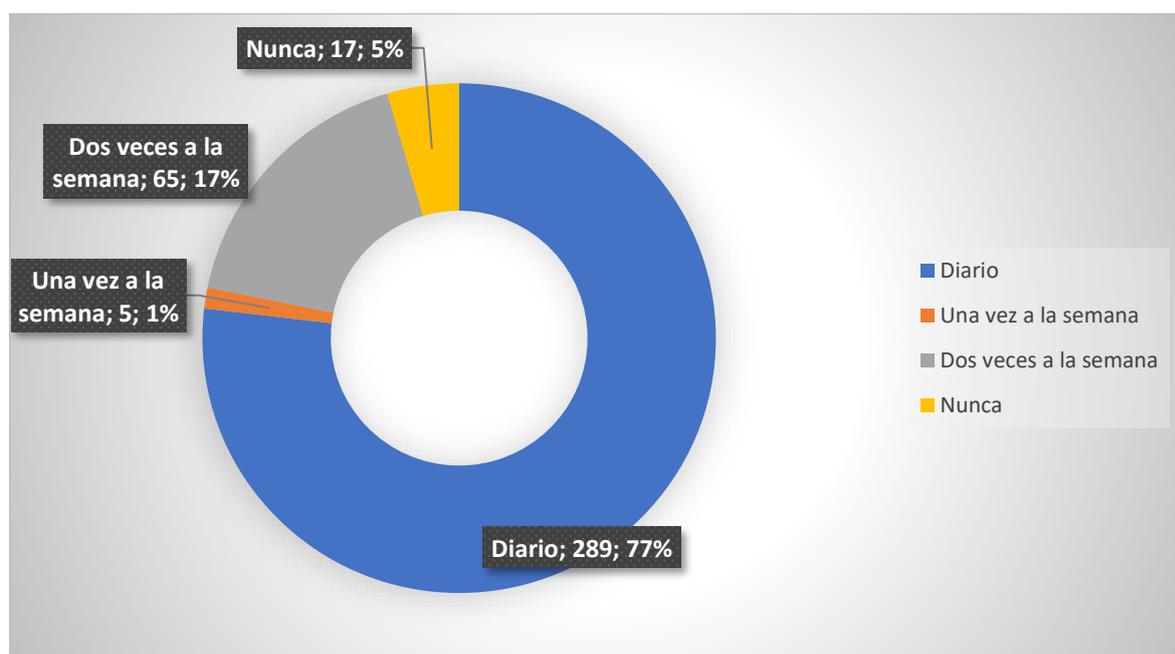
Figura 68. Justificación de calificación del servicio zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

7. Con qué frecuencia se realiza la recolección de basura en su barrio

ZONA URBANA

El 77% afirma recibir una recolección diaria en la zona urbana.



Frecuencia	Personas encuestadas	%
Diario	289	77
Una vez a la semana	5	1
Dos veces a la semana	65	17
Nunca	17	5
Total	376	100

Figura 69. Frecuencia de recolección de basura en su barrio zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL

Los hogares de las zonas rurales un 53% indican recibir el servicio de recolección dos veces a la semana.

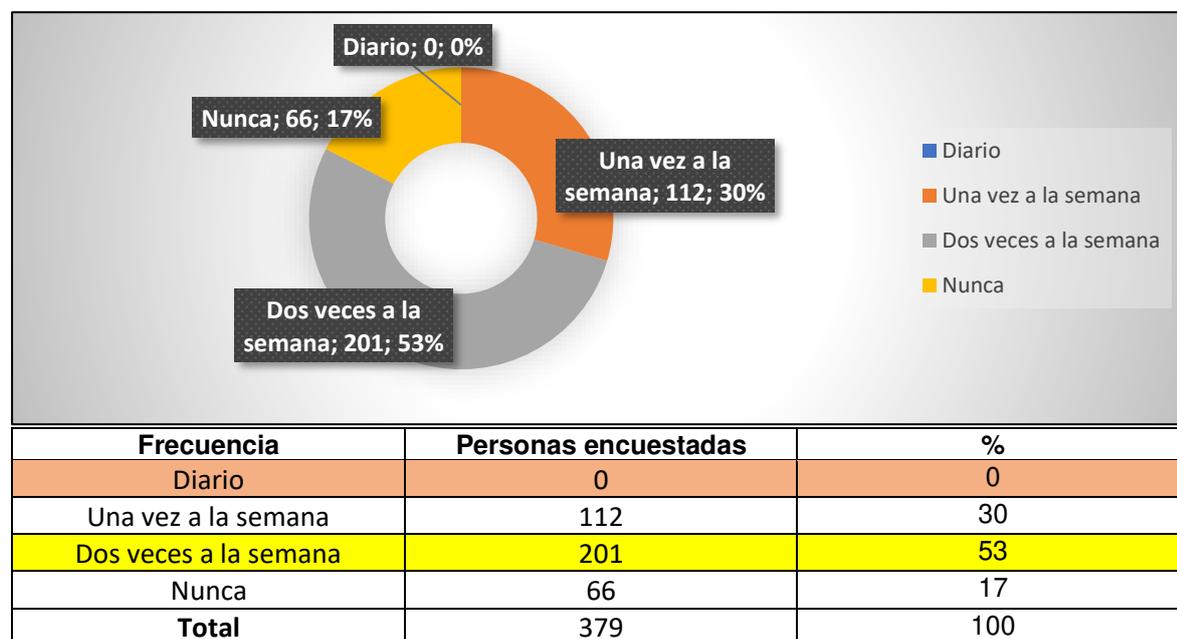


Figura 70. Frecuencia de recolección de basura en su barrio zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

8. ¿Considera que la gestión del sistema de recolección tiene problemas?

ZONA URBANA

El 59% de la población de la zona urbana considera que el sistema de recolección tiene problemas y que podría mejorarlo.

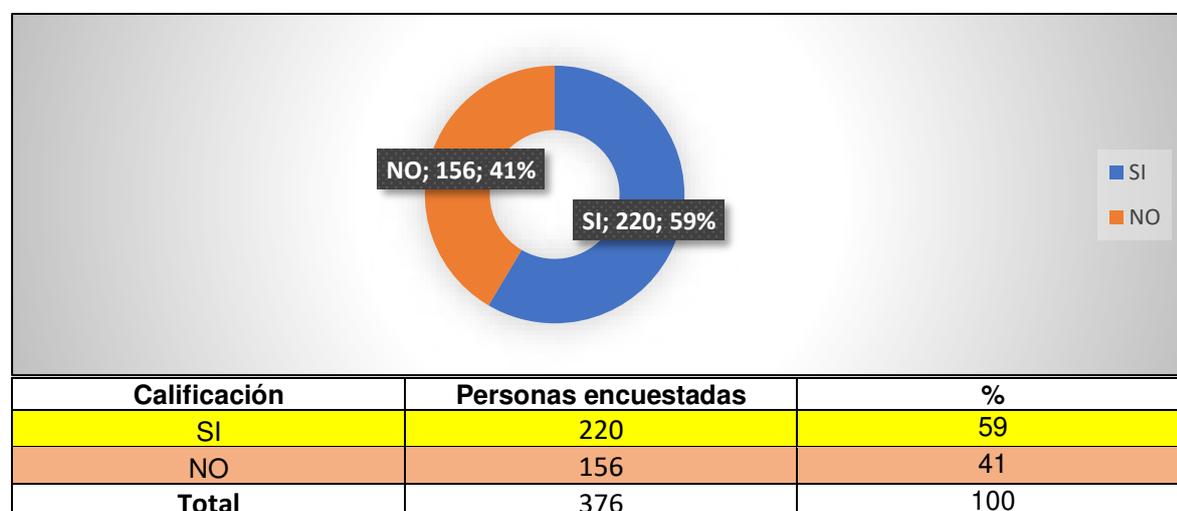


Figura 71. Tiene problemas de la gestión de recolección zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL

El 70% de la población de la zona rural considera que el sistema de recolección tiene problemas y que podría mejorarlo.

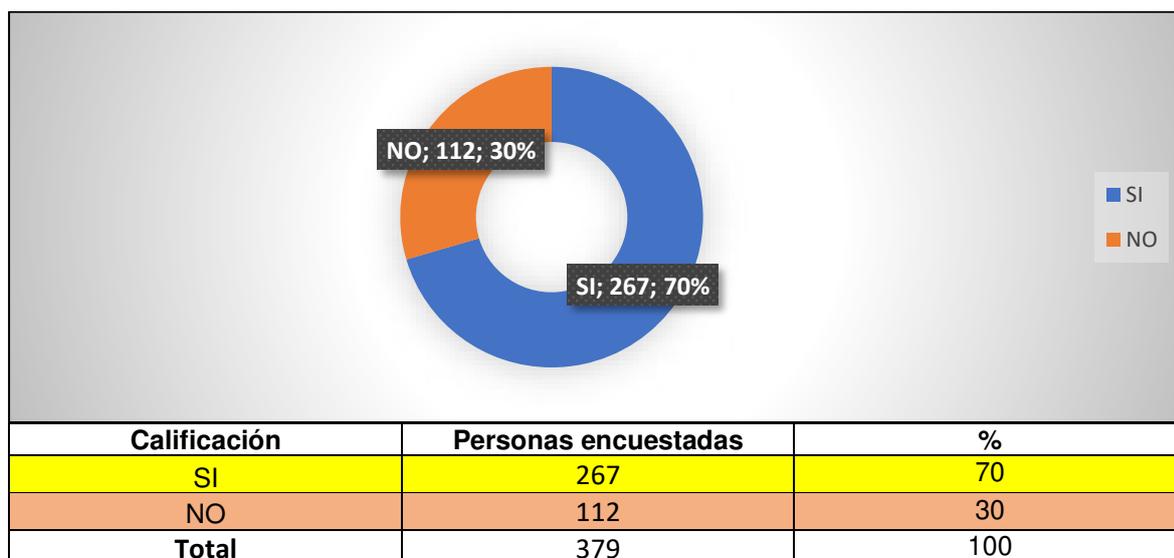


Figura 72. Tiene problemas de la gestión de recolección zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

9. Si contesto afirmativamente la anterior pregunta, ¿por qué considera que la gestión del sistema de recolección tiene problemas?

ZONA URBANA

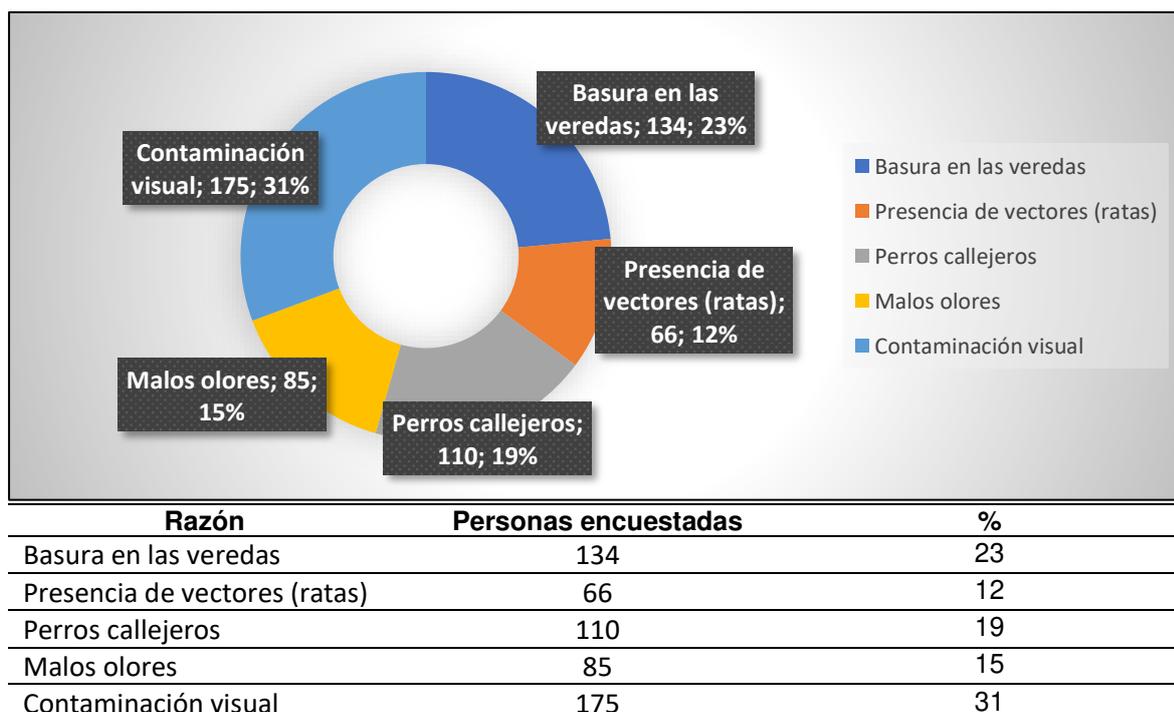
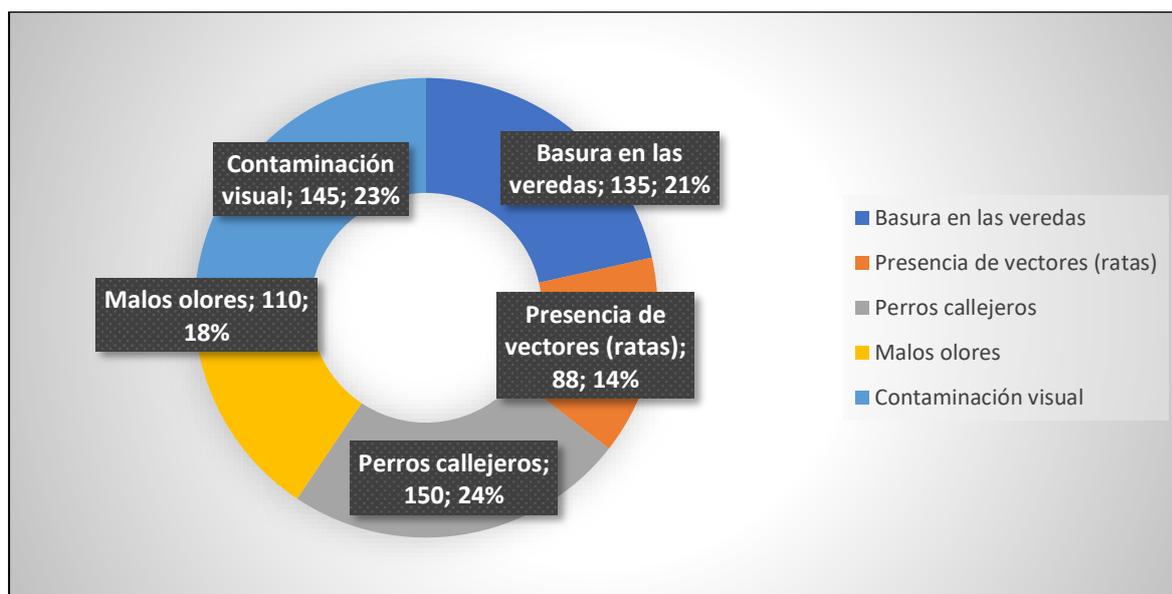


Figura 73. Problemas de la gestión de recolección zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL



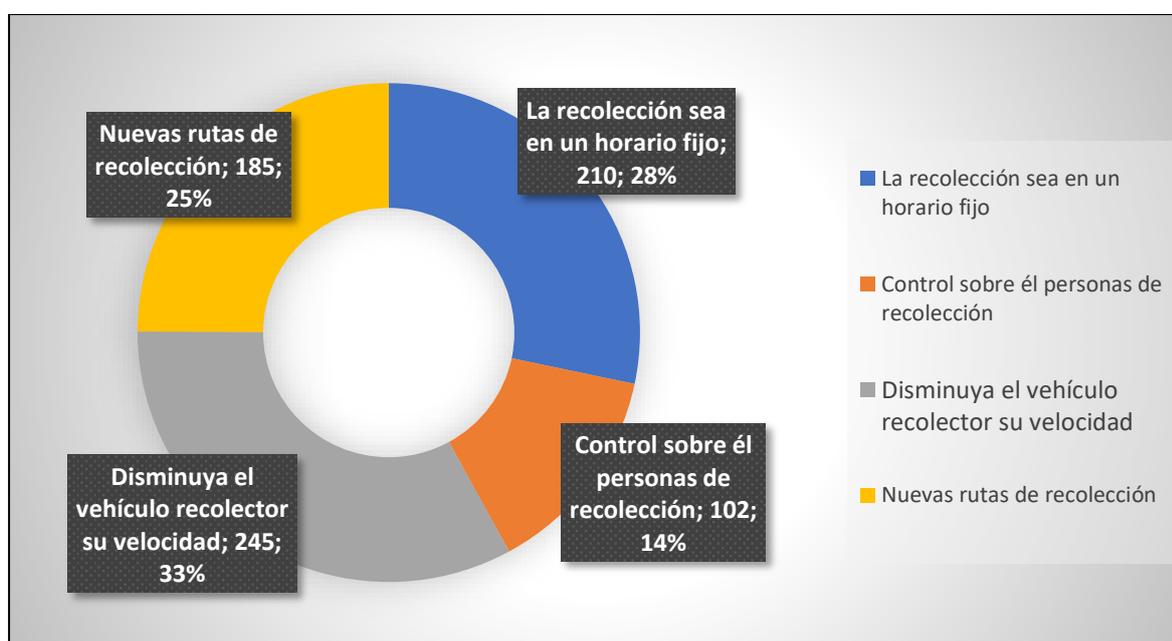
Razón	Personas encuestadas	%
Basura en las veredas	135	21
Presencia de vectores (ratas)	88	14
Perros callejeros	150	24
Malos olores	110	18
Contaminación visual	145	23

Figura 74. Problemas de la gestión de recolección zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

10. ¿En qué aspectos podría mejorarse el servicio?

ZONA URBANA

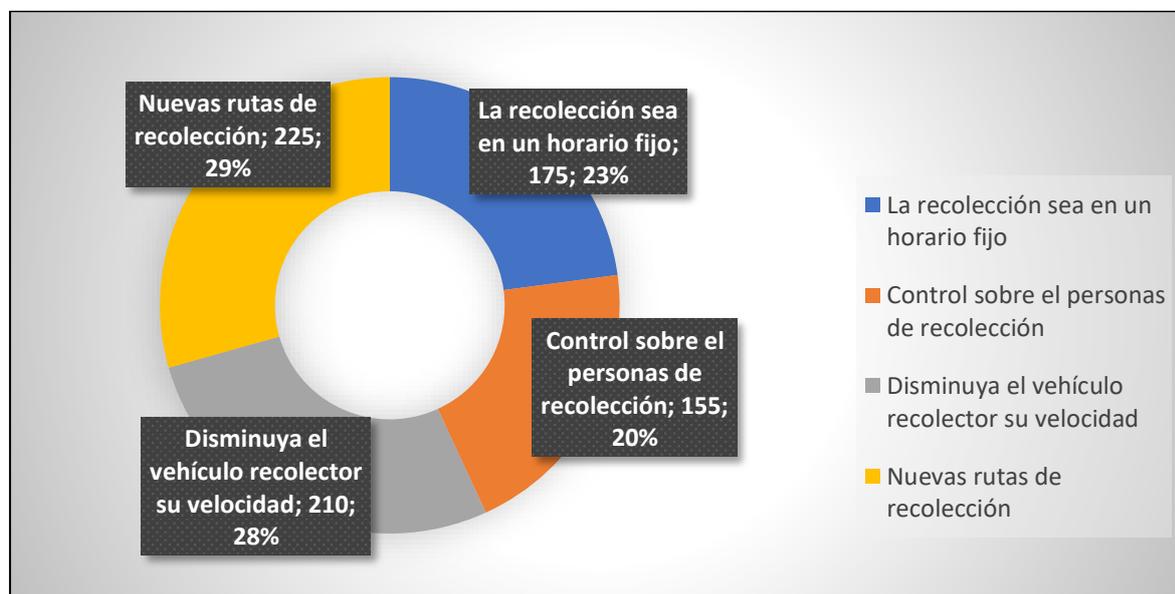


Aspectos	Personas encuestadas	%
La recolección sea en un horario fijo	210	28
Control sobre él personas de recolección	102	14
Disminuya el vehículo recolector su velocidad	245	33
Nuevas rutas de recolección	185	25

Figura 75. Aspectos que podría mejorar el servicio zona urbana

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

ZONA RURAL



Aspectos	Personas encuestadas	%
La recolección sea en un horario fijo	175	23
Control sobre él personas de recolección	155	20
Disminuya el vehículo recolector su velocidad	210	28
Nuevas rutas de recolección	225	29

Figura 76. Aspectos que podría mejorar el servicio zona rural

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

Para enfrentar los problemas sociales es importante la educación ambiental en las instituciones primarias en donde adquieren gran parte de sus conocimientos y por ende son transmitidos a sus padres, además de campañas de concientización en el uso y cuidado de los recursos naturales, como también en el manejo de los mariales desechados después de haber tenido una vida útil.

Es importante que los residuos sólidos de los pobladores de Pedro Moncayo encuentren un nuevo uso, es así como se debe tener planes estratégicos de reciclaje que generen a su vez recursos económicos que podrían ser utilizados en mantenimiento y operaciones para un nuevo modelo de manejo de residuos sólidos.

4.2 PROPUESTA DE REDISEÑO DE RUTAS OPTIMIZADAS

La problemática del cantón en referencia al servicio de recolección de RSM comprende puntos de vista técnicos y de regulación, optimizando el servicio con el objeto de lograr una gestión integral de RSM.

En la Tabla 29 se propone los aspectos que resalta la modernización del servicio de recolección para alcanzar una calidad adecuada.

Tabla 29

Propuesta de mejoras del servicio de recolección

Calidad del servicio	Repercusión en la gestión de residuos
Aumento de la cobertura	Presentación de microbasurales en la zona urbana y rural
Inspección del trabajo de los operarios	Omisión de la jornada laboral, áreas que no poseen servicio de recolección
Velocidad de marcha del camión recolector	Reduce la eficiencia del sistema de recolección, no recolecta los residuos en su totalidad.
Frecuencia de recolección establecida	Amontonamiento de residuos en aceras y calles

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

La falta de recursos y/o la inconsciencia sobre el uso de los RSM en responsabilidad de la Administración de Higiene y Gestión Ambiental de Pedro Moncayo, implica una disminución de calidad del servicio de recolección. Seguido de la falta de control al personal operativo, donde inicia la precariedad del servicio y el aumento de costos en recolección.

Existe mal estar por parte algunos pobladores ya que el sistema de recolección es muy deficiente, debido al mal trabajo desempeñado, asimismo de no seguir un protocolo de ética y valores, por lo tanto, se plantea un nuevo servicio, que mejore el sistema, la calidad y calidez del servicio de recolección empleando como directrices los lineamientos de gestión integral de RSM.

4.2.1 PROPUESTA DE MACRO RUTAS DE RECOLECCIÓN

Orientado en el aumento de operatividad del sistema de recolección abarcando la ejecución de la jornada laboral (8 horas) considerando mejoras en tiempos muertos y de traslado, según los datos tomados en campo. Como también cubrir

en su mayoría las zonas rurales y de difícil acceso colocando en sitios estratégicos contenedores de capacidad de 400 litros con capacidad de carga útil de 160 kg, donde se generan cantidades de residuos y el camión recolector no tiene acceso (Martínez F. , 2018).

4.2.1.1 Capacidad de carga de los camiones recolectores

El GAD Pedro Moncayo actualmente posee 2 vehículos recolectores deteriorados de 15.29 m³, con reducida vida útil, conforme a la marca y el año se ha determinado sus características y su densidad de compactación tomando en cuenta su estado actual, de donde se ha obtenido la capacidad máxima del vehículo recolector siendo de 5.35 ton. Ver tabla 30.

$$CVR = C_v \times \partial r$$

$$CVR = 15.29 \text{ m}^3 \times 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$CVR = 5351 \text{ kg} \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}} = 5.35 \text{ ton}$$

Tabla 30

Capacidad de carga de los vehículos

Marca de Vehículos	Peso específico compactado (kg/m ³)	Factor de compactación (ton/m ³)	Capacidad caja compactadora (m ³)	Capacidad máxima (toneladas)
International	350	0.35	15.29	5.35

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

4.2.1.2 Frecuencia de recolección

La frecuencia para la recolección de residuos en Pedro Moncayo se determinó tomando en cuenta las zonas de recolección siendo sector urbano y rural, debido a que su gestión es diferente, por el tipo de residuos que se generan ya que en la zona urbana debe ser una recolección diferenciada y en la zona rural es una recolección mixta.

En la zona urbana de acuerdo con su generación diaria tomando en cuenta la separación en la fuente que deben realizar los hogares, se determina que la

recolección de residuos orgánico debe darse pasando un día y de la misma manera la recolección de residuos inorgánicos, en los dos camiones en horario nocturno de acuerdo con los días que se labora de lunes a sábado, a excepción del domingo, día en el cual no se labora y se brinda descanso a operarios y vehículos.

En la zona rural al ser una recolección mixta, aunque se ha considerado que la mayoría de sus residuos son inorgánicos se ha estableció una frecuencia de dos días a la semana alternando con los dos vehículos recolectores disponibles en horario matutino, con rutas que recorren hasta dos parroquias de acuerdo con su generación de residuos, optimizando el servicio. (Ver tabla 31).

Tabla 31

Frecuencia de recolección de acuerdo con la zona que corresponde cada parroquia

Zona	Parroquia	Habitantes (2020)	Tipo de recolección	Generación de residuos (ton/día)	PPC kg/(hab*día)	Peso específico compactado (kg/m ³)	Volumen diario (m ³ /día)	Capacidad (m ³)	Frecuencia máxima (días)	Frecuencia Recolección (semanal)
Urbana	Tabacundo urbano	17247	Inorgánico	3.36	0.19	350	9.6	15.29	2	6
			Orgánico	2.52	0.15	350	7.2		2	6
Rural	Tabacundo rural	6478	Mixto	0.86	0.13		2.5		6	2
	Tupigachi	7585	Mixto	2.81	0.37		8.0		2	2
	Malchinguí	5560	Mixto	1.09	0.20	350	3.1		5	2
	Tocachi	2538	Mixto	0.83	0.33		2.4		6	2
	La Esperanza	4945	Mixto	1.62	0.33		4.6		3	2

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

4.2.1.3 Diseño definitivo de macro rutas de recolección

Se presenta en la figura 77 las rutas diseñadas en su totalidad para el cantón Pedro Moncayo.



Figura 77. Micro rutas distribuidas en todo el cantón Pedro Moncayo

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

4.2.2 PROPUESTA DE MICRO RUTAS

Las micro rutas van orientadas a reducir las distancias muertas, optimizar el tiempo y aumentar la cobertura mejorando el servicio de recolección.

La tabla 32 detalla un balance entre la distancia recorrida y tiempo empleado en la recolección de RSM de las rutas actuales, y en la tabla 33 las rutas propuestas.

Tabla 32

Recorrido y tiempo empleado en la recolección actual

Ruta Actual		Distancia recorrida (km/día)	Frecuencia de Recolección (días/semana)	de	Distancia recorrida (km/semana)	Distancia muerta (km/día)	Tiempo Total (horas: min)
Tabacundo	R1	44.2	6		265.2	31.0	5:10
	R2	51.6	6		309.5	30.6	5:20
	R3	54.3	6		325.5	30.2	5:25

Tupigachi	R4	54.3	2	108.7	34.0	8:30
	R5	55.6	2	111.2	33.5	8:40
Malchinguí	R6	63.8	2	116.9	38.2	8:58
	R7	64.8	2	121.3	39.4	9:09
La Esperanza	R8	53.8	2	107.5	31.8	8:25
Tocachi	R9	54.8	2	109.6	32.7	8:35
Tocachi	R10	58.4	2	127.6	33.8	8:40
	R11	60.6	2	129.6	35.7	8:50
TOTAL		606.2		1832.6	370.9	85:52:00

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 33

Recorrido y tiempo empleado en la recolección propuesta

ZONA URBANA						
Ruta de diseño		Distancia Recorrida (km)	Frecuencia de Recolección (días/semana)	Distancia recorrida (km/semana)	Distancia muerta (km/día)	Tiempo Total
Tabacundo Urbano alto	RU1	37	6	222	32.6	7:22
Tabacundo Urbano bajo	RU2	36.4	6,	218.5	32.1	7:19
TOTAL		73.4		440.5	64.7	14:21
ZONA RURAL						
Ruta de diseño		Distancia Recorrida (km)	Frecuencia de Recolección (días/semana)	Distancia recorrida (km/semana)	Distancia muerta (km/día)	Tiempo Total
La Esperanza - Tabacundo Rural	RR1	45.3	2	90.6	31.5	7:35
Tocachi Malchingui alto	RR2	63.3	1	63.3	44.1	7:55
Tocachi Malchingui bajo	RR3	62.3	1	62.3	43	7:52
Malchingui	RR4	79.5	1	79.5	52.1	8:28

Tabacundo rural bajo y La Y	RR5	73.3	2	146.6	33.8	8:20
Tupigachi bajo	RR7	54.7	1	54.7	37.3	7:43
Tabacundo rural norte-Tupigachi rural	RR6	63.2	2	126.4	44.2	7:54
TOTAL		441.6		623.4	286	55:47:00
TOTAL RU+RR		515		1063.9	350.7	70:28:00

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Los camiones recolectores en la zona urbana de Pedro Moncayo tienen un trayecto total de 73.40 km/día comprendiendo dos rutas, en cambio, en la zona rural de este cantón los vehículos recolectores recorren 441.60 km/día abarcando siete rutas. Por tanto, la distancia recorrida que se ha propuesto mediante el diseño de las nuevas rutas es de 515 km/día. Obteniendo un gran beneficio con la implementación de este novedoso sistema de recolección que acorta la distancia recorrida diariamente al 15%, conjuntamente se disminuirá la distancia muerta de 370.90 km a 350.70 km representando un 5.40%. También se logró reducir la distancia recorrida por semana del modelo actual al propuesto de 1832,6 km a 1063,9 km; detallando un 42% incluyendo el tiempo total de recolección de los RSM en este cantón, disminuyendo en 15 horas y 24 minutos. Logrando una cobertura total del servicio de recolección en la zona urbana y zona rural.

Referente a la jornada laboral, con nuestra propuesta se formula un promedio de 97.90 % del cumplimiento total de 8 horas utilizables en cada ruta, incrementando así el manejo de la jornada laboral en 0.40% en referencia con la jornada actual que realizan los operarios.

La disminución de la distancia recorrida por un camión recolector origina en la reducción del volumen de combustible empleado mensualmente y esto a su vez conlleva a una baja de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. En base a la guía práctica de emisiones de gas de efecto invernadero (2001), el consumo de un litro de diésel genera en promedio 2.61 kg de CO₂.

De acuerdo con los datos obtenidos, la productividad de diésel por el camión recolector es de alrededor 2.70 km/galón. En la tabla 34 se detalla la cantidad de

CO₂ que produce el actual sistema de recolección seguido por el nuevo modelo antes mencionado.

Tabla 34

CO₂ generado por consumo de diésel de los camiones recolectores

Ruta Actual	Distancia recorrida (km/semana)	Distancia recorrida (km/mes)	Galones de diésel/mes	Tonelada de CO₂/mes
R1	265.20	1,060.80	392.90	3.88
R2	309.50	1,238.00	458.50	4.53
R3	325.50	1,302.00	482.20	4.76
R4	108.70	434.80	161.00	1.59
R5	111.20	444.80	164.70	1.63
R6	116.90	467.60	173.20	1.71
R7	121.30	485.20	179.70	1.78
R8	107.50	430.00	159.30	1.57
R9	109.60	438.40	162.40	1.60
R10	127.60	510.40	189.00	1.87
R11	129.60	518.40	192.00	1.90
TOTAL	1,832.60	7,330.40	2,715.0	26.82

Ruta Propuesta	Distancia recorrida (km/semana)	Distancia recorrida (km/mes)	Galones de diésel/mes	Tonelada de CO₂/mes
RU1	222.00	888.00	328.90	3.25
RU2	218.50	874.00	323.70	3.20
RR1	90.60	362.40	134.20	1.33
RR2	63.30	253.20	93.80	0.93
RR3	62.20	249.00	92.20	0.91
RR4	79.50	318.10	117.80	1.16
RR5	146.60	586.60	217.20	2.15
RR6	54.70	218.80	81.00	0.80
RR7	126.40	505.60	187.30	1.85
TOTAL	1,063.90	4,255.50	1,741.2	15.6

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

La incorporación de un nuevo sistema de rutas de recolección originará una disminución mensual del 41.8% en la emisión de gases tóxicos al medio ambiente

generados por combustión como el diésel en los camiones de recogimiento. En un año producirían 134.6 toneladas de CO₂ menos que las producidas por los vehículos en el modelo vigente de rutas.

Micro Ruta RU1

La ruta es realizada por el vehículo de marca Internacional, la recolección de residuos empieza a las 16:00 desde la salida del garaje en la calle Plaza Gutiérrez y Mantilla y finaliza en la calle Quito y la vía Tabacundo - Guayllabamba. En la figura 78 y tabla 35, se detalla el diseño propuesto para la ruta en cuestión.

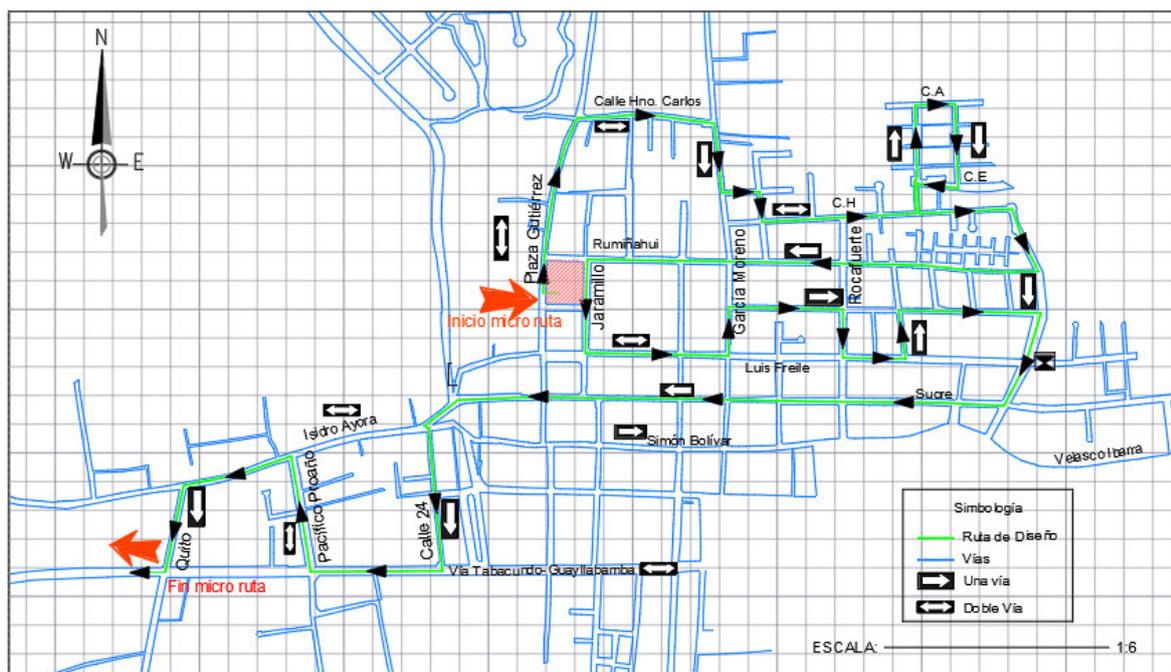


Figura 78. Diseño de micro ruta RU1-Tabacundo Urbano

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 35

Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RU1

Inicia		16:00					Distanci	Distancia
Finaliza		23:22					a entre	entre
Micr	Kilómetro	Tiempo de	Tiemp	Tiempo	Tiempo	Tiempo	garaje-	final de la
Ruta	recorridos	recolecció	o	hacia el	total	Relleno	inicio de	ruta-
		n	muerto	relleno		-Garaje	la ruta	relleno
							(km)	(km)
RU1	37	6 horas 51	31 min	20 min	7 horas	37 min	0.09	14.86
		min			22 min			
Porcentaje (%)		93.1	7	4.8	92.1	8.4		

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

El camión recorre un total de 888 km al mes, en esta trayectoria va a la rapidez media de 5 a 8 km/h, siendo la ruta que corresponde en distancia de traslado 14.9 km, los cuales no deben ser superiores a los 50 km/h.

Micro Ruta RU2

La ruta es realizada por el vehículo de marca International, la recolección de residuos comienza a las 16:00 desde la salida del garaje en la calle Plaza Gutiérrez y Mantilla, finalizando en la calle Quito y la vía Tabacundo-Guayllabamba. El camión recorre un total de 874 km cada mes en esta trayectoria a velocidad aproximada de 4 a 8 km/h. De la figura 79 y tabla 36, se detalla el diseño propuesto para la ruta en cuestión.

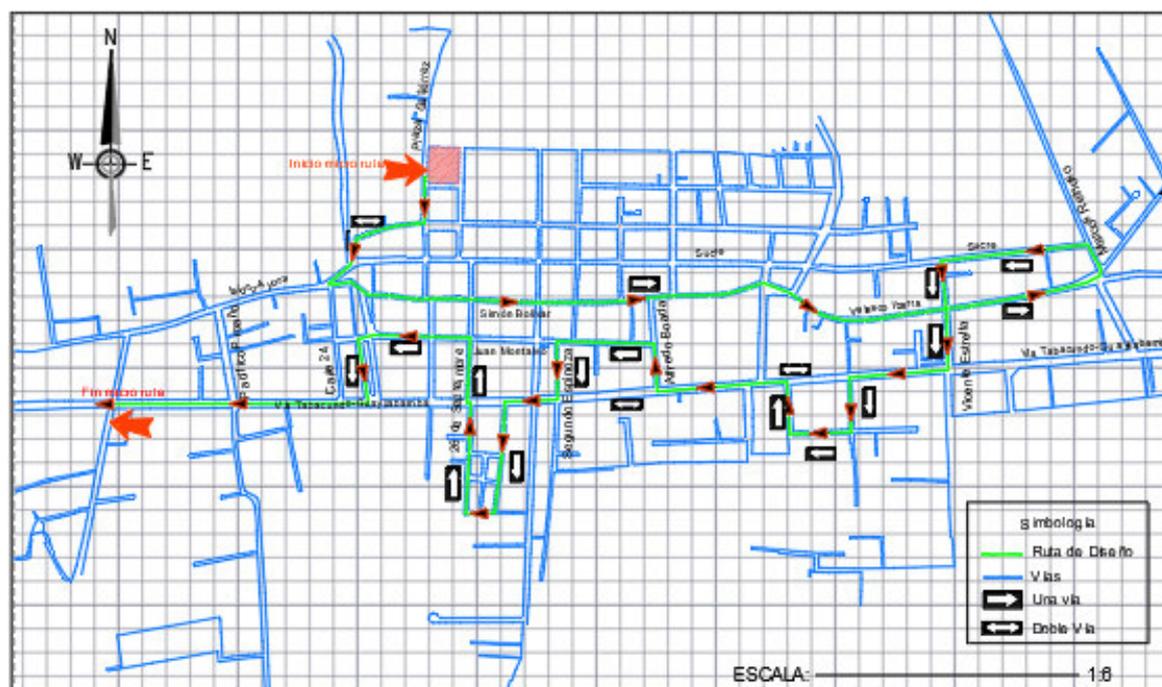


Figura 79. Diseño de micro ruta RU2-Tabacundo Urbano

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 36

Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RU2

Inicia	16: 00					Distanci	Distancia
Finaliza	23:09					a entre	entre
Micr	Kilómetro	Tiempo de	Tiemp	Tiempo	Tiempo	garaje-	final de la
Ruta	recorridos	recolectió	o muerto	hacia el	total	inico de	ruta-
		n		relleno		la ruta	relleno
					-Garaje	(km)	(km)
R21	36.4	6 horas 23 min	56 min	20 min	7 horas 37 min	0.03	14.86
Porcentaje (%)		87.2	12.7	5.1	91.4	8.4	

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

La ruta que ejecuta el vehículo recolector tiene una longitud de 36.4 km, en lo que se considera el tiempo de recolección incluyendo tiempos muertos de 7 horas con 19 minutos en donde 87.2% son destinados en las actividades laborales. El traslado en distancia es alrededor de 14.9 kilómetros a una rapidez media de 40 km/h.

Las rutas de diseño RU1 y RU2 abarcan el total de la zona correspondiente a la zona urbana de Pedro Moncayo, es decir, su cabecera cantonal Tabacundo. En cada uno de los viajes realizados por los camiones recolectores se sobrepasa el 90% de su capacidad, obteniendo un excelente desempeño del sistema propuesto. Las rutas que se presentan a continuación son planteadas para las zonas rurales de Pedro Moncayo incluyendo áreas periféricas de Tabacundo, realizando estas trayectorias en horario matutino.

Micro Ruta RR1

La ruta es realizada por el vehículo de marca International, la recolección de residuos comienza a las 8:00 desde la salida del garaje en la calle Plaza Gutiérrez y Mantilla, finalizando en la calle Simón Bolívar y la vía Tabacundo-Guayllabamba en la parroquia La Esperanza.

El camión recorre un total de 362.4km cada mes en esta trayectoria a velocidad promedio de 8km/h, a consecuencia del pésimo estado de las vías, además de las zonas de difícil acceso, utilizándose una combinación del sistema de vereda y parada fija en la ejecución del proceso de recolección de desechos. La figura 80 y tabla 37, se detalla el diseño propuesto para la ruta en cuestión.

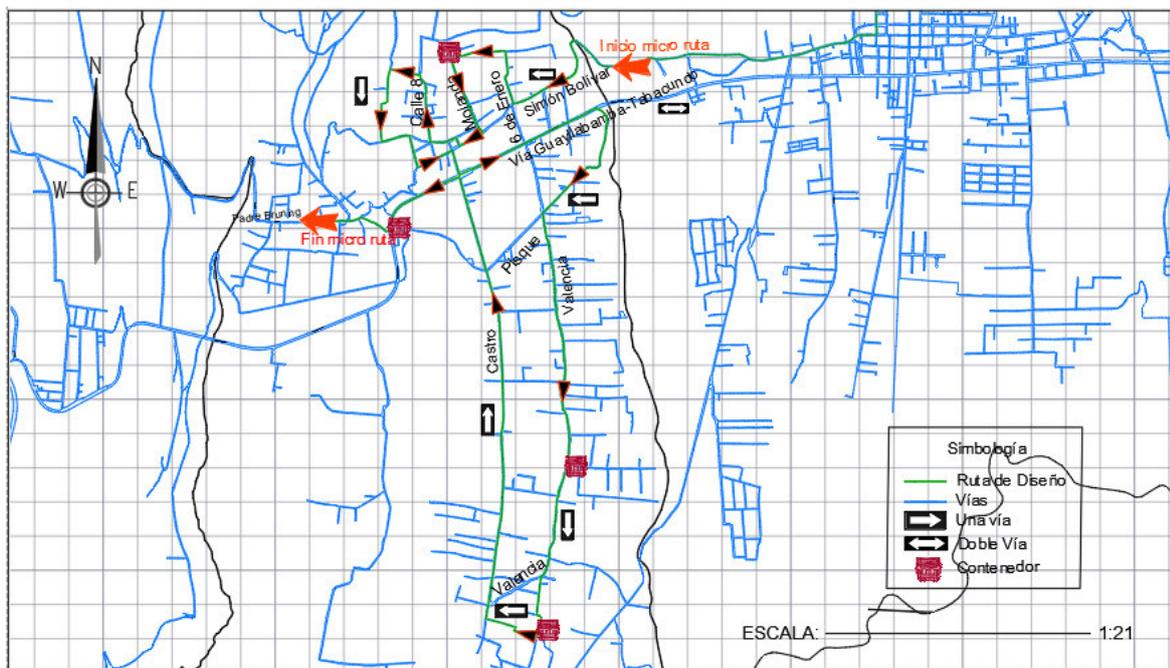


Figura 80. Diseño de micro ruta RR1-La Esperanza

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 37

Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR1

Inicia	8: 00						Distanci	Distanci
Finaliza	15:25						a garaje	a final
Micr	Kilómetro	Tiempo de	Tiemp	Tiemp	Tiemp	Tiempo	al inicio	de la
Ruta	recorrido	recolecció	o	o	o total	Rellen	de	ruta
s	s	n	muert	hacia		o-	ruta	relleno
Rutas			o	el		Garaje	(km)	(km)
			o	relleno				
RR1	45.3	6 horas 58 min	27 min	17 min	7 horas 25 min	37min	1.06	12.86
Porcentaje (%)	93.9	6.1	4.1	92.7	8.3			

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

La distancia de traslado es 13.9 km que corresponde al trayecto que avanza el camión recolector del garaje al comienzo de la ruta y del fin de la ruta al relleno sanitario.

Micro Ruta RR2

La ruta es ejecutada por el vehículo de marca Internacional, la recolección de residuos comienza a las 8:18 desde la calle Simón Bolívar en Tocachi, finalizando en la calle Amazonas en Malchinguí. Esta ruta recolecta residuos de dos parroquias. El camión recorre un total de 253.2 km cada mes en esta trayectoria a una rapidez media de acenso de 8 km/h. Las figuras 81 - 82 y tabla 38 se detalla el diseño propuesto para la ruta en cuestión.

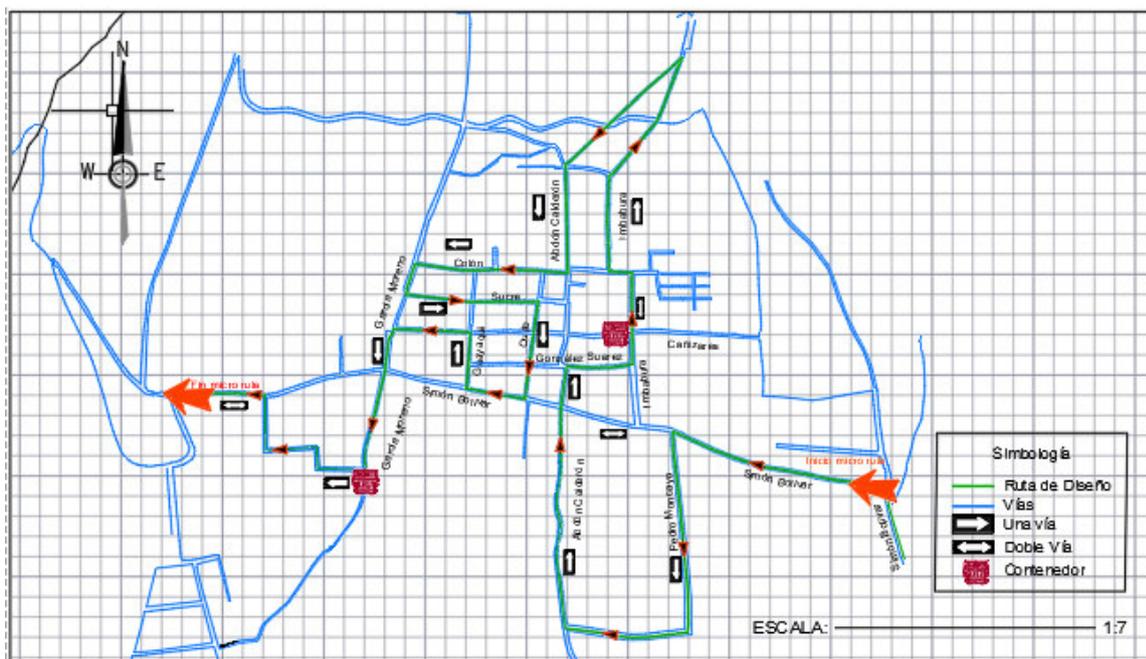


Figura 81. Diseño de micro ruta RR2-Tocachi

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

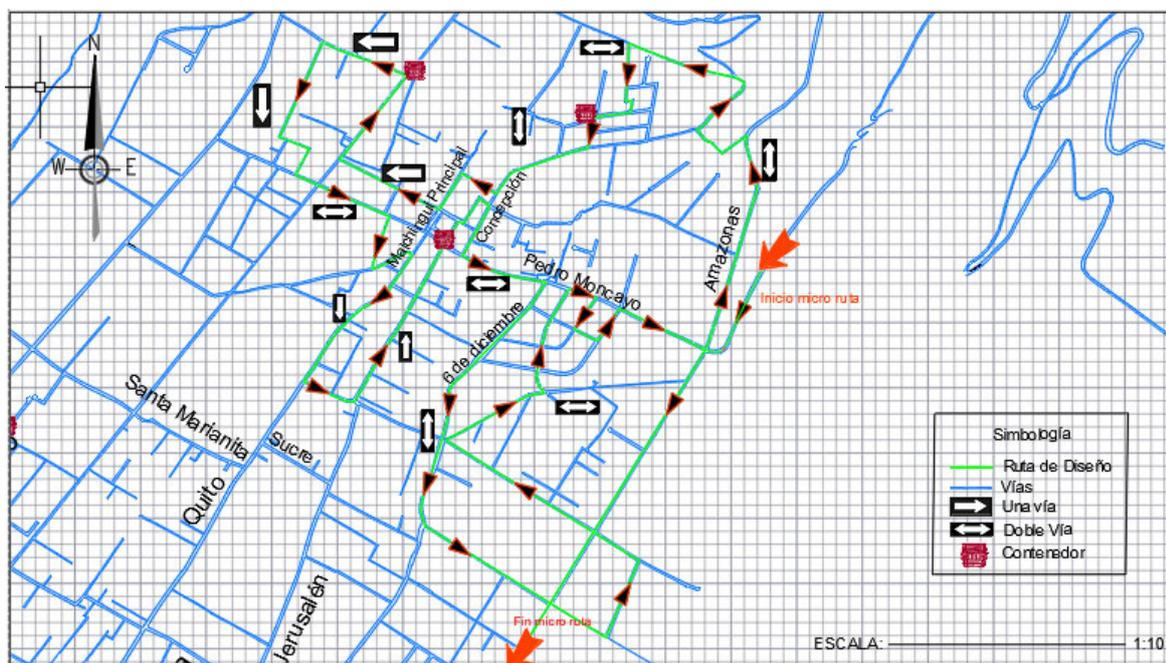


Figura 82. Diseño de micro ruta RR2 - Malchingui Alto

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 38

Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR2

Inicia		8: 00					Distanci a entre garaje- inicio de la ruta (km)	Distancia entre ruta- relleno (km)
Finaliza		15:45						
Micr o Ruta	Kilómetro s recorridos	Tiempo de recolecti ón	Tiemp o muerto	Tiempo hacia el relleno	Tiempo total	Tiempo Relleno -Garaje		
RR2	63.3	7 horas 2 min	53 min	27 min	7 horas 55 min	37 min	9.9	8.87
Porcentaje (%)		88.8	11.1	6.4	98.9	7.8		

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

El trayecto del camión recolector presenta una longitud de 63.3 km, reflejando un tiempo de recolección incluyendo los tiempos muertos de 7 horas con 55 minutos, empleando netamente el 88.8% en el proceso de recolección. 18.8 kilómetros es aproximadamente la distancia de traslado, la que se debe realizar a una velocidad cociente de 40 km/h.

Micro Ruta RR3

La ruta es desarrollada por el vehículo recolector, la recolección de residuos comienza a las 8:17 desde la calle Simón Bolívar en Tocachi, finalizando en la calle Las Minas en Malchinguí. Esta ruta recolecta residuos de dos parroquias. El camión recorre un total de 249.2 km cada mes en esta trayectoria a una celeridad promedio de acenso de 8 km/h. Las figuras 83 – 84 y tabla 39, se detalla el diseño propuesto para la ruta RR3 en cuestión.

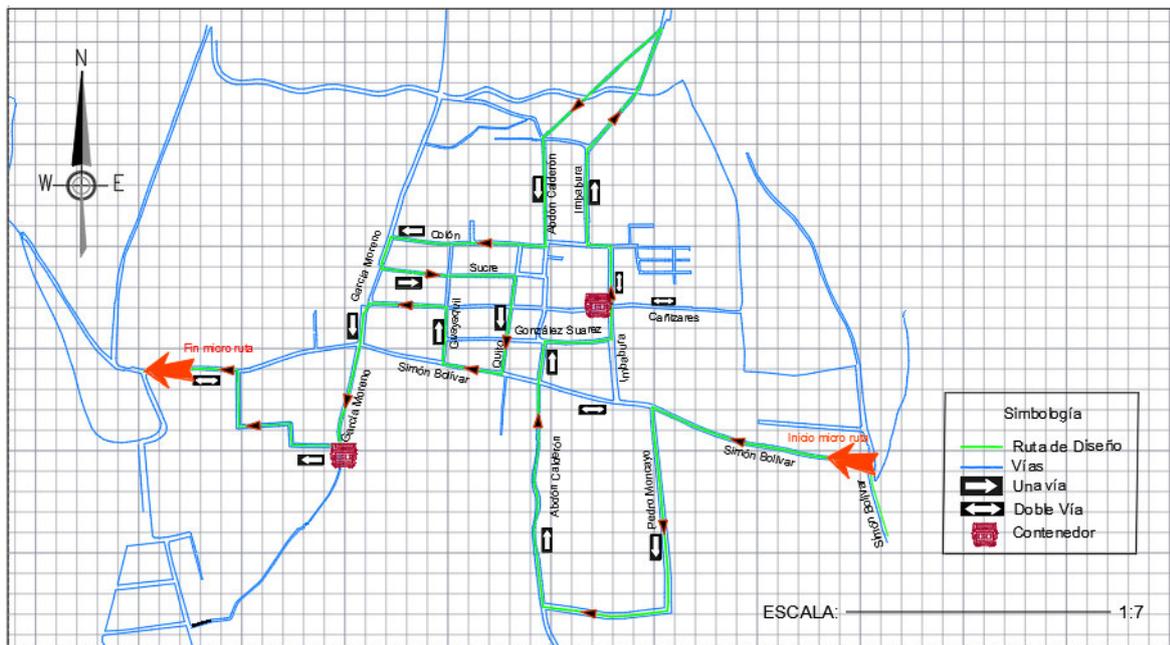


Figura 83. Diseño de micro ruta RR3 - Tocachi

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

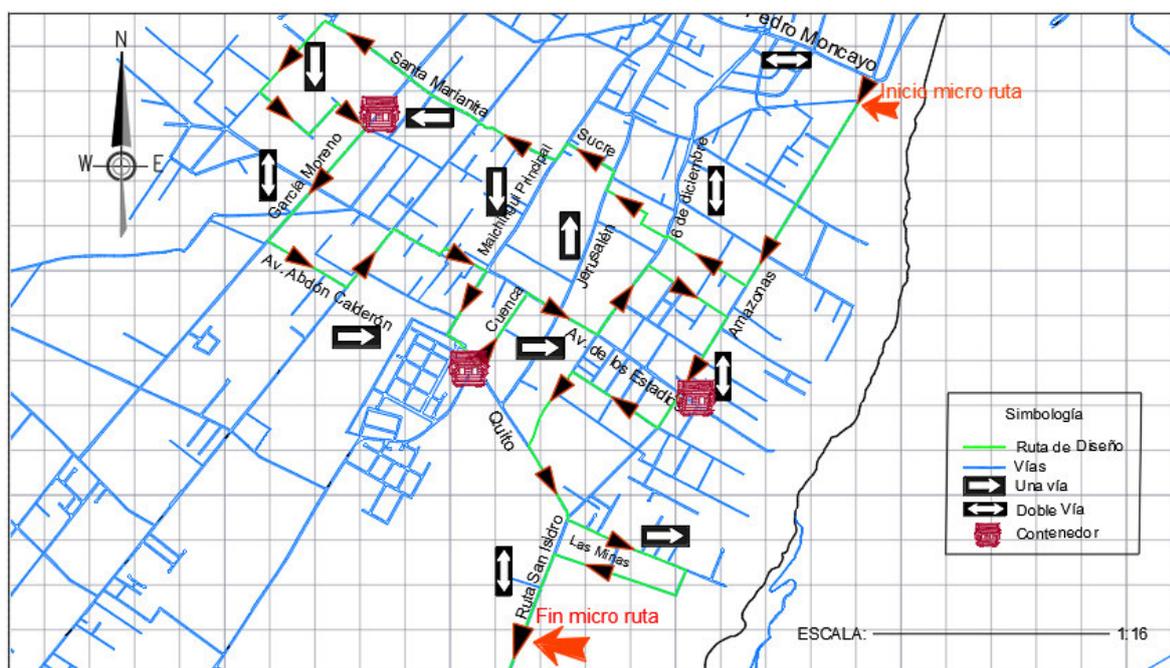


Figura 84. Diseño de micro ruta RR3 – Malchinguí Bajo

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 39

Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR3

Inicia		8: 00					Distanci a entre garaje- inicio de la ruta (km)	Distancia entre final de la ruta- relleno (km)
Finaliza		15:52						
Micr o Ruta	Kilómetro s recorridos	Tiempo de recolecció n	Tiemp o muerto	Tiempo hacia el relleno	Tiempo total	Tiempo Relleno -Garaje		
RR3	62.25	6 horas 54 min	58 min	25 min	7 horas 52 min	37 min	9.9	7.8
Porcentaje (%)		87.8	12.3	5.9	98.3	7.8		

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

El recorrido del camión recolector consta con una longitud de 62.25 km, por consiguiente, se considera tiempos muertos de 7 horas y 52 minutos, siendo el 87.8% empleado únicamente en el transcurso para la recolección de residuos. La distancia de traslado es aproximadamente 17.7 kilómetros, debiéndose ejecutar a una rapidez no superior a 50 km/h. Al finalizar su jornada 15:55 máximo, el camión debe llegar al garaje en 37 minutos.

Micro Ruta RR4

La ruta es realizada por el vehículo de marca Internacional, la recolección de residuos comienza a las 8:50 desde las calles Pedro Moncayo y Amazonas, finalizando en la calle Las Minas y Ruta San Isidro en la parroquia de Malchinguí. Esta ruta recolecta residuos únicamente de esta zona. El camión recorre un total de 318 km cada mes en esta trayectoria mitad de adelanto de 5 a 8 km/h. La figura 85 y tabla 40, se detalla el diseño propuesto para la ruta RR4 en detalle.

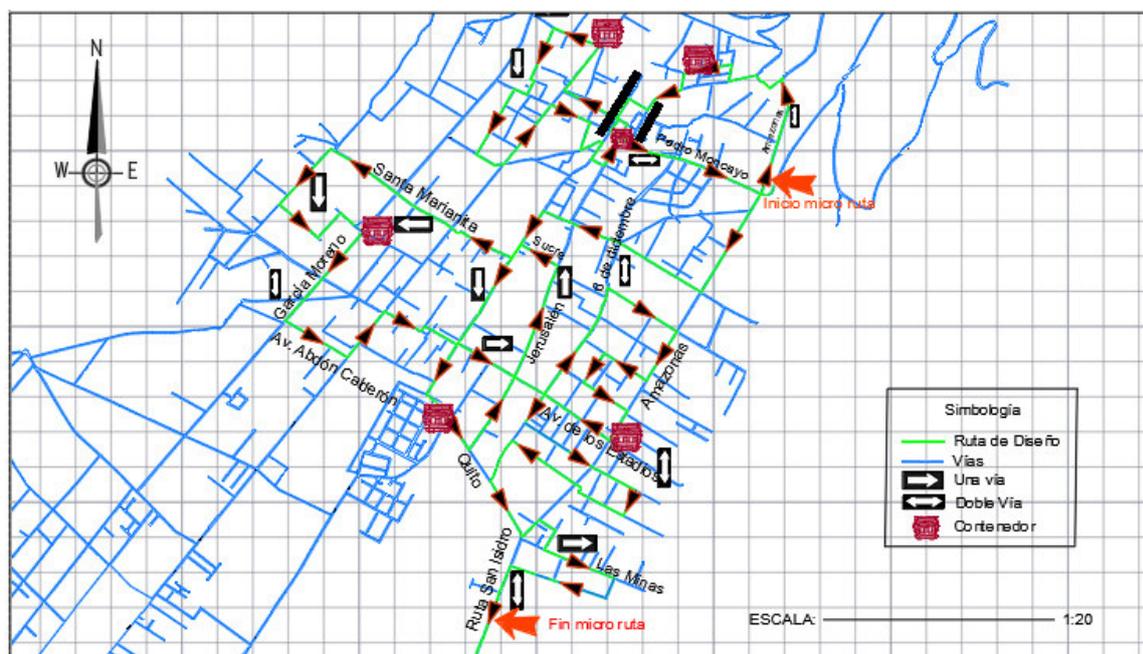


Figura 85. Diseño de micro ruta RR4 - Malchinguí

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 40

Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR4

Inicia	8:00						Distanci	Distancia
Finaliza	16:28						a entre	entre
Micr	Kilómetro	Tiempo de	Tiemp	Tiempo	Tiempo	Tiempo	garaje-	final de la
Ruta	recorridos	recolectió	o	hacia el	total	Relleno	inico de	ruta-
		n	muerto	relleno		-Garaje	la ruta	relleno
							(km)	(km)
RR4	79.5	7 horas 28	56 min	25 min	8 horas	37 min	28.2	7.8
		min			28 min			
Porcentaje (%)		88.1	11	5.6	105.9	7.3		

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

El recorrido del camión recolector consta con una longitud de 79.5 km, por consiguiente, se considera tiempos muertos de 8 horas y 28 minutos correspondiendo a un exceso del 5.9% de una jornada laboral. La distancia de traslado es aproximadamente 36 km debiéndose ejecutar a una rapidez promedio a 40 km/h. Siendo esta distancia la más larga en referencia con las otras micro rutas por la lejanía del garaje al inicio de la micro ruta.

Micro Ruta RR5

La ruta es realizada por el vehículo de marca International, la recolección de residuos comienza a las 8:07 desde la calle Marcos Reinoso y la vía Tabacundo-Guayllabamba, finalizando en la calle Quito y la vía Tabacundo-Guayllabamba. Esta ruta recolecta residuos de la zona periférica baja de Tabacundo y la Y, por lo cual el camión recorre un total de 586.4 km cada mes. En la figura 86 y tabla 41, se detalla el diseño propuesto para la ruta RR5 en cuestión.

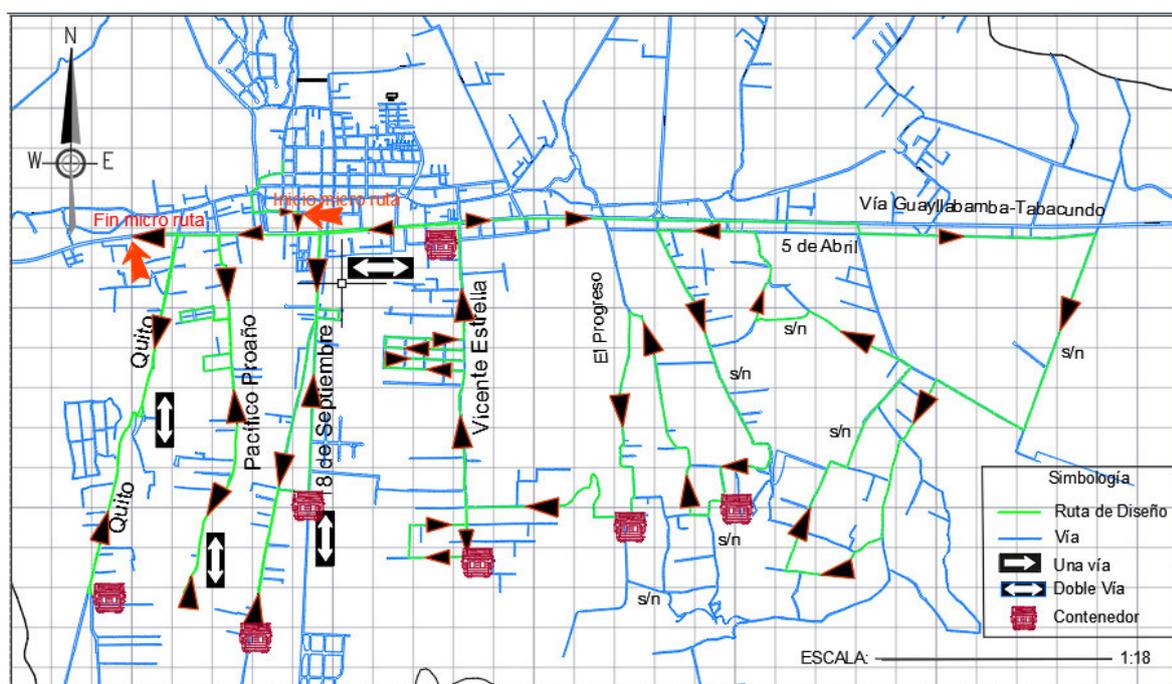


Figura 86. Diseño de micro ruta RR5 - Tabacundo Rural y la Y

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 41

Detalla los tiempos utilizados para cubrir la zona RR5

Inicia	8:00						Distanci	Distancia
Finaliza	16:20						a entre	entre
Micr	Kilómetro	Tiempo de	Tiemp	Tiempo	Tiempo	Tiempo	garaje-	final de la
Ruta	recorridos	recolectió	o	hacia el	total	Relleno	inicio de	ruta-
		n	muerto	relleno		-Garaje	la ruta	relleno
							(km)	(km)
RR5	73.3	7 horas 30 min	50 min	20 min	8 horas 37 min	20 min	2.83	14.86
Porcentaje (%)		90	10	4.4	104.2	7.4		

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

El avance promedio de recolección en esta zona es 6 km/h, ya que presentan vías a las que no se puede acceder fácilmente, además de encontrarse en pésimo estado, para lo cual se plantea utilizar la combinación entre el método de vereda y parada fija facilitando la recolección de residuos. El traslado es de 17.7 km siendo la distancia del garaje a la ruta y de esta al relleno sanitario.

Micro Ruta RR6

La ruta es realizada por el vehículo de marca International, la recolección de residuos empieza a las 8:20 desde la vía Cajas-Tabacundo y la Calle Augusto Rivadeneira, finalizando en la calle 5 de abril y la vía Tabacundo-Guayllabamba. Esta ruta recolecta residuos de la zona céntrica de Tupigachi y sus zonas periféricas. El camión recorre un total de 218.8 km cada mes en esta trayectoria una prontitud media de progreso de 6 km/h. La figura 87 y tabla 42 indica el diseño propuesto para la ruta RR6 en detalle.

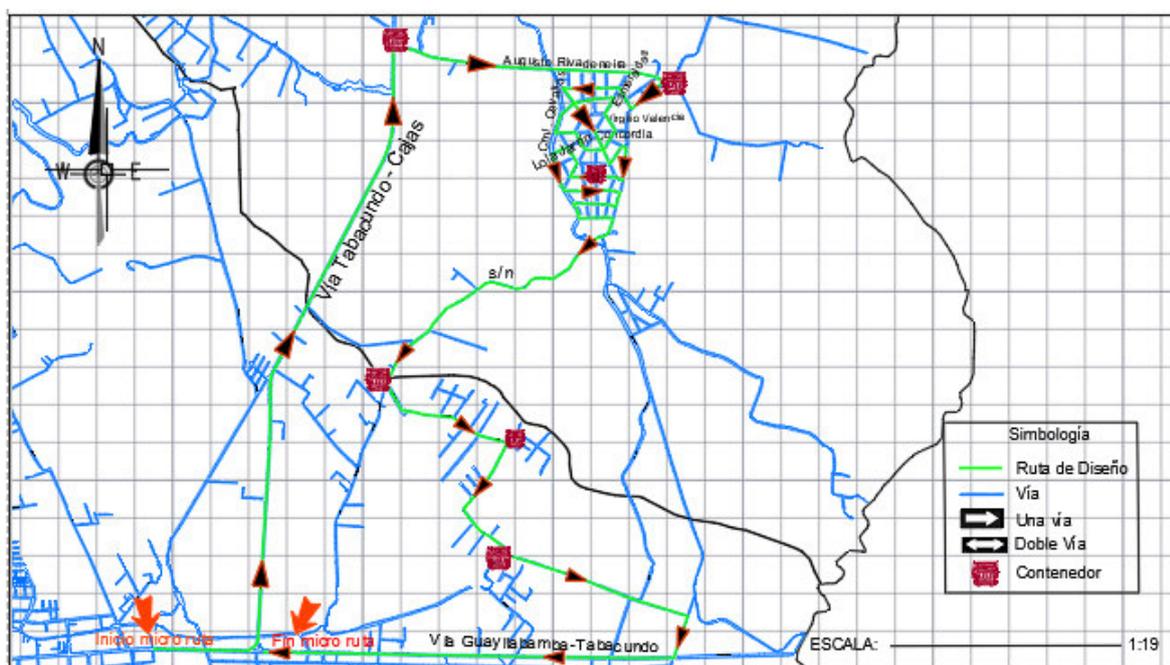


Figura 87. Diseño de micro ruta RR6 – Tupigachi bajo

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 42

Detalla los tiempos empleados para cubrir la zona RR6

Inicia		8: 00					Distanci	Distancia
Finaliza		15:43					a entre	entre
Micr	Kilómetro	Tiempo de	Tiemp	Tiempo	Tiempo	Tiempo	garaje-	final de la
Ruta	recorridos	recolecció	o	hacia el	total	Relleno	inicio de	ruta-
		n	muerto	relleno		-Garaje	la ruta	relleno
							(km)	(km)
RR6	54.7	6 horas	49 min	26 min	7 horas	37 min	6.9	17.8
		54 min			43 min			
Porcentaje (%)		89.5	10.6	6.3	96.4	8		

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

El trayecto del camión recolector consta con una longitud de 54.7 km, se incluye tiempos muertos de más o menos 7 horas y 43 minutos, siendo el 89.5% empleado para la recolección. La velocidad no debe ser superior a 50 km/h, con una distancia aproximada de 24.7 kilómetros.

Micro Ruta RR7

La ruta es realizada por el vehículo de marca Internacional, la recolección de residuos comienza a las 8:03 desde las calles Hermano Carlos y Plaza Gutiérrez, finalizando en la vía Cajas-Tabacundo. Esta ruta recolecta residuos de la zona periférica norte de Tabacundo y la zona rural noroeste de Tupigachi, por consiguiente, el camión recorre un total de 505.6 km cada mes. En la figura 88 y tabla 43, se indica el diseño propuesto para la ruta RR7 en cuestión.

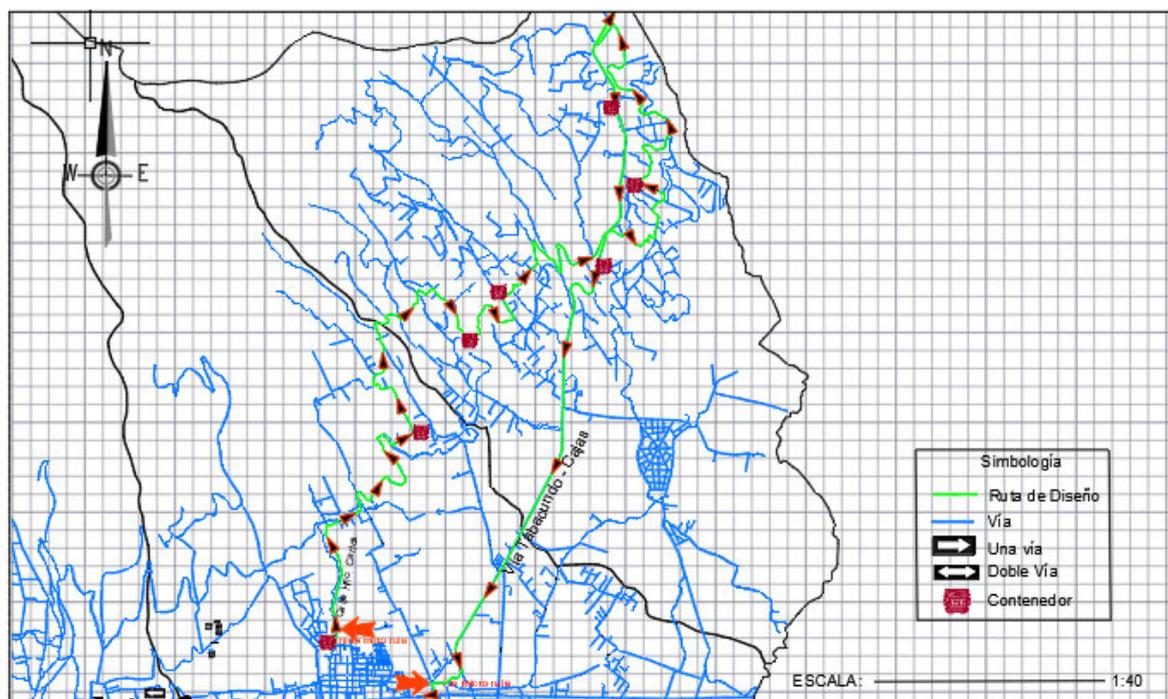


Figura 88. Diseño de micro ruta RR7 – Tupigachi

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Tabla 43

Indica los tiempos empleados para cubrir la zona RR8

Inicia	8:00						Distancia entre	Distancia entre
Finaliza	15:54						garaje-	final de la
Microruta	Kilómetros recorridos	Tiempo de recolección	Tiempo muerto	Tiempo hacia el relleno	Tiempo total	Tiempo Relleno-Garaje	inicio de la ruta (km)	ruta-relleno (km)
RR7	89.4	7 horas 16 min	38 min	24 min	7 horas 54 min	37 min	0.34	17.21
Porcentaje (%)		92	8	5.5	98.7	7.8		

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

El camión avanza en un promedio de 6 km/h, ya que las vías se encuentran en pésimo estado y no son de fácil acceso, por lo tanto, se plantea combinar dos sistemas de vereda y parada fija, de esta forma lograr la recolección de residuos. Este vehículo recorre una distancia de 17.5 km en dirigirse del inicio y final al relleno sanitario.

4.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

4.3.1 Medición de mejoras obtenidas con el modelo propuesto

Se desarrolla un análisis comparativo de la propuesta de modelo de rutas y el modelo establecido en la actualidad, mediante los parámetros de diseño y disminución del impacto ambiental que se han valorado para el proyecto de nuevas micro rutas en Pedro Moncayo.

4.3.2 Parámetros de diseño

Se realiza una comparación de las micro rutas tomando en cuenta distancias recorridas, tiempos de recolección, número de rutas planteadas, nivel de servicio, y otros, entre el sistema propuesto y el existente, mediante la tabla 44.

Tabla 44

Comparación Modelo Establecido y Modelo Propuesto

Parámetros	Modelo Establecido	Modelo Propuesto	Diferencia %
Distancia recorrida (km)	7730.4	4,255.5	44.9
Tiempo recolección (h)	85.9	70.5	17.9
Nivel de servicio (%)	75	80	6.7
Rutas (#)	11	9	18.2

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Mediante los resultados obtenidos, se puede señalar una disminución considerable del 44.9% en la distancia recorrida de cada mes realizada por los camiones recolectores, también una reducción en el tiempo de recolección que representa un 17.9%. Estos resultados se lograron obtener reduciendo el número de rutas de recolección e incremento en la cobertura del nivel del servicio, hasta el 80%.

Los pesos y volúmenes de recolección con los que se trabajó en este proyecto de titulación fueron los proporcionados por el GAD Pedro Moncayo, debido a que los camiones de recolección no se pudieron pesar, si bien el cantón posee una balanza en el relleno sanitario, pero fuera de servicio por daño.

4.2.1.2. Según la reducción del impacto ambiental

La diferencia de la generación de gases de efecto invernadero de la propuesta planteada y la actual es de 3075,2 km/mes en espacio total recorrido apreciándose una disminución del impacto ambiental del modelo propuesto, evaluando así la cantidad de emisiones que genera los dos sistemas. En la tabla 45 se puede observar la disminución del impacto ambiental con respecto al CO₂ emitido por los vehículos recolectores.

Tabla 45

Reducción del impacto ambiental

Parámetros	Modelo Establecido (km/mes)	Modelo Propuesto (km/mes)	Diferencia (km/mes)	Reducción CO ₂ (ton/mes)
Distancia recorrida	7330.4	4255.2	3,074.9	11.2

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Implementar el modelo propuesto producirá una disminución mensual del 41.8% en la producción de gases con efecto invernadero originadas por la utilización del diésel en los camiones recolectores. En un año sería la cantidad de 134 toneladas de CO₂ menos que las producidas por los camiones del modelo establecido.

4.4 COSTOS DEL SISTEMA PLANTEADO

4.4.1 COSTOS REDISEÑO DE RUTAS DE RECOLECCIÓN

En el análisis del presupuesto referencial de implementación del sistema propuesto de operaciones se han tomado de referencias aproximada costos del año 2021, los cuales se muestran en la tabla 46, sin tomar en cuenta tasas o permisos.

Tabla 46

Costos establecidos para el sistema de recolección

Personal	Cantidad	Unidad	Costo (USD)	Unitario	Costo (USD)	Anual
Choferes	4	U	614.84		29,512.32	
Operadores	8	U	561.84		53,936.64	

Administración	3	U	528.84	19,038.24
Equipos				
Combustible	20894.4	Gal	1.44	30,087.94
Mantenimiento	2	U	10,000.00	20,000.00
EPP				
Guantes	16	U	12.00	192.00
Overol	12	U	45.00	540.00
Mascarilla	4,680	U	0.50	2,340.00
Chalecos reflectivos	12	U	18.00	216.00
Gorra	24	U	11.00	264.00
Otros				
Contenedores Fijas	32	U	350.00	11,200.00
Herramientas	.	U	150.00	1,800.00
Total anual				169,127.14
Recolección (ton/anual)				5,975.73
Costo por tonelada al año				28.30

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

El sistema planteado de un rediseño de rutas de recolección de residuos municipales permite acceder a más sectores y optimizar tiempos, lo que permite alcanzar una reducción de personal en un 20%, e incrementando la eficiencia de la gestión de residuos del cantón. De igual manera los costos de EPP que al reducir su recurso humano se debe adquirir un número menor.

Se nota una disminución de recursos en el mantenimiento al rediseñar las rutas por mejores vías y optimizar las distancias recorridas al no tener que circular el camión sin recolectar residuos.

Para la incorporación de las estaciones móviles en el sector rural se propone el adquirir contenedores de 400 litros, para una carga útil de 160 kg, los cuales se implementará de manera estratégica en diferentes sectores para ampliar el acceso del servicio a sitios de difícil acceso.

Las medidas del contenedor y características se presentan a continuación y en la figura 89.

A:1050mm / B: 1145mm / C1: 780mm / C2: 835mm / D: 820mm / E:440mm F:440mm
 Peso: 25kg / Carga Útil: 160kg / Volumen 400Lt

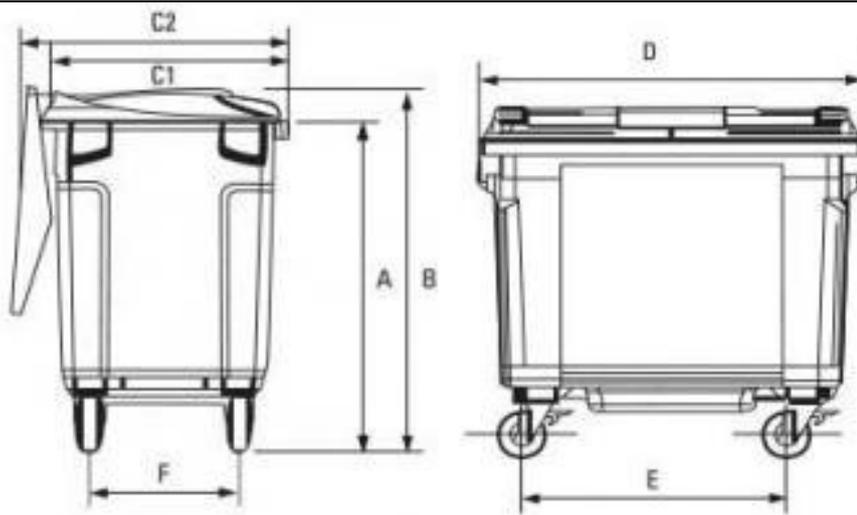


Figura 89. Diseño del contenedor como estación móvil

Fuente: (Prado & Salgado, 2021)

Los costos promedio de recolección se estiman en USD \$ 34.20 por tonelada recolectada, con una alta variabilidad de costo entre países. El costo en Argentina, por ejemplo, es de USD \$ 54, mientras que en Paraguay es de USD \$ 6.60 (USD \$ 47 de diferencia). Estas variaciones reflejan generalmente diferencias asociadas a la (mayor-menor) calidad del servicio (BID, 2011).

El resultado de la implementación de la propuesta planteada se logra un costo de 28.30 34.81 dólares/ton al año, es así como se reduce un 18.70% los recursos económicos que se destinan al sistema de recolección de residuos municipales, optimizando el uso de recursos económicos y mejorando las rutas con mayores accesos al servicio para la población. En los costos no se consideró tasas de permisos ni sanitización.

4.5 PREDISEÑO DE RELLENO SANITARIO

4.5.1 PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN Y PPC

En base a la proyección de la población con una tasa de crecimiento de 0,028 en el cantón Pedro Moncayo y se ha hecho un análisis histórico lo cual se ha determinado el aumento de generación per cápita, debido a esto al finalizar el

periodo de diseño en el año 2035, su producción alcanzaría 31.71 ton/d, con recomendación de mejoras de compactación hasta 0.45 ton/m³.

Tabla 47
Producción per cápita proyectada

Año	Población		PPC
	(Tasa de crecimiento poblacional 0.028)		
	(hab)	kg/(hab*día)	
2021	45333		0.33
2022	46638		0.34
2023	47982		0.35
2024	49363		0.36
2025	50785		0.37
2026	52248		0.38
2027	53752		0.39
2028	55300		0.40
2029	56893		0.41
2030	58532		0.42
2031	60217		0.43
2032	61952		0.44
2033	63736		0.45
2034	65571		0.46
2035	67460		0.47

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

4.5.2 CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS

Tabla 48
Cantidad de residuos sólidos proyectados

Año	Población	PPC	Generación	Generación	Acumulado de Residuos
	(hab)	kg/(hab*día)	ton/día	ton/año	ton/año
2021	45333	0.33	14.96	5460.33	5460.33

2022	46638	0.34	15.86	5787.82	11248.15
2023	47982	0.35	16.79	6129.64	17377.79
2024	49363	0.36	17.77	6486.35	23864.14
2025	50785	0.37	18.79	6858.52	30722.66
2026	52248	0.38	19.85	7246.75	37969.41
2027	53752	0.39	20.96	7651.65	45621.07
2028	55300	0.40	22.12	8073.87	53694.94
2029	56893	0.41	23.33	8514.06	62209.00
2030	58532	0.42	24.58	8972.90	71181.90
2031	60217	0.43	25.89	9451.11	80633.01
2032	61952	0.44	27.26	9949.43	90582.44
2033	63736	0.45	28.68	10468.61	101051.05
2034	65571	0.46	30.16	11009.44	112060.49
2035	67460	0.47	31.71	11572.74	123633.24

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

4.5.3 VOLUMEN Y ÁREA REQUERIDA PARA EL PREDISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

4.5.3.1 Volumen de residuos sólidos

Considerando un tonelaje proyectado de desechos diarios en el relleno, iniciando en 2021 y finalizando en 2035, como se indica en la tabla 49. De acuerdo con los 312 días que se realiza la recolección durante un año, el tonelaje de desechos almacenados y destinados para su agrupación concluyente durante 15 años de duración provechosa es 245,827.50 m³ (sin revestimiento), con revestimiento sería el 20% de cobertura de 49,165.50 m³ siendo el volumen del cubeto planificado para 15 años de 294,993 m³.

Tabla 49*Proyección del volumen de residuos*

Año	Población (hab)	PPC kg/(hab*día)	Generación ton/día	Generación ton/año	Densidad Compactada ton/m ³	Eficiencia recolección (%)	Residuos sólidos compactados		Material de cobertura		Residuos compactados + Cobertura	
							diario	anual	diario	anual	diario	anual
							m ³ /d	m ³ /año	m ³ /d	m ³ /año	m ³ /d	m ³ /año
2021	45333	0.33	14.96	5460.33	0.35	75	32.06	11700.71	6.41	2340.14	38.47	14040.85
2022	46638	0.34	15.86	5787.82	0.35	75	33.98	12402.47	6.80	2480.49	40.78	14882.96
2023	47982	0.35	16.79	6129.64	0.35	75	35.99	13134.94	7.20	2626.99	43.18	15761.93
2024	49363	0.36	17.77	6486.35	0.35	75	38.08	13899.32	7.62	2779.86	45.70	16679.19
2025	50785	0.37	18.79	6858.52	0.35	75	40.27	14696.83	8.05	2939.37	48.32	17636.20
2026	52248	0.38	19.85	7246.75	0.4	80	39.71	14493.50	7.94	2898.70	47.65	17392.21
2027	53752	0.39	20.96	7651.65	0.4	80	41.93	15303.31	8.39	3060.66	50.31	18363.97
2028	55300	0.40	22.12	8073.87	0.4	80	44.24	16147.74	8.85	3229.55	53.09	19377.29
2029	56893	0.41	23.33	8514.06	0.4	80	46.65	17028.11	9.33	3405.62	55.98	20433.74
2030	58532	0.42	24.58	8972.90	0.4	80	49.17	17945.80	9.83	3589.16	59.00	21534.96
2031	60217	0.43	25.89	9451.11	0.45	85	48.91	17852.11	9.78	3570.42	58.69	21422.53
2032	61952	0.44	27.26	9949.43	0.45	85	51.49	18793.37	10.30	3758.67	61.79	22552.04
2033	63736	0.45	28.68	10468.61	0.45	85	54.18	19774.04	10.84	3954.81	65.01	23728.85
2034	65571	0.46	30.16	11009.44	0.45	85	56.97	20795.61	11.39	4159.12	68.37	24954.73
2035	67460	0.47	31.71	11572.74	0.45	85	59.89	21859.62	11.98	4371.92	71.87	26231.55

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

4.5.3.2 Dimensiones de las celdas diarias

En el prediseño de las celdas de disposición final se supone para celdas que recibirán total anual aproximado para el 2021 y se empleará taludes de diseño, lo cual garantiza la estabilidad de las paredes del cubeto (sustentando en el Informe de Mecánica de Suelos en el Relleno Sanitario de Pedro Moncayo, 2011). Ver tabla 50.

Tabla 50
Dimensiones de las celdas diarias

Año	Población (hab)	Residuos	Factor de material de cobertura	Volumen	Ancho m	Altura m	Longitud
		compactados		celdas			de celda
		diario		diario			diario
		m ³ /d	m ³ /d	m/d			
2021	45333	32.06	1.20	38.47	3.00	1.40	9.16
2022	46638	33.98	1.20	40.78	3.00	1.40	9.71
2023	47982	35.99	1.20	43.18	3.00	1.40	10.28
2024	49363	38.08	1.20	45.70	3.00	1.40	10.88
2025	50785	40.27	1.20	48.32	3.00	1.40	11.50
2026	52248	39.71	1.20	47.65	3.00	1.40	11.35
2027	53752	41.93	1.20	50.31	3.00	1.40	11.98
2028	55300	44.24	1.20	53.09	3.00	1.40	12.64
2029	56893	46.65	1.20	55.98	3.00	1.40	13.33
2030	58532	49.17	1.20	59.00	3.00	1.40	14.05
2031	60217	48.91	1.20	58.69	3.00	1.40	13.97
2032	61952	51.49	1.20	61.79	3.00	1.40	14.71
2033	63736	54.18	1.20	65.01	3.00	1.40	15.48
2034	65571	56.97	1.20	68.37	3.00	1.40	16.28
2035	67460	59.89	1.20	71.87	3.00	1.40	17.11

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

4.5.3.3 Volumen de la plataforma

Tabla 51
Dimensiones y Volúmenes de las Plataformas

Nivel	Lado a Inferior (m)	Lado b Inferior (m)	Área Inferior (m ²)	Lado a Superior (m)	Lado b Superior (m)	Área Superior (m ²)	Volumen (m ³)
1	194	194	37636	190	190	36100	51611
2	182	182	33124	178	178	31684	45362
3	170	170	28900	166	166	27556	39515
4	158	158	24964	154	154	23716	34072
5	146	146	21316	142	142	20164	29032
6	134	134	17956	130	130	16900	24395
7	122	122	14884	118	118	13924	20162
8	110	110	12100	106	106	11236	16331
9	98	98	9604	94	94	8836	12904
10	86	86	7396	82	82	6724	9880
11	74	74	5476	70	70	4900	7259
12	62	62	3844	58	58	3364	5042

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

Se empezará con un área base de 37,636 m² la cual está conformada de 194 m * 194 m de cada lado, y se formará 12 plataformas de acuerdo con el talud vertical/horizontal 1:1.3. Al área superior se le restarán los 4 m de cada lado, correspondientes a la berma. Ver tabla 51.

4.5.3.4 Generación de Lixiviados

Se toman los valores de las áreas anuales con las cuales se evalúa el caudal de lixiviados generados en los 15 años para el diseño del cantón de Pedro Moncayo.

Tabla 52
Cálculo de lixiviados por año

Año	Área Inferior (m ²)	Lixiviado		
		m ³ /s	m ³ /d	m ³ /año
1	10,029.18	0.000056	4.80	1,752.90
2	10,630.69	0.000059	5.09	1,858.03
3	11,258.52	0.000062	5.39	1,967.76
4	11,913.71	0.000066	5.70	2,082.28
5	12,597.29	0.000070	6.03	2,201.75
6	12,423.00	0.000069	5.95	2,171.29
7	13,117.12	0.000073	6.28	2,292.61
8	13,840.92	0.000077	6.63	2,419.12
9	14,595.53	0.000081	6.99	2,551.01
10	15,382.12	0.000085	7.37	2,688.49
11	15,301.81	0.000085	7.33	2,674.45
12	16,108.60	0.000089	7.71	2,815.46
13	16,949.18	0.000094	8.12	2,962.38
14	17,824.81	0.000099	8.54	3,115.42
15	18,736.82	0.000104	8.97	3,274.82

Elaborado por: (Prado & Salgado, 2021)

La calidad de los lixiviados del relleno sanitario varía en el tiempo (ver tabla 52), al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga. Vale la pena mencionar las diferencias que se tienen en las calidades de los lixiviados entre aquellos de los países desarrollados con los de los países en vía de desarrollo debido que presentan concentraciones mucho mayores de DBO, amoníaco, metales y sustancias precipitables que aquellos de países desarrollados. Teniendo una gran importancia e implicaciones para la operatividad y el rendimiento de los procesos de tratamiento y el llevar siempre un control de los parámetros y concentraciones.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se evaluó el modelo actual de recolección de residuos determinándose una baja eficiencia debido a que no se obtuvo en base a un estudio técnico y al tener ya varios años sin actualización de rutas ha generado problemas por el crecimiento poblacional y de asentamientos sin planificación territorial en las diferentes zonas del cantón.
- Se rediseño el sistema actual de recolección de residuos, tomando en cuenta los nuevos asentamientos lo que se cubrió más zonas pobladas, optimizando el servicio y obteniendo mejoras económicas, sociales y técnicas.
- Se determino la producción per cápita mediante datos históricos proporcionados por la Dirección de Gestión Ambiental de Pedro Moncayo, de los residuos sólidos municipales, registrándose en el 2020 de 0.32 kg/hab*día, correspondiendo a la producción per cápita del cantón que incluye a las 4 parroquias rurales (La Esperanza, Malchinguí, Tocachi y Tupigachi) y la cabecera cantonal que es la zona urbana (Tabacundo).
- Se determino el peso específico mediante datos históricos tomando en cuenta la humedad de sus residuos y cantidad, siendo en la recolección en la zona urbana que es diferenciada en sus residuos orgánicos de 292.5 kg/m³ y en los residuos inorgánicos de 175.2 kg/m³, para la zona rural comprende un valor de 200.9 kg/m³, debido a que la recolección en esta área es mixta y este sector al ser zonas con sembríos muchos aprovechan los residuos orgánicos como abono.
- Se optimizo las rutas de recolección logrando reducir tiempos muertos, diseñando una recolección organizada, se puede reducir gastos de recolección en un 18.7% lo que significa para el GAD de Pedro Moncayo un ahorro y poder invertir en nuevos implementos para la recolección, ya que se denota un deterioro en sus camiones.

- Se determinó la frecuencia de recolección optimizada en base a la generación de residuos de cada zona urbana y rural, que se realiza de lunes a sábado, siendo en la zona urbana en horario nocturno con los dos camiones intercalada entre residuos orgánicos e inorgánicos, de esta forma puede existir un límite acumulación de dos días de residuos diferenciados y en la zona rural en horario matutino con los dos camiones en rutas combinadas entre parroquias dos veces por semana debido a su poca densidad poblacional, generación per cápita y siendo una recolección mixta.
- Se determino que al emplear el modelo propuesto de rutas de recolección se disminuirá el trayecto mensual de 7,730 km a 4,255 km, esto representa una reducción del 39.2% de los trayectos recorridos empleados por camiones de recogimiento y costos en diésel, a la par con la disminución del 41.8% de gases de efecto invernadero originados por los camiones recolectores (134 ton CO₂/año).
- En la implementación de las micro rutas de recolección rediseñadas posibilitan aumentar el tiempo en la jornada laboral de los operarios en un 1% en diferencia con el modelo vigente, utilizando una media de 7 horas y 50 minutos de las 8 horas legalmente utilizables.
- Se proyecto una prefactibilidad del relleno sanitario para el cantón, donde se propone una planificación de celdas diarias por 15 años lo cual se cumple con la planificación de área total designada de 89,146.8 siendo para áreas complementarias 14,857.00 m² y áreas para disposición final de los residuos de 74,289.00 m².
- En el prediseño del relleno sanitario se establece para un volumen de disposición final de 294,993 m³/año residuos sólidos municipales con cobertura por 15 años, lo cual se requiere de una plataforma de 12 niveles con un área superficial de 37,636 m².
- Se determino la proyección de las predicciones de generación de lixiviado en el relleno son 1,752.90 m³/año, se espera una presencia baja de este líquido, en condiciones normales de régimen pluvial en la zona por sus condiciones meteorológicas y su tipo de recolección.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se sugiere actualizar constantemente la base de información con relación a la red vial y propiedades construidas en Pedro Moncayo para establecer u optimizar el bosquejo de trayectos de recolección, porque se encuentran en continuo cambio y desarrollo, debido a nuevos asentamientos y construcción de urbanizaciones lo que genera la obligación de circular por dicha zona ocasionando modificaciones en el sentido vial, lo que implica que la ruta debe adaptarse y cambiar.
- Se recomienda la adquisición de una báscula fija con la finalidad de obtener pesos diarios de los desechos recolectados de las diferentes rutas de recolección, facilitando de esta forma calcular los cambios de generación de desechos en diferentes meses del año y evaluar la proporción real de carga de los camiones recolectores en cada trayecto.
- Definir la factibilidad económica para utilizar un sistema de rastreo satelital de los vehículos recolectores que faculte establecer la ubicación en tiempo real de estos camiones, facilitando de este modo obtener un apropiado registro del cumplimiento de las rutas de recolección determinadas.
- Se recomienda al GAD de Pedro Moncayo la adquisición de nuevos vehículos recolectores, de preferencia 2, para que brinden apoyo a los camiones actuales están operando en la recolección de residuos sólidos, en caso de sufrir daños mecánicos, además que éstos poseen algunos años de servicio y han reducido su tiempo de vida útil.
- Debido a que el cantón está conformado por una amplia franja rural con asentamientos dispersos de difícil acceso o por la mala condición de la vía y el vehículo recolector no puede acceder, es así que se ha recomendado se coloque contenedores fijos más cercanos a las rutas de recolección de esa manera se pueda llegar con el servicio hasta esos sectores adicional de que los residuos no sean arrojados a las vías y sean espacios para atraer vectores o animales callejeros o quemados ocasionando riesgos de incendios forestales.
- Una vez finalizada la vida útil del relleno sanitario, se recomienda realizar nuevos estudios para su cierre técnico y aprovechamiento del área, sea con proyectos recreacionales sobre el área utilizada.

- Para el relleno sanitario se recomienda que el suelo del cimiento de las plataformas de residuos debe poseer un desnivel negativo de 2 o 3%, con relación a los taludes adyacentes y de la base, asegurando el escurrimiento ligero de lixiviados y su acumulación en cunetas de drenaje.
- Se recomienda implementar un programa de reciclaje y concientizar a las personas de los beneficios de esta actividad ya que reduce el porcentaje de desechos sólidos y su costo de operación.
- Es responsabilidad del operador, manejar el sitio de tal modo que se controle al máximo la entrada de humedad hacia las celdas. El control de la humedad se puede lograr mediante el control de las depresiones en las superficies del relleno con material de cobertura las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P., & Zepeda, F. (2010). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.
- AIDIS. (2002). *Diagnóstico de la Situación de los Residuos Sólidos en Argentina*. Argentina. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/read/18271584/diagnostico-de-la-situacion-de-los-residuos-solidos-en-argentina->
- AME-INEC. (2016). *Registro de Gestión Integral de Residuos Sólidos*.
- AME-INEC. (2020). *Gestión de Residuos Sólidos*. Quito.
- Asamblea Nacional. (2014). *Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización*. Quito: Ediciones Legales.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2012). *Ley organica de transporte terrestre, transito y seguridad vial*. Quito: Registro Oficial Suplemento 731.
- Asamblea Nacional República del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Registro Oficial Suplemento 983.
- Asanza Castro, C. (2017). *Propuesta de Modelo de Gestión de Residuos Sólidos Domiciliarios para áreas marginales urbanas*. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18802/1/CD-8191.pdf>
- Ávila, S., Nieto, M., Jiménez, D., & Osorio, J. (2011). *Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través*

de *Dinámica de Sistemas*. Obtenido de

https://www.urosario.edu.co/urosario_files/PortalUrosario/f4/f49dd4da-d09e-49bd-9af9-882bec755eec.pdf

Betanzo, E., Torres, M., Romero, J., & Obregón, S. (2016). *Evaluación de rutas de recolección de residuos sólidos urbanos con apoyo de dispositivos de rastreo satelital: análisis e implicaciones*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/article_plus.php?pid=S0188-49992016000300323&tlng=es&lng=es

BID. (2011). *Situación de la gestión de RESIDUOS SÓLIDOS en América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Situaci%C3%B3n-de-la-gesti%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Braicovich, T. (septiembre de 2013). *Grafos: Una misma situación para la construcción de distintos modelos extramatemáticos*. Montevideo, Uruguay: Universidad Nacional del Comahue-Argentina.

Broitman, D., Ofira, A., & Iddo, K. (2012). *One size fits all? An assessment tool for solid waste management at local national levels the Waste Management* (Vol. Vol. 32).

Cando, C. (2014). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales*.

CEPAL. (2019). *Instrumentos para la implementación efectiva y coherente de la dimensión ambiental de la agenda de desarrollo*. San José, Costa Rica .

Obtenido de

https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion_de_residuos_-_jordi_pon.pdf

CEPIS. (2005). Procedimientos Estadísticos para los estudios de Caracterización de Residuos Sólidos. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*.

Chamorro Molina, J. (2014). *Solving With Graphs 2.0 [Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Valencia]*. Repositorio Institucional UPV.

Obtenido de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/36155/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Coaquira Pinto, W., & Mamani Quispe, E. (2011). *Algoritmo de Fleury [Monografía, Universidad Nacional del Altiplano Puno]*. Obtenido de https://issuu.com/dewin-math/docs/monografia-de-algoritmo-de-fleury_dewins_

Concejo Nacional de Competencias. (2019). *Mapeo de actores generadores de información a nivel territorial e identificación de fuentes de información de la competencias de desechos sólidos*. Obtenido de <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2019/07/Manejo-desechos-solidos.pdf>

Conejero, A. , & Jordán, C. (2012). *Aplicaciones de la Teoría de Grafos a la Vida Real. Servicio de publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia [Diciembre, 2020]* Disponible en: <http://www.upv.es/visor/media/30c33dd1->

fc5b-0b49-967b-6e7aaca5a56a/c. Obtenido de

<http://www.upv.es/visor/media/30c33dd1-fc5b-0b49-967b-6e7aaca5a56a/c>

Consejo Nacional de Competencias. (2019). *Mapeo de Actores Generadores de Información a Nivel Territorial e Identificación de Fuentes de Información de Competencias de Desechos Sólidos*. Quito. Obtenido de <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2019/07/Manejo-desechos-solidos.pdf>

Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro oficial 449 de 20 de octubre de 2008* (Vols. Reformas en Registro Oficial-Suplemento de 21 de diciembre de 2015.). Ecuador.

De la Torre, F. (2013). *Estudio de Impacto Ambiental del Relleno Sanitario del Cantón Tena*. Tena. Obtenido de <https://maenapo.files.wordpress.com/2015/03/esia-gestion-de-residuos1.pdf>

Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo. (2013). *Estudio de Impactos Ambientales y Plan de Manejo del Relleno Sanitario del Cantón Pedro Moncayo*.

Departamento de Gestión Ambiental GAD Pedro Moncayo. (2019). *Gestión de Residuos Pedro Moncayo*. Tabacundo.

Díaz, D. (2013). *Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Optimización del Servicio de Recolección de Residuos Sólidos Domiciliarios, en el Caso de la Administración Zona Eloy Alfaro*. Quito, Pichincha, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

- Ecuador en cifras. (2010). *Resultados del Censo 2010*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/CPV_aplicativos/datos_generales_cpv/17pedromoncayo.pdf
- El Telegrafo. (06 de marzo de 2020). El 52% de municipios dispone la basura en rellenos sanitarios. *El Telegrafo*. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/cabildos-basura-rellenos-sanitarios-ecuador>
- ENEMDU. (2014). *Módulo de Información Ambiental en Hogares*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec//documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares_2014/Principales_Resultados_Ambienta_Hogares_2014.pdf
- Ezeah, C., Jak, A., & Roberts, C. (2013). *Emerging trends in informal sector recycling in developing and transition countries*. Waste Manage.
- Fernández, I. (2010). *Diseño Y Factibilidad De Relleno Sanitario Manual Para El Municipio De La Libertad*. (D. D. Libertad., Editor) Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/202/1/10136390.pdf>, 2010.
- GAD del Cantón Pedro Moncayo. (18 de julio de 2013). *Ordenanzas Municipales. Cantón Pedro Moncayo: Para el manejo integral de residuos sólidos*. Obtenido de <https://vlex.ec/vid/pedro-moncayo-manejo-integral-residuos-459270186>
- GAD Pedro Moncayo. (2018). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Pedro Moncayo 2018-2025*. Tabacundo.

- GAD Pedro Moncayo. (2018). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Pedro Moncayo, 2018 -2025*. Tabacundo.
- GAD Pedro Moncayo. (2018). *Ubicación Geográfica Pedro Moncayo*. Obtenido de <http://pedromoncayo.gob.ec/index.php/canton/ubicacion-geografica>
- GADPP. (2017). *Prefectura de Pichincha*. Obtenido de <https://www.pichincha.gob.ec/cantones/pedro-moncayo>
- García de Cortázar, A. (2015). *DOCUMENTO GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE BALANCES HÍDRICOS EN VERTEDEROS*. Vasco. Obtenido de https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/balances_hidricos_vertederos/es_def/adjuntos/guia_balances_hidricos_vertederos.pdf
- Gias, G. D. (2017). *Optimización Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas De La Facultad De Bellas Artes De La Universidad Tecnológica De Pereira*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <https://www.utp.edu.co/cmsutp/data/bin/UTP/web/uploads/media/contratacion/documentos/1511215>
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pedro Moncayo. (18 de 07 de 2013). *Ordenanzas Municipales. Cantón Pedro Moncayo: Para el manejo integral de residuos sólidos*. Obtenido de <https://vlex.ec/vid/pedro-moncayo-manejo-integral-residuos-459270186>
- Grau, J., Terraza, H., Rodríguez, D., Rihm, A., & Sturzenegger, G. (2015). *Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Núñez, Anamaría; Osuji, Onyemauchekwu. Obtenido de

<https://publications.iadb.org/es/situacion-de-la-gestion-de-residuos-solidos-en-america-latina-y-el-caribe>

Grupo Banco Mundial. (2018). *Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>

Guamán Lozano, Á., Miño Cascante, G., & Cayán . (2017). *Optimización del proceso de recolección de desechos sólidos de la ciudad de Ambato mediante el diseño de un modelo de distribución de redes*. *Revista ECA Sinergia*. Obtenido de <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/ECASinergia/article/download/825/964/>

Gutberlet, J. (2008). *Empowering collective recycling initiatives: Video documentation and action research with a recycling co-op in Brazil*. *Resour. Conserv. Recy.*,.

Gutiérrez Galicia, F. (2008). *Análisis del Sistema de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. México. Obtenido de https://repositorio.unam.mx/contenidos/analisis-del-sistema-de-recoleccion-de-residuos-solidos-urbanos-en-el-centro-historico-de-morelia-aplicando-sistemas-367685?c=2O2vwx&d=false&q=*&i=1&v=1&t=search_1&as=0

Henao Guzmán, B., & Piedrahita Arana, J. (2019). *Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de Zarzal Valle del Cauca [Tesis de Grado, Universidad del Valle]*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/9103/CB-0524924.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hidalgo, K. (2019). *Diseño del relleno sanitario del cantón Pedro Moncayo para el periodo 2019-2029*. Sangolquí.

Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (s.f.). *Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c)*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%C3%ADa.pdf>

IEE. (2013). *Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, Escala 1:25 000*.

INAMHI. (2017). *Anuario Meteorológico*.

INEC. (2010). *REDATAM*. Obtenido de <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?BASE=C>
PV2010

INEC. (2015). *Los ecuatorianos producen 0,57 kilogramos de residuos sólidos diarios*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/los-ecuatorianos-producen-057-kilogramos-de-residuos-solidos-diario/>

INEC. (2018). *Gestión de Residuos Sólidos GAD Municipales 2017*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2017/Residuos_solidos_2017/Documento%20metodologico%20RESIDUOS%202017.pdf

Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operaciones de rellenos sanitarios manuales*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Obtenido de <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>

Jiménez Martínez, N. M. (marzo de 2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, N.º 17, 29-56.

Johannes, P., Arce-Jaque, J., Ravena, N., & Villamor, S. (2012). *Integration of the informal sector into municipal solid waste management in the Philippines - What does it need?* Waste Manage.

Juan, R. S. (28 de diciembre de 2015). *Clasificación de los Desechos Sólidos*. Obtenido de San Juan Reciclados y Demoliciones: <https://www.rdsanjuan.com/que-son-los-desechos-solidos/>

Karen, H. (2019). *Diseño del relleno Sanitario del Cantón Pedro Moncayo para el periodo 2019-2029*. Sangolquí.

Koei, N. (2017). *Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Santo Domingo, República Dominicana*: JICA.

León Jácome, J. (2019). Optimización del micro ruteo de camiones recolectores de residuos en el sector urbano del cantón Ibarra [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Obtenido de

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10135/2/04%20INF%20231%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Lipschutz, S. (s. f). Estructura de Datos-Grafos [Archivo PDF]. Obtenido de http://www.itnuevolaredo.edu.mx/takeyas/Apuntes/Estructura%20de%20Datos/Apuntes/grafos/Apuntes_Grafos.pdf

MAE. (2015). *Gestión Integral de Desechos Sólidos*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/PNGIDS1.pdf>

Márquez Pérez, J. N. (s.f). *Macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales*. Sincelejo.

Martí, R. (s. f). Algoritmos Heurísticos en Optimización Combinatoria. Obtenido de <http://yalma.fime.uanl.mx/~roger/work/teaching/mecbs5122/1-Introduction/Intro-by-Rafa%20Marti.pdf>

Martínez, F. (2018). *Propuesta de rediseño de macro y micro rutas del sistema de recolección de residuos sólidos de la ciudad de Túlcan*. Túlcan.

Martínez, J. (2013). Ecología humana y acción pro-ambiental: alteridades recíprocas aula-escuela-comunidad para el manejo sustentable de residuos. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 449-460.

Meléndez, C. (2004). Guía práctica para la operación de celdas diarias en rellenos sanitarios pequeños y medianos.

MINAM, M. d. (2010). *Guía para la Recolección de Residuos Sólidos Municipales*. Lima: Riquero K.

Ministerio del Ambiente y Agua. (2014). *Hitos en la gestión integral de los residuos sólidos en Ecuador*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/hitos-en-la-gestion-integral-de-los-residuos-solidos-en-ecuador/#:~:text=En%20abril%20del%202010%20se,contaminaci%C3%B3n%20ambiental%20y%20mejorar%20la>

MMAyA/VAPSB/DGGIRS. (2012). *Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios*.

Muñoz, M. (2008). *Manual de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos*. Quito: Impremédios.

Nayola, & Morgan. (1997). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Cali.

ONU Habitat. (14 de octubre de 2017). *Hacer de la densidad una variable fundamental*. Obtenido de ONU Habitat: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/hacer-de-la-densidad-una-variable-fundamental>

ONU Medio Ambiente. (2018). *Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe*. Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe. Obtenido de <https://www.unep.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe>

OPS/OMS. (2002). *Análisis sectorial de residuos sólidos del Ecuador*. Obtenido de <https://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/analisis/ecuador.pdf>

Pineda, S. I. (1998). *Manejo y Disposición de los Residuos Sólidos*. Colombia.

- Racero, J., & Pérez, E. (septiembre de 2006). Optimización del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios [Ecoeficiencia]. X Congreso de Ingeniería de Organización, Valencia, España. Obtenido de http://adingor.es/congresos/web/uploads/cio/cio2006/aprov_distr_transporte/000226_final.pdf
- Rondón, E., Szantó, M., Pacheco, J., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago: Naciones Unidas.
- Rumiñahui, G. (2016). *Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos Urbanos No Peligrosos Cantón Rumiñahui Período 2016-2019*. Sangolquí.
- Sáez, A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/737/7737091009/>
- Sánchez, G., & Lozano, V. (s. f). Algoritmo de Dijkstra, un Tutorial Interactivo. Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de <http://bioinfo.uib.es/~joemiro/aenui/procJenui/ProcWeb/actas2001/saalg223.pdf>
- Solíz, F. (2015). *Ecología política y geografía crítica de la basura en el Ecuador*. Obtenido de [http://repositorio.flacsoandes.edu.ec:8080/bitstream/10469/6807/1/RFLACS O-LV17-02-Soliz.pdf](http://repositorio.flacsoandes.edu.ec:8080/bitstream/10469/6807/1/RFLACS-O-LV17-02-Soliz.pdf), 2015

Szanto Narea, M. (2008). *La problemática de los residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe*. Obtenido de

<http://www.redisa.net/doc/artSim2008/gestion/A35.pdf>

Tchobanoglous. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*.

UDB. (s.f.). *Algoritmos para la ruta más corta en un grafo*. Obtenido de

http://www.udb.edu.sv/udb_files/recursos_guias/informatica-ingenieria/programacion-iv/2019/ii/guia-10.pdf

Universidad para la Cooperación Internacional. (s.f.). *Residuos Municipales*.

Obtenido de http://www.ucipfg.com/Repositorio/MLGA/MLGA-03/semana4/PER_RS.pdf

Universidad Tecnológica de Monterrey. (s.f.). *Reciclaje: Separación de Residuos Sólidos*. Obtenido de

http://www.cca.org.mx/ps/lideres/cursos/av_r/html/materiales/vi_t1.pdf

Valencia, L. A. (23 de Octubre de 2011). Tamaño necesario de la muestra:

¿Cuántos sujetos necesitamos? *Universidad Pontificia Comillas*. Obtenido de n

<http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Tama%F1oMuestra.pdf>

Vesilind, A., & Rimer, A. (1981). *Unit operations in resource recovery engineering*.

New Jersey: Prentice Hall Inc.

Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico - Bolivia. (2010). *Guía para la Implementación, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios*. Bolivia.

Obtenido de <http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2014/12/GuiaRellenosSanitarios.pdf>

Yordá Pérez, J. (2015). El problema del cartero chino [Tesis de Maestría, Universidad Santiago de Compostela]. Chile. Obtenido de <http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProgramasProyectosFinMaster/Proyecto%20El%20problema%20del%20cartero%20chino.pdf>

ANEXO 1
PROPUESTA DE MICRO RUTAS DE RECOLECCIÓN

ANEXO 2
CÁLCULOS DEL PROYECTO

Proyección poblacional

$$P_f = P_i(1 + r)^n$$

donde:

P_f = población final (habitantes)

P_i = población inicial (habitantes)

r = tasa de crecimiento poblacional

t_i = tiempo inicial (año)

t_f = tiempo final (año)

$n = t_f - t_i$

$$P_{2011} = 33,172(1 + 0.0288)^{2011-2010} = 34,172 \text{ hab}$$

Producción per cápita

$$\text{Producción Per Cápita}(PPC) = \frac{P_w}{N_p} \left(\frac{Kg}{\text{hab} * \text{día}} \right)$$

dónde:

P_w = Producción per cápita total = 14,210 kg/día

N_p = Habitantes = 44,064 habitantes

$$\text{Producción Per Cápita}(PPC_{2020}) = \frac{14,210}{44,064} \left(\frac{Kg}{\text{hab} * \text{día}} \right)$$

$$\text{Producción Per Cápita}(PPC_{2020}) = 0.322 \left(\frac{Kg}{\text{hab} * \text{día}} \right)$$

Determinación de la eficiencia de recolección actual

$$\text{Producción de residuos} = PPC_{TOT} \times N \left(\frac{kg}{\text{hab} \times \text{día}} \right)$$

dónde:

PPC_{TOT} = Producción per cápita total $\left(\frac{Kg}{\text{hab} * \text{día}} \right)$

N = Número total de habitantes (habitantes)

$$\text{Producción de residuos} = 0,37 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab} \times \text{día}} \right) \times 44248 \text{ hab}$$

$$\text{Producción de residuos} = 16371,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{\text{tonelada}}{1000\text{kg}}$$

$$\text{Producción de residuos} = 16,372 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

$$\eta_{rec} = \frac{\text{Producción de residuos diarios}}{\text{horas operativas}}$$

$$\eta_{rec} = \frac{16,372 \frac{\text{ton}}{\text{día}}}{23 \text{ h}} \times 100\%$$

$$\eta_{rec} = 71,2 \% \sim 70\%$$

Cálculo de la capacidad de los vehículos recolectores

$$CVR = C_v \times \partial r$$

dónde:

CVR = Capacidad de vehículos recolectores (ton)

C_v = Capacidad de vehículo (m^3)

∂r = Peso específico que alcanza el residuo dentro del vehículo $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$CVR = C_v \times \partial r$$

$$CVR = 15.29 \text{ m}^3 \times 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$CVR = 5351 \text{ kg} \frac{\text{ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$CVR = 5.35 \text{ ton}$$

Frecuencia de recolección

$$\text{Volumen diario} = \frac{\text{ppc} \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} * \text{día} \right) * \#\text{habitantes}}{\text{Peso específico en el camión} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

$$\text{Frecuencia de recolección máximo} = \frac{\text{Capacidad de recolección} (\text{m}^3)}{\text{Volumen diario} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}$$

Zona urbana**Tabacundo – Residuos inorgánicos**

$$\text{Volumen diario} = \frac{0.19 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} \text{ día} \right) \times 17,247 \text{ hab}}{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Volumen diario} = 9.6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = \frac{15.29 \text{ m}^3}{9.6 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = 1.59 \sim 2 \text{ días}$$

Tabacundo – Residuos orgánicos

$$\text{Volumen diario} = \frac{0.15 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} \text{ día} \right) \times 17,247 \text{ hab}}{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Volumen diario} = 7.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = \frac{15.29 \text{ m}^3}{7.2 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = 2,1 \sim 2 \text{ días}$$

Zona rural**Tabacundo rural**

$$\text{Volumen diario} = \frac{0.86 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} \text{ día} \right) \times 6,478 \text{ hab}}{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Volumen diario} = 2.5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = \frac{15.29 \text{ m}^3}{2.5 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = 6.2 \sim 6 \text{ días}$$

Tupigachi

$$\text{Volumen diario} = \frac{2.81 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} \text{ día}\right) \times 7,585 \text{ hab}}{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Volumen diario} = 8 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = \frac{15.29 \text{ m}^3}{8 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = 1.9 \text{ días} \sim 2 \text{ días}$$

Malchinguí

$$\text{Volumen diario} = \frac{1.09 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} \text{ día}\right) \times 5560 \text{ hab}}{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Volumen diario} = 3.1 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = \frac{15.29 \text{ m}^3}{3.1 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = 4.9 \text{ días} \sim 6 \text{ días}$$

La Esperanza

$$\text{Volumen diario} = \frac{1.62 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} \text{ día}\right) \times 4,945 \text{ hab}}{350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Volumen diario} = 4.6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = \frac{15.29 \text{ m}^3}{4.6 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = 3.3 \sim 3 \text{ días}$$

Tocachi

$$\text{Volumen diario} = \frac{0.83 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hab}} \text{ día} \right) \times 2,538 \text{ hab}}{250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Volumen diario} = 2.4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = \frac{25 \text{ m}^3}{2.4 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)}$$

$$\text{Frecuencia de Recolección Máxima} = 6.4 \sim 6 \text{ días}$$

ANEXO 3
FORMULARIO DE ENCUESTA

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**INGENIERÍA AMBIENTAL****PROYECTO DE TITULACIÓN:**

Diseño de macro y micro rutas del sistema de recolección de los desechos sólidos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Pedro Moncayo.

*Obligatorio

1. En que parroquia se encuentra su vivienda

- Tabacundo Urbano.
- Tabacundo Rural.
- Malchingui
- Tupigachi
- La Esperanza
- Tocachi

2. ¿Cuántas personas habitan en su domicilio?

- 1 a 2 habitantes
- 3 a 4 habitantes
- 5 a 6 habitantes
- más de 7 habitantes

3. ¿Cuál es la condición de la calle frente a su vivienda?

- Pavimentado
- Adoquinado
- Empedrado
- Lastrado
- Tierra

4. ¿El vehículo recolector de basura pasa por frente de su vivienda?

- Si
- No

5. Califique el servicio de recolección de basura

- Muy Bueno
- Bueno
- Regular
- Malo

6. Indique el ¿por qué? de su calificación del servicio de recolección de basura

- No es eficiente, no se lleva toda la basura
- Se interrumpe constantemente
- No se cumplen los horarios ya establecidos
- No tengo quejas
- Los recolectores no son amables
- Riega la basura
- Pasa muy rápido

7. Con qué frecuencia se realiza la recolección de basura en su barrio

- Diario
- Dos veces a la semana
- Una vez a la semana
- Nunca

8. ¿Considera que la gestión del sistema de recolección tiene problemas?

- Si
- No

9. Si contesto afirmativamente la anterior pregunta, ¿por qué considera que la gestión del sistema de recolección tiene problemas?

- Basura en las veredas
- Presencia de vectores (ratas)
- Perros callejeros
- Malos olores
- Contaminación visual

10. ¿En qué aspectos podría mejorarse el servicio?

- La recolección sea en un horario fijo
- Control sobre él personas de recolección
- Disminuya el vehículo recolector su velocidad
- Nuevas rutas de recolección

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Almacenamiento. - Es la acción de retener temporalmente los desechos sólidos, en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección o se dispone de ellos.

Ambiente. - Se entiende al ambiente como un sistema global integrado por componentes naturales y sociales.

Berma: Son terrazas utilizadas cuando la altura del relleno sanitario es considerable y tienen como objetivo mantener su estabilidad.

Biogás: Mezcla de gases, producto del proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica o biodegradable de los residuos, cuyos componentes principales son el metano y dióxido de carbono.

Celda: Volumen de material depositado en un relleno sanitario durante un período de explotación relativamente corto, de días. Una celda incluye los propios residuos sólidos depositados y el material de cobertura con frecuencia diaria y cuyo objetivo es eliminar la existencia de olores procedentes de la descomposición de éstos.

Contenedor. - Recipiente de gran capacidad, metálico o de cualquier otro material apropiado utilizado para el almacenamiento de desechos sólidos no peligrosos, generados en centros de gran concentración, lugares que presentan difícil acceso o bien en aquellas zonas donde por su capacidad es requerido.

Contaminación. - Es la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellas, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente.

Desecho. - Denominación genérica de cualquier tipo de productos residuales, restos, residuos o basuras no peligrosas, originados por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que pueden ser sólidos o semisólidos, putrescibles o no putrescibles.

Desecho sólido. - Se entiende por desecho sólido todo sólido no peligroso, putrescible o no putrescible, con excepción de excretas de origen humano o animal. Se comprende en la misma definición los desperdicios, cenizas, elementos del barrido de calles, desechos industriales, de establecimientos hospitalarios no

contaminantes, plazas de mercado, ferias populares, playas, escombros, entre otros.

Desecho sólido. - Domiciliario El que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento asimilable a éstas.

Disposición final. - Es la acción de depósito permanente de los desechos sólidos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños al ambiente.

Estación de transferencia. - Es el lugar físico dotado de las instalaciones necesarias, técnicamente establecido, en el cual se descargan y almacenan los desechos sólidos para posteriormente transportarlos a otro lugar para su valorización o disposición final, con o sin agrupamiento previo.

Frente de Trabajo: Es el lugar donde los vehículos descargan los residuos para su posterior colocación, compactación y recubrimiento.

Generación. - Cantidad de desechos sólidos originados por una determinada fuente en un intervalo de tiempo dado.

Generador. - Persona natural o jurídica, cuyas actividades o procesos productivos producen desechos sólidos.

Gestión integral de residuos sólidos (GIRS). - Enfoque de sistemas para la gestión de residuos que reconoce tres dimensiones importantes de la gestión: 1) las partes interesadas, 2) los elementos del sistema de residuos y 3) los aspectos de sostenibilidad.

Impermeabilización de la celda: Se realiza con materiales naturales y/o artificiales en función de la magnitud y tipo de relleno. Estos materiales deben recubrir el fondo y las superficies naturales. Los recubrimientos son diseñados para proveer la impermeabilización del vaso y evitar la migración del lixiviado.

Lixiviado. - Líquido que percola a través de los residuos sólidos, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, la humedad de la basura y la descomposición de la materia orgánica que arrastra materiales disueltos y suspendidos.

Manejo. - Se entiende por manejo las operaciones de recolección, envasado, etiquetado, almacenamiento, reuso y/o reciclaje, transporte, tratamiento y disposición final de los desechos, incluida la vigilancia de los lugares de disposición final.

Reciclaje. - Operación de separar, clasificar selectivamente a los desechos sólidos para utilizarlos convenientemente. El término reciclaje se refiere cuando los desechos sólidos clasificados sufren una transformación para luego volver a utilizarse.

Reciclaje a pie de vereda y/o puerta a puerta. - Recolección de residuos con potencial de reciclaje en calles o contenedores ubicados fuera de los hogares y/o puerta a puerta.

Recipiente. - Envase de pequeña capacidad, metálico o de cualquier otro material apropiado, utilizado para el almacenamiento de desechos sólidos no peligrosos.

Recolección. - Acción de transferir los desechos al equipo destinado a transportarlo a las instalaciones de almacenamiento, tratamiento o reciclaje, o a los sitios de disposición final.

Relleno sanitario. - Es una técnica para la disposición de los desechos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar los desechos sólidos en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo aplicable, y luego cubriendo los desechos sólidos depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada.

Residuos sólidos urbanos o municipales: Residuos sólidos o semisólidos provenientes de las actividades propias de los núcleos poblacionales en general, que incluyen los residuos de origen domiciliario, comercial, de servicios, institucional, de mercados, hospitalarios comunes o no peligrosos, los generados en las oficinas de las industrias, en el barrido y limpieza de calles y áreas públicas, en podas de plantas de calles, plazas y jardines públicos.

Separación en origen (o separación o segregación en la fuente): Acciones tomadas para clasificar y almacenar ciertos materiales en el punto de generación.

Transporte. - Cualquier movimiento de desechos a través de cualquier medio de transporte efectuado conforme a lo dispuesto en este reglamento.

Tratamiento. - Proceso de transformación física, química o biológica de los desechos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial y en el cual se puede generar un nuevo desecho sólido, de características diferentes.