



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Departamento de postgrados

**Manejo sostenible de residuos sólidos domiciliarios: recolección
y transporte al relleno sanitario. Caso cantón Naranjal**

Maestría en gestión ambiental

Autor: Antonio Araujo Flores

Director: Omar Delgado Inga

Cuenca – Ecuador

2020

DEDICATORIA

A mis padres, por su generosidad, humildad, honestidad y perseverancia, todas sus enseñanzas de vida aspiro reflejarlas en mi caminar. A mi esposa, por el apoyo incondicional que me brinda en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento al ingeniero Omar Delgado, por su valioso tiempo, apoyo, entrega y vocación durante el desarrollo del presente estudio.

RESUMEN

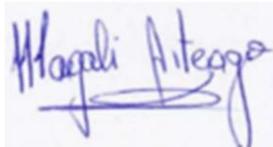
Las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios en el cantón Naranjal se han creado de manera intuitiva y no responden a un análisis técnico. En este estudio se evaluó las rutas actuales de recolección y se diseñó nuevas rutas optimizadas, mediante el uso de Sistema de Información Geográfica (SIG), con la finalidad de minimizar la distancia recorrida y aumentar la cobertura de recolección. Para la optimización de las rutas se utilizó el software ArcGis 10.3 y se aplicó la herramienta Network Analyst. Los resultados de la investigación permitieron reducir las rutas de 24 existentes a 20 rutas de recolección diferenciadas (10 en la cabecera cantonal y 10 en el área rural de Naranjal), se aumentó la cobertura de recolección e incrementó la frecuencia en el área rural.

PALABRAS CLAVE: recolección de desechos, residuos sólidos domiciliarios (RSD), optimización de rutas, ArcGis 10.3, Network Analyst.

ABSTRACT

In Naranjal, domestic solid waste collection routes have been created intuitively and do not respond to a technical analysis. The present study evaluated the current collection routes to design new optimized routes, through the use of Geographic Information Systems (GIS), in order to minimize the distance traveled and increase collection coverage. ArcGis 10.3 software was used for route optimization and the Network Analyst tool was applied. The results of the research made it possible to reduce the existing routes from 24 to 20 differentiated collection routes (10 in the cantonal head and 10 in the rural area of Naranjal) increasing the collection coverage and the frequency in the rural area was also increased.

Keywords: waste collection, domestic solid waste (DSW), route optimization, ArcGis 10.3, Network Analyst.

A handwritten signature in blue ink that reads "Haeli Aiteaga". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath the name.

Translated by

A handwritten signature in blue ink that reads "Fabian Araujo". The signature is written in a cursive style with a large, stylized initial 'F' and 'A'.

Fabian Araujo

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Objetivo General.....	14
1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.1 Área de Estudio.....	15
2.2. Asentamientos humanos del cantón Naranjal.....	17
2.3. Información técnica y cartográfica que conforma el sistema de recolección de RSD	19
2.3.1 Red vial cantonal de Naranjal.....	19
2.3.2 Características y georreferenciación del sitio de disposición final.	20
2.3.3 Equipamiento para la recolección y transporte de los RSD.....	21
2.3.4 Medidores de energía eléctrica de uso residencial	22
2.4 Levantamiento de información de las rutas de recolección existentes	23
2.4.1 Georreferenciación y digitalización de las rutas existentes	25
2.5 Propuesta de zonificación de las Rutas de Recolección de RSD.....	26
2.5.1 Peso Específico	26
2.5.2 Contenido de Humedad	27
2.5.3 Capacidad de Carga del vehículo recolector	27
2.6 Procesamiento de Información	28
2.6.1 Edición de la vialidad	28
2.6.2 Creación del conjunto de datos de red vial (Network Dataset)	29
2.6.3 Análisis y optimización de nuevas rutas	29
2.7 Sensibilización, socialización y educación ambiental.....	30
3. CAPÍTULO 2: RESULTADOS.....	32
3.1 Distancia del relleno sanitario a los principales asentamientos humanos del cantón Naranjal	32
3.2 Cobertura de recolección de RSD del cantón Naranjal.....	32
3.2.1 Cobertura de recolección de RSD del año 2010.....	32
3.2.2 Cobertura de recolección de RSD del año 2020.....	34
3.3 Propuesta de zonificación de las rutas de recolección de RSD	38
3.3.1 Zonificación de la cabecera cantonal de Naranjal.....	38
3.3.2 Zonificación del área rural de Naranjal	39
3.4 Optimización de las rutas de recolección de RSD	40
3.4.1 Optimización de las rutas de recolección de la cabecera cantonal de Naranjal	40

3.4.2 Optimización de las rutas de recolección en el área rural del cantón de Naranjal	42
3.5 Propuesta del horario y frecuencia de recolección de RSD en el cantón Naranjal.	43
3.5.1 Horario y frecuencia de recolección de RSD en la cabecera cantonal de Naranjal...	43
3.5.2 Horario y frecuencia de recolección de RSD en el área rural de Naranjal	44
4. DISCUSIÓN	45
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Límites oficiales del cantón Naranjal	15
Figura 2.- Cobertura de suelo del cantón Naranjal	16
Figura 3.- Jerarquización de Asentamientos Humanos	18
Figura 4.- Red Vial del cantón Naranjal.....	20
Figura 5.- Relleno Sanitario del cantón Naranjal	21
Figura 6.- Medidores de energía eléctrica de uso residencial	23
Figura 7.- Formato KML. Ruta de recolección nocturna 1	26
Figura 8.- Distancia del relleno sanitario a los asentamientos humanos de Naranjal	32
Figura 9.- Eliminación de la basura a través del carro recolector.....	33
Figura 10.- Eliminación de la basura a través del carro recolector en el área urbana.....	34
Figura 11.- Rutas de recolección de RSD en el cantón Naranjal	35
Figura 12.- Rutas de recolección de RSD en la cabecera cantonal de Naranjal.....	37
Figura 13.- Zonificación de la cabecera cantonal de Naranjal.....	39
Figura 14.- Zonificación del área rural en el cantón Naranjal para dotar del servicio de recolección.....	40
Figura 15.- Optimización de las rutas de recolección de la cabecera cantonal de Naranjal.....	41
Figura 16.- Optimización de las rutas de recolección en el área rural del cantón Naranjal	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población y superficie de las parroquias del cantón Naranjal	17
Tabla 2. Jerarquización de los asentamientos humanos	18
Tabla 3. Equipamiento de recolección y transporte de los RSD.	22
Tabla 4. Rutas de recolección de RSD de la cabecera cantonal de Naranjal	23
Tabla 5. Rutas de recolección de RSD en la zona rural del cantón Naranjal	24
Tabla 6. Campos de atributos de la red vial cantonal.....	28
Tabla 7. Cobertura de RSD en el área rural de Naranjal.....	35
Tabla 8. Cobertura de RSD en la cabecera cantonal	37
Tabla 9. Rutas de recolección de RSD optimizadas	41
Tabla 10. Rutas de recolección de RSD optimizadas	43
Tabla 11. Horario y frecuencia de recolección de RSD en la cabecera cantonal de Naranjal ...	44
Tabla 12. Horario y frecuencia de recolección de RSD en el área rural de Naranjal.....	44

Antonio Araujo Flores
Trabajo de graduación
Omar Delgado Inga
Diciembre de 2020

MANEJO SOSTENIBLE DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS: RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE AL RELLENO SANITARIO. CASO CANTÓN NARANJAL

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos urbanos, surge como necesidad imperiosa de la población para alcanzar mejores condiciones de vida, sus inicios datan en los siglos VI – VII a.C., en la Antigua Roma durante el reinado de Tarquinio Prisco. A partir de la famosa “cloaca máxima”, que fue una red de alcantarillado que servía para drenar las aguas residuales y eliminar los residuos sólidos hacia el río Tíber. La limpieza y mantenimiento del sistema lo realizaban las personas privadas de libertad de esa época (Agnoletti, 2019).

Durante el siglo XVIII, el pensamiento médico se caracterizó por un creciente interés en las teorías de Hipócrates, en donde relacionaban la morbilidad y mortalidad con la calidad de agua y aire presentes en el ambiente, por tal razón se prohibió la eliminación de residuos en fuentes de agua y en suelos urbanos donde existía una densidad poblacional alta (Agnoletti, 2019). A partir de este acontecimiento, con el paso del tiempo se ha empleado estrategias y tecnología para gestionar eficazmente los residuos, sin embargo la prosperidad de las ciudades son un reflejo de la cantidad de materia, energía y recursos que utilizan los habitantes para tener mayores facilidades en las actividades que se desarrollan a diario, lo que inevitablemente conlleva al incremento de la generación de residuos químicamente más complejos. La acumulación de este tipo de residuos afecta al ambiente, a la salud de los habitantes, a la economía y a la infraestructura de las ciudades, debido al volumen de los residuos generados, tratamientos y eliminación (Lyamu et al., 2019).

La gestión integral de residuos sólidos está asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección y transporte, procesamiento y eliminación de los residuos sólidos. Cada uno de los procesos deben desarrollarse de una manera armónica, con un enfoque a los principios de salud pública, de la economía, de la ingeniería de la conservación, de la estética y de otras variables ambientales, y que también responde las expectativas públicas (Rondón et al., 2016).

La generación de residuos es un producto natural del crecimiento poblacional, el desarrollo económico y la urbanización. Se estima que a nivel mundial hasta el año 2016 se ha generado 2,01

mil millones de toneladas de residuos sólidos municipales, y se espera que para el año 2050 la cantidad ascienda a 3,40 mil millones de toneladas (PNUMA, 2019).

La generación de desechos per cápita promedio a nivel global es de 0,74 kg por día, sin embargo, las tasas nacionales de generación de desecho pueden variar drásticamente entre 0,11 a 4,54 kg por día, la diferencia en la producción de residuos radica principalmente en los ingresos económicos que presentan los países, de esta manera se estima que los países de altos ingresos representan el 16% de la población pero generan el 34% de la totalidad de residuos, a diferencia de las naciones de bajos ingresos económicos que corresponden al 9% de la población y generan únicamente el 5% de los desechos globales (Kaza et al., 2018).

La caracterización de la basura puede considerarse como un indicador socio económico, debido a que en los países de bajo y mediano ingreso los desechos orgánicos predominan en más del 50%, a diferencia de las naciones de altos ingresos en donde el porcentaje de materia orgánica corresponde al 32%, sin embargo en lo referente a los residuos reciclables sucede lo contrario, ya que a medida de que los países y ciudades aumentan su nivel económico, la cantidad de productos que se pueden reciclar es también mayor. El porcentaje de residuos reciclables en los países desarrollados y en vías de desarrollo corresponde al 50% y 16% respectivamente (Kaza et al., 2018).

La cobertura de recolección de los residuos sólidos también se encuentra en función del desarrollo económico de las naciones. Los países desarrollados presentan una cobertura del 96% en la recolección de desechos sólidos, a diferencia de los que se encuentran en vías de desarrollo y presentan una cobertura en el sector urbano del 48% y en el área rural del 26% (Kaza et al., 2018).

La eliminación o disposición final adecuada de los desechos sólidos mediante el uso de rellenos sanitarios o instalaciones en donde se da tratamiento a los desechos, es usado exclusivamente por los países de ingresos altos, lo que corresponde al 98%, por lo contrario, los países en vías de desarrollo eliminan la basura en botaderos de basura a cielo abierto en un porcentaje del 93% (Kaza et al., 2018).

En Latinoamérica y el Caribe la generación anual de residuos sólidos es 231 millones de toneladas, representando el 11% de la producción total de los desechos en el mundo (Kaza et al., 2018).

En el Ecuador, en el marco de las competencias exclusivas de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, en materia ambiental se establecen las siguientes facultades que se encuentran estipuladas en la Constitución de la República del Ecuador. Art 264, literal 4 y en el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD). Art 55, literal d, en donde textualmente manifiesta: *“Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezcan la ley”*, de la misma manera en el Código Orgánico del Ambiente, Art 27 señala

que es competencia de los GADs cantonales “*Elaborar planes, programas y proyectos para los sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos o desechos sólidos*”.

En este contexto, al ser la gestión de residuos sólidos competencia de los Gobiernos Autónomos Descentralizados cantonales, el modelo de gestión que se maneja a nivel país se realiza de tres maneras: Municipios con Gestión Directa corresponde al 72,9%, Municipios a través de Empresas Municipales representan el 6,3% y Municipios Mancomunados el 20,8% (AME & INEC, 2016).

La presente investigación tiene su área de estudio en el cantón Naranjal, ubicado al sur este de la provincia del Guayas. La municipalidad del cantón Naranjal gestiona de manera directa los desechos sólidos, la generación promedio per cápita de residuos corresponde a 0,756 kg/hab.día, y se estima que diariamente ingresa al relleno sanitario un total de 30 toneladas de basura, de los cuales el 70% es materia orgánica (Unidad de Gestión Ambiental Municipal de Naranjal, 2020).

En el cantón Naranjal según el último censo del INEC 2010, la eliminación de la basura en un 69,72% se realiza a través del carro recolector, 26,98% la queman, 2,32% es arrojado a terrenos baldíos o quebradas y el 0,98% lo entierran.

En base al diagnóstico realizado sobre la gestión de residuos sólidos del cantón Naranjal, detallado anteriormente por componentes, se ha podido identificar la problemática que acoge a la ciudadanía.

La mayoría de los problemas ambientales globales tienen una relación directa con el crecimiento demográfico, según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas estiman que la población mundial del año 2019 es de 7 700 millones de habitantes, además según sus proyecciones indican que la población mundial podría incrementarse a 8 500 millones y 9 700 millones de habitantes en los años 2030 y 2050 respectivamente.

La población del Ecuador en el año 2010 fue de 14,5 millones de habitantes (INEC, 2010) y se estima que para el año 2020 existen 17.5 millones de habitantes, según la proyección poblacional realizada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. De la misma manera el crecimiento poblacional en los diferentes cantones del Ecuador ha sido progresivo, tal es el caso del cantón Naranjal que en el año 2010 contaba con 69 000 habitantes (INEC, 2010), y según las proyecciones realizadas para el año 2020 la población asciende a 96 047 habitantes (IERSE et al., 2020). Al analizar el crecimiento poblacional se evidencia que con el paso del tiempo el consumo de materia, energía y la explotación de los recursos naturales va a ser mayor debido a que las necesidades a satisfacer se incrementan; esto implica a su vez inevitablemente una mayor generación de residuos sólidos que trae consigo problemas ambientales y de salud pública.

Las enfermedades más comunes que existen en el cantón Naranjal tanto en el área urbana como en la parte rural son: Amebiasis, dengue, paludismo, diarreas, gastroenteritis y bronquitis (GAD Municipal del cantón Naranjal, 2014). De estas enfermedades las que tienen una relación directa con

la mala disposición de los residuos sólidos es la malaria y el dengue, debido a que aumentan los posibles criaderos de mosquitos (presencia de botellas, llantas, latas, cascarnes de coco y otros al aire libre) que transmiten estas enfermedades como es: el *Aedes aegypti* y el *Anopheles gambiae* (Escalona, 2014).

El 68,62% de la basura lo eliminan por el carro recolector los ciudadanos del cantón Naranjal, dicha cantidad debería considerarse como un indicador para mejorar la cobertura de recolección de la basura por parte de la municipalidad, es necesario indicar que la ruta de recolección de la basura no ha sido sometida a una evaluación técnica, donde se analicen distancias, tiempos, costos y se estime la generación de gases contaminantes al ambiente.

Se estima que diariamente al relleno sanitario ingresan 30 toneladas de basura que corresponde el 68,62% de la totalidad de basura producida (IERSE et al., 2020), por tal razón se estaría evidenciando que diariamente 16 toneladas de basura no son llevadas al relleno sanitario (480 ton/mes), sino son incinerados o eliminados en quebradas, ríos o terrenos baldíos causando daños en algunos casos irreparables para el ambiente y que tarde o temprano afecta a la salud de sus habitantes.

Al conocer los impactos ambientales, sociales y económicos producidos por el mal manejo de los residuos en el cantón Naranjal, es necesario buscar estrategias que permitan mejorar el sistema integral de la gestión de residuos sólidos. De esta manera, en este estudio se ha priorizado abordar la recolección de los residuos sólidos domésticos de una manera diferenciada en el cantón Naranjal, partiendo desde la separación de la basura desde la fuente por parte de la ciudadanía. El desarrollar esta actividad eficientemente, permite tratar la basura en el relleno sanitario ya que ingresaría de una manera separada la materia orgánica e inorgánica, aprovechando la infraestructura del relleno sanitario y prolongando la vida útil del mismo.

El sistema de recolección de residuos sólidos domiciliarios es, en términos generales el transportar los residuos sólidos desde su almacenamiento en la fuente generadora (domicilios), hacia el vehículo recolector y posteriormente trasladarlos hasta el sitio de disposición final o a la estación de transferencia (Cusco & Picón, 2015). La recolección y transporte de los desechos sólidos implica mínimo 2/3 del costo total de la gestión integral de residuos sólidos, y se le considera como un tema transversal que puede vincularse directa o indirectamente con 10 de los 17 objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas (Hannan et al., 2020). Por tal razón se han desarrollado investigaciones en diferentes ciudades y países, las más relevantes y actuales se describen a continuación brevemente.

En Irbid, Jordania, el sistema actual para recolectar y transportar los residuos sólidos carece de planes de enrutamiento y más bien depende únicamente de las experiencias de los conductores de los camiones. En este estudio se utiliza las herramientas del Sistema de Información Geográfica para

simular redes y optimizar las rutas. Los resultados del modelo muestran una reducción en la distancia del viaje de 2 880,2m en cada ruta y el porcentaje de contenedores abandonados se reduce del 25% al 0%. El estudio se desarrolló en el distrito de Al-Nuzha, como estudio piloto de tres sub áreas (Hatamleh et al., 2019).

Un estudio similar se realizó en el sub distrito de Faith de Estambul, Turquía. Las rutas de recolección de residuos sólidos se optimizaron a partir de la herramienta ArcMap Network Analysis, Vehicle Route Problem. Los resultados del estudio permiten obtener incrementos económicos en la recolección y transporte de los residuos y además la longitud de la ruta optimizada se redujo en 674 km, reduciendo también los tiempos de recolección, por lo que se consideran como estrategias que las autoridades deben considerar dado a su alto grado de factibilidad (Demir et al., 2017)

En un estudio realizado en Malasia, en la ciudad de Ipoh, se investigó la optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos utilizando un Sistema de Información Geográfico. Se seleccionaron cinco áreas diferentes para el desarrollo del estudio, el objetivo fue reducir la longitud de las rutas actuales y por ende el tiempo necesario para completar la recolección. Los resultados obtenidos fueron una reducción de hasta el 22% de longitud de las rutas y una reducción de tiempo de 6 934 segundos a 4 602 segundos (Malakahmad et al., 2014).

La planificación de recolección selectiva de residuos sólidos, fue un estudio desarrollado en Brasil, en la ciudad de Río de Janeiro. Para el diseño de rutas se utilizó un Sistema de Información Geográfica, al realizar una recolección diferenciada en 1 764 establecimientos comerciales, las rutas muestran un aumento en el kilometraje de recolección; sin embargo, el costo total por cliente al realizar gradualmente la separación de residuos reciclables se redujo en un 45,4% del costo total de recolección. Por lo tanto, si bien la planificación e implementación de las rutas es más complejo, el beneficio económico y ambiental para la ciudad y empresas privadas es muy significativo (Santana et al., 2019).

A nivel país también se ha desarrollado investigaciones referentes a la recolección y transporte de los residuos sólidos domiciliarios, tal es el caso del estudio realizado en la provincia de Pichincha, cantón Cayambe, en donde se determinó que las rutas de recolección de residuos sólidos en la mayoría de los casos han sido creadas únicamente de forma intuitiva y no se ha realizado el estudio técnico respectivo. En este marco, se utilizó el software Arcgis 10.3 aplicando la herramienta Network Analyst – Vehicle Routing Problem para modelar las rutas de recolección diferenciadas para materia orgánica e inorgánica. Los resultados obtenidos son favorables, tanto en la longitud de las rutas y el consumo de combustible existe una reducción del 25% y 23% en los residuos orgánicos e inorgánicos respectivamente, en el tiempo de recolección existe una disminución del 6% y 15% (Lucero & Viñamagua, 2016).

En la ciudad de Cuenca, los principales problemas que se han identificado con respecto a la recolección de RSM son: Las rutas existentes no han sido sometidas a procesos de optimización y no cuentan con recomendaciones básicas de la teoría de recolección. Los camiones recolectores son sobrecargados, excediendo su capacidad de carga, lo que lleva a un desgaste prematuro de neumáticos y deterioro en el pavimento por donde circulan. La metodología planteada para mejorar este servicio, con base en el uso de herramienta SIG para modelar las diferentes rutas en zonas preestablecidas. Los resultados obtenidos en el estudio muestran que con las rutas optimizadas la distancia recorrida es mayor, pero el tiempo empleado es menor, obteniendo el 43% de reducción, se logra un ahorro de combustible anual del 14%, y la disminución de gases contaminantes en un 48% respecto a las emisiones de CH₄ y una disminución del 14% de NO₂ en un año (Cusco & Picón, 2015).

En todos y cada uno de los casos de estudio analizados, se observa que existe beneficios económicos, sociales y ambientales al optimizar las rutas de recolección domiciliarias en las diferentes ciudades. Mediante trabajo de campo se ha determinado que las rutas de recolección del cantón Naranjal no han sido diseñadas de manera técnica, por tal razón en la presente investigación se han planteado alcanzar los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo General

- Contribuir al manejo sostenible de residuos sólidos domiciliarios en el cantón Naranjal a través de la optimización de rutas y frecuencias de recolección en el área urbana y rural.

1.2. Objetivos Específicos

- Determinar las rutas de recolección existentes de residuos sólidos domiciliarios en el cantón Naranjal.
- Realizar un análisis de redes en función de la capacidad de carga del camión recolector, determinados por la densidad poblacional barrial del cantón Naranjal.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos.
- Concientizar a la ciudadanía del cantón Naranjal a separar la basura desde la fuente.

2. CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de Estudio

El cantón Naranjal, está dentro de la región Litoral o Costa, situado al sur este de la provincia del Guayas al pie de la Cordillera Andina, territorialmente está conformado por una parroquia urbana y cuatro parroquias rurales, la superficie del cantón es de 170 155,6 ha (CONALI, 2019) y la población estimada es de 96 047 habitantes (IERSE et al., 2020).

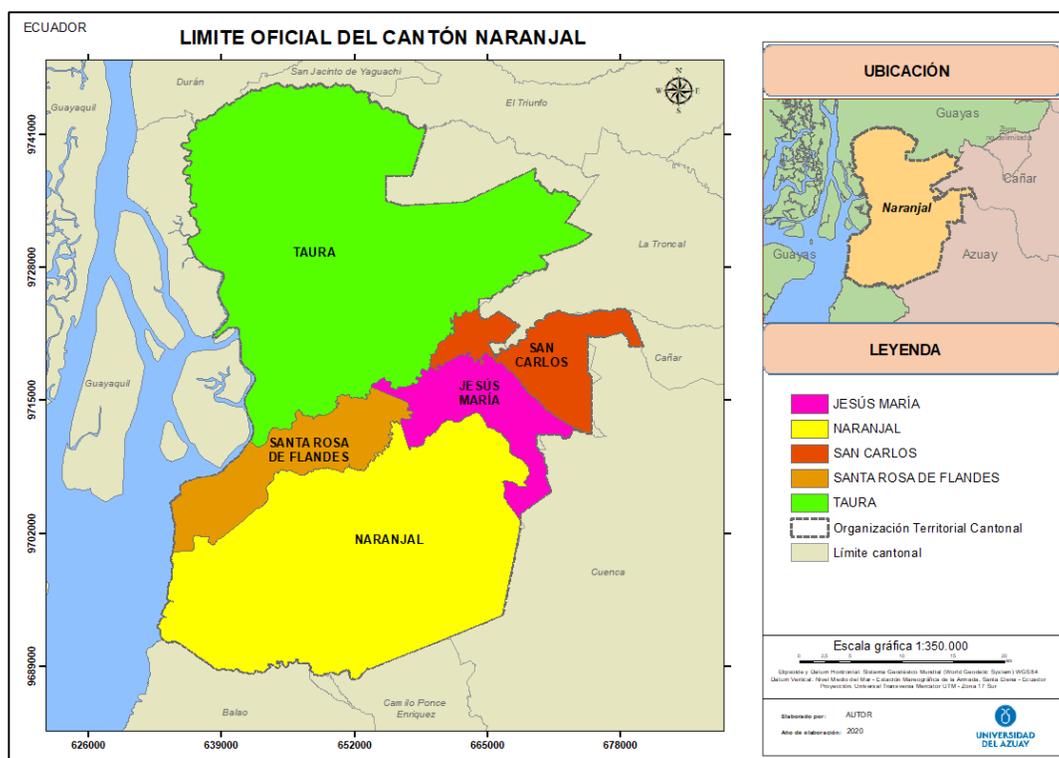


Figura 1.- Límites oficiales del cantón Naranjal

Fuente: Limite oficial del cantón Naranjal - Secretaria Técnica del Comité Nacional de Límites Internos – (CONALI, 2019).

El cantón Naranjal de acuerdo a su división política administrativa, limita con sus circunvecinos: Al Norte, con los cantones Durán, el Triunfo y San Jacinto de Yaguachi pertenecientes a la provincia del Guayas; al Sur con el cantón Balao y el cantón Camilo Ponce Enríquez de la provincia del Guayas y Azuay respectivamente; al Este con los cantones de Cuenca de la provincia del Azuay, Cañar y La Troncal de la provincia del Cañar, y al Oeste con el cantón Guayaquil y el río Guayas (CONALI, 2019).

El cantón Naranjal se caracteriza por ser altamente productivo, si se analiza la cobertura y uso de suelo, se observa que en el cantón predomina los suelos productivos con un porcentaje del 61%, a diferencia de los suelos de protección que ocupan el 39% de superficie del territorio cantonal. Los suelos de producción se subdividen en: arroz 10%, caña de azúcar 12%, camaronera 11%, cacao

cantonal, siendo los componentes que integran el sistema de recolección de residuos sólidos domiciliarios. El trabajo de campo consistió en el levantamiento de datos in situ de las 24 rutas de recolección existentes tanto en la cabecera cantonal como en las parroquias rurales del cantón Naranjal. Después se procedió a zonificar las nuevas rutas de recolección basadas en la capacidad de carga del camión recolector, densidad poblacional, producción per cápita de desechos sólidos, frecuencia de recolección, contenido de humedad y peso específico de los residuos. Posteriormente se realizó la optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios mediante herramientas SIG. Se analizaron las rutas de recolección existentes y las propuestas entre sí con la finalidad de obtener rutas más eficientes que permitan optimizar tiempo y recursos, y por último se realizó una revisión bibliográfica sobre la importancia y necesidad de separar los residuos sólidos desde la fuente generadora.

2.2. Asentamientos humanos del cantón Naranjal.

Las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios son dinámicas, ya que varían a lo largo del tiempo debido al crecimiento poblacional y a la generación per cápita de desechos principalmente. Por tal razón, es necesario determinar la población en cada una de las parroquias del cantón Naranjal en donde se brinda el servicio de recolección.

En la Tabla 1, se indica la superficie de las parroquias del cantón Naranjal y la población del año 2010 y la proyectada para el año 2020.

Parroquia	Población (INEC, 2010)	Población (IERSE, 2020)	Superficie (ha)
Naranjal	40 349	57 328	60 145,5
Jesús María	6 996	8 667	10 727,5
San Carlos	7 688	8 193	10 389,6
Santa Rosa de Flandes	5 444	8 033	13 149,9
Taura	9 958	13 826	75 743,1

Fuente: (INEC, 2010) (IERSE,2020).

Como se observa en la tabla anterior, la población cantonal del año 2010 es de 70 435 habitantes, y en el año 2020 se estima que la población ascienda a 96 047 habitantes, siendo la parroquia Naranjal la más poblada y la parroquia Santa Rosa de Flandes la que menos habitantes posee. En lo referente a superficie, la parroquia Taura es la más grande ocupando el 44,51% de la totalidad del territorio.

La distribución de los asentamientos humanos en el cantón Naranjal, indican que la población se localiza mayoritariamente en la cabecera urbana cantonal, teniendo un grado de jerarquía 1, seguido por la población de las cabeceras parroquiales rurales que presentan un grado de jerarquía 2, y a medida que se reduce la población de los diferentes asentamientos humanos la jerarquía también se reduce a 3, 4 y 5 respectivamente.

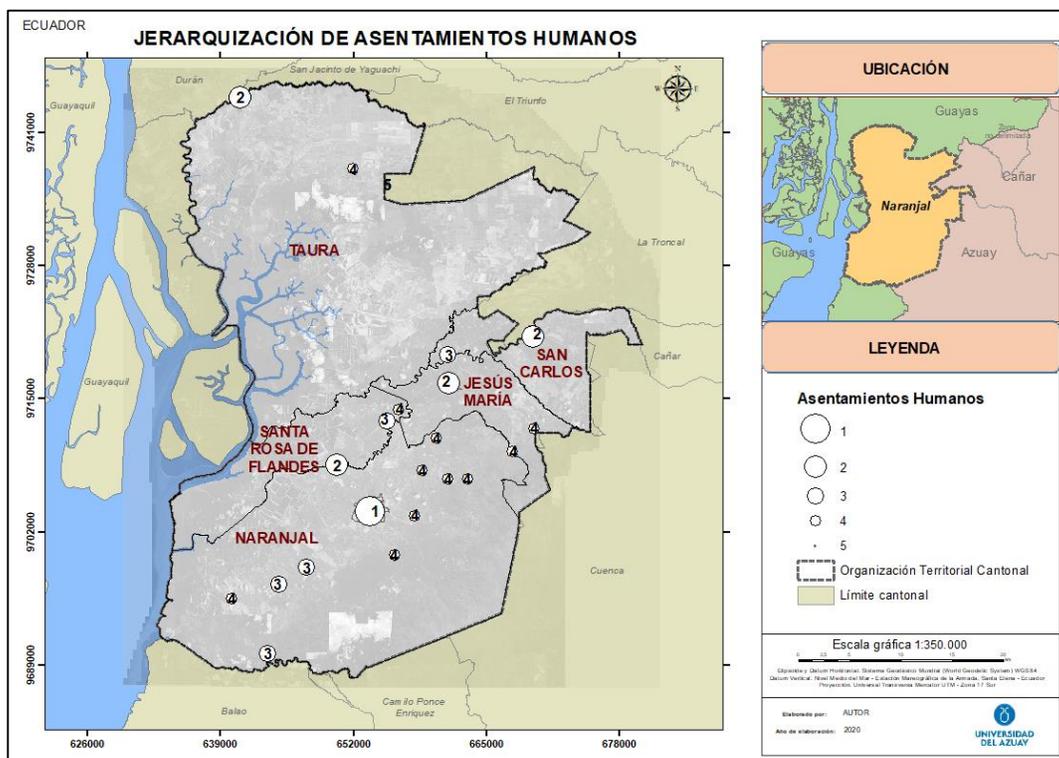


Figura 3.- Jerarquización de Asentamientos Humanos

Fuente. (INEC, 2010)

En la tabla 2, se muestra los principales asentamientos humanos del cantón Naranjal, el número de habitantes y el grado de jerarquización que posee.

Localidad	Asentamientos Humanos	Población	Jerarquía
Naranjal	Naranjal	28 487	1
	Jaime Roldós	1 695	3
	Coop. 6 de Julio	982	3
	Coop. Nueva Unión Campesina	946	3
	La Delicia	422	4
	Recinto Flor Y Selva	325	4
	Paují	219	4
	Hacienda Balao Chico	213	4
	Coop. Luz y Vida Campesina	184	4
	Coop. 11 De Agosto	122	4
	Coop. San Jacinto	111	4
Santa Rosa de Flandes	Santa Rosa De Flandes	592	2
	Ciudadela Villa Nueva	2 052	3

	Cali Cando	365	4
Jesús María	Jesús María	2 412	2
	Aguas Calientes	302	4
	Coop. 26 De Marzo	201	4
San Carlos	San Carlos	1 472	2
	Puerto Inca	1 551	3
Taura	Taura	1 260	2
	Recinto Tierras Al Campesino	296	4
Asentamientos menores		≥100	5

Fuente: (INEC, 2010).

Si bien, el recinto Jaime Roldós, la ciudadela Villa Nueva y Puerto Inca son asentamientos humanos que se ha caracterizado con jerarquía 3; sin embargo, es importante indicar que cada uno de los lugares antes mencionados tienen una población mayor a la cabecera parroquial de Santa Rosa de Flandes y Taura, superando los 1 500 habitantes.

2.3. Información técnica y cartográfica que conforma el sistema de recolección de RSD

2.3.1 Red vial cantonal de Naranjal

La red vial que conecta a los diferentes asentamientos humanos del cantón Naranjal, está compuesta por más de 2 125,8 km, siendo la vía principal la troncal de la Costa (E25) y las colectoras E58 y E582 de la Sierra (MTO, 2019).

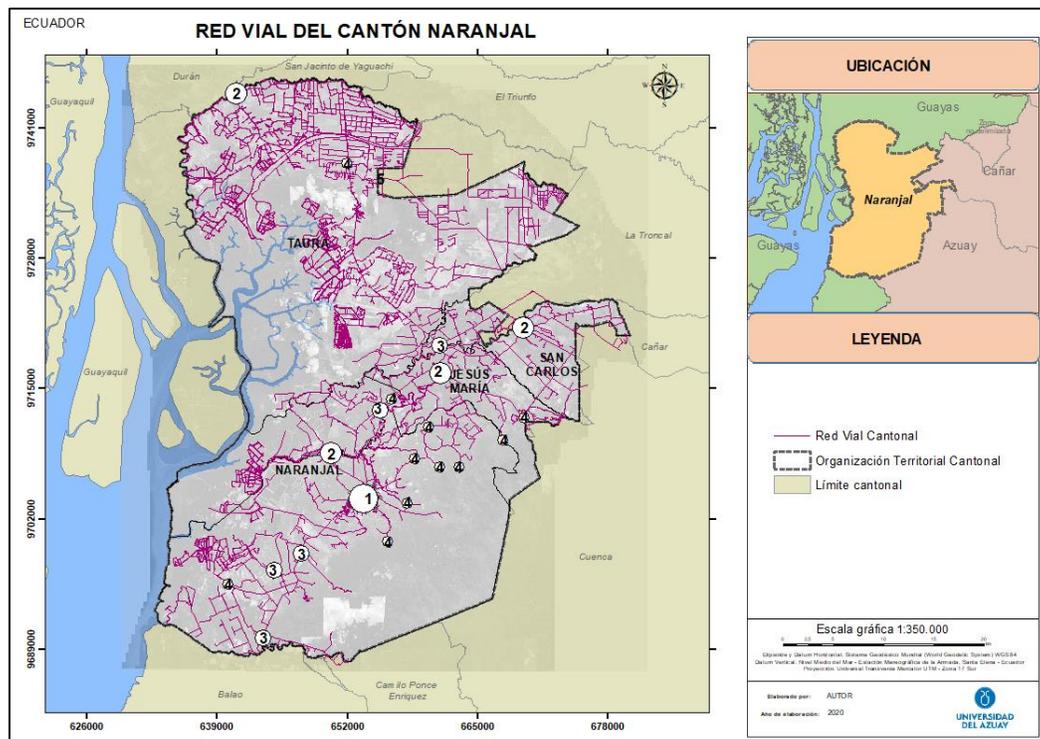


Figura 4.- Red Vial del cantón Naranjal

Fuente: (MTO, 2019)

La digitalización y corrección de las vías se realizó en base a la ortofoto del cantón Naranjal del año 2020, obtenida de manera libre en el sitio web SAS Planet. La escala en la que se digitalizó fue a 1:5 000 y la información se almacenó en formato shape. El procesamiento de los datos se realizó mediante el programa ArcGIS 10.3.

2.3.2 Características y georreferenciación del sitio de disposición final.

El emplazamiento del actual relleno sanitario se realizó en el año 2012, la superficie es de 5 hectáreas y se encuentra a 5km del centro urbano de Naranjal en la hacienda La Fátima. El relleno sanitario cuenta con infraestructura para obtener compost, también dispone de 20 celdas con un área de 400m² para lombricultura, además su instalación posee una superficie acondicionada para realizar la separación y reciclaje de materiales como cartón, plástico y vidrio (GAD Municipal del cantón Naranjal, 2014).

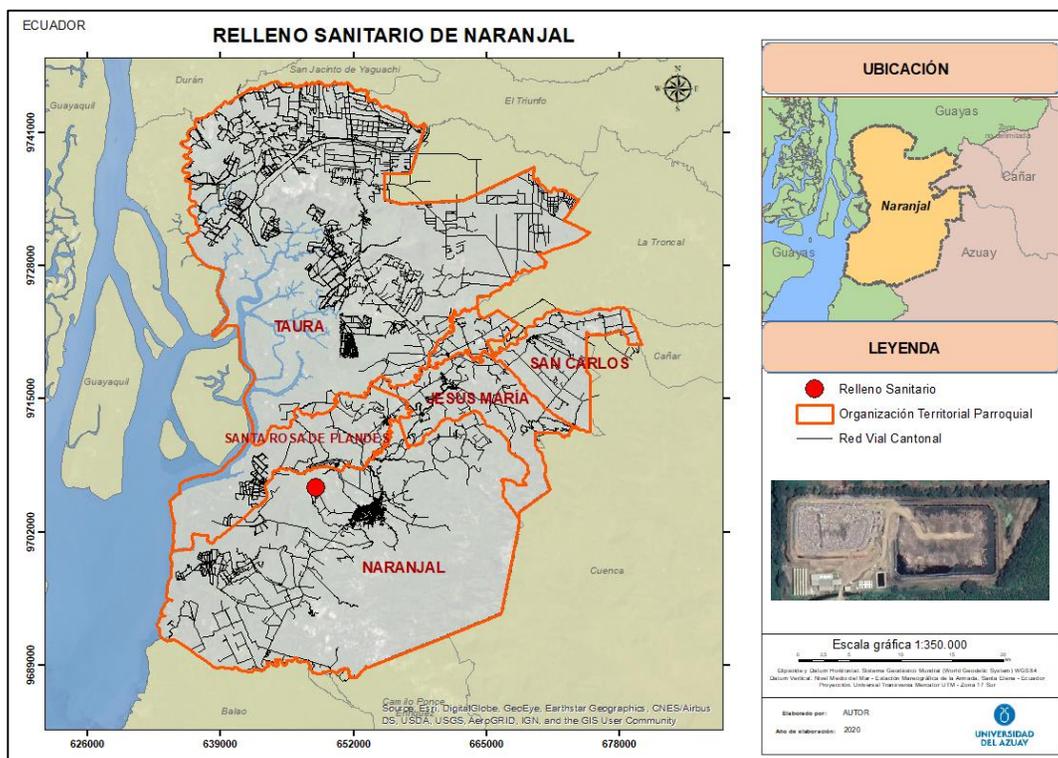


Figura 5.- Relleno Sanitario del cantón Naranjal

Fuente. (Departamento de Barrido y Recolección, 2020)

Es importante mencionar que el sitio de disposición final no ha funcionado de una manera eficiente, las pruebas de suelo realizadas en el interior y exterior del actual relleno sanitario evidenciaron que la mayoría de ellos presentan una alta retención de agua, lo que genera inconvenientes respecto a los aspectos técnicos que engloba su ubicación, siendo el principal problema la presencia de lixiviados (Gordillo, 2019), además al encontrarse a 615m del río Bucay el riesgo de contaminación se incrementa drásticamente. En el diseño definitivo del relleno sanitario se proyectó una vida útil de 20 años; sin embargo, actualmente ya ha cumplido la mitad de su vida útil y se contabiliza 8 años desde su emplazamiento, a esta problemática se suma que la ciudadanía de Naranjal no separa la basura desde la fuente, razón por la cual no se puede dar ningún tipo de tratamiento a los desechos, lo que le convierte en un botadero de basura controlado.

Mediante la herramienta Nueva Asignación de Ubicación (*New Location Allocation*) de Network Analyst, se pudo identificar la distancia a la que se encuentran los sectores censales urbanos del relleno sanitario, información indispensable para establecer las nuevas rutas de recolección y la frecuencia de las mismas.

2.3.3 Equipamiento para la recolección y transporte de los RSD

El componente de la gestión integral de residuos sólidos que mayor demanda de recursos mantiene es el que corresponde a la recolección y transporte de los residuos sólidos, al analizar los procesos

del GAD municipal de Naranjal en el portal de compras públicas, se evidencia que en la última década se ha adquirido 2 camiones recolectores en el año 2011 y 2013 respectivamente. Sin embargo, el número de recolectores deben tener una relación directa con el número de habitantes de las diferentes ciudades, en este caso según la proyección poblacional del cantón Naranjal existe un incremento de 25 612 habitantes desde el año 2010 hasta la actualidad. En la tabla 3, se muestra el equipamiento de recolección y transporte de los RSD con las que cuenta el cantón Naranjal.

Tabla 3. Equipamiento de recolección y transporte de los RSD.			
Vehículo Recolector	Placa	Capacidad	Personal
Camión recolector 1	GMA-1231	18yd ³	1 Conductor
			2 operadores
Camión recolector 2	GMA-1232	18yd ³	1 Conductor
			2 operadores
Camión recolector 3	GMA-1228	20yd ³	1 Conductor
			2 operadores
Camión recolector 4	GMA-1009	21yd ³	1 Conductor
			2 operadores
Volqueta	GMA-1019	20yd ³	1 Conductor
			2 operadores

Fuente: (Departamento de Barrido y Recolección, 2020)

Los 4 camiones recolectores y la volqueta una vez que han concluido con las rutas de recolección asignadas, son llevadas de regreso al lugar de partida que es el patio de maquinarias del GAD municipal, ubicado en la Av. Alberto Onofre y la calle Higuierón.

2.3.4 Medidores de energía eléctrica de uso residencial

Las viviendas que forman parte de la recolección de residuos sólidos, se determinaron en función de la georreferenciación de los medidores de luz eléctrica de uso residencial del cantón. El número total de medidores en las 5 parroquias es de 20 320 (CNEL, 2019). El recabar esta información fue de mucha utilidad para el desarrollo de la presente investigación debido a que en Naranjal el sistema de cobro por el servicio de recolección se realiza a través de la planilla de luz eléctrica, por ende, el tener georreferenciado implica conocer y priorizar las viviendas a las que hay que dotar de este servicio. Además, esta variable nos permite identificar la densidad poblacional que existe en el área urbana y rural del cantón, y conocer hacia donde se expanden las ciudades.

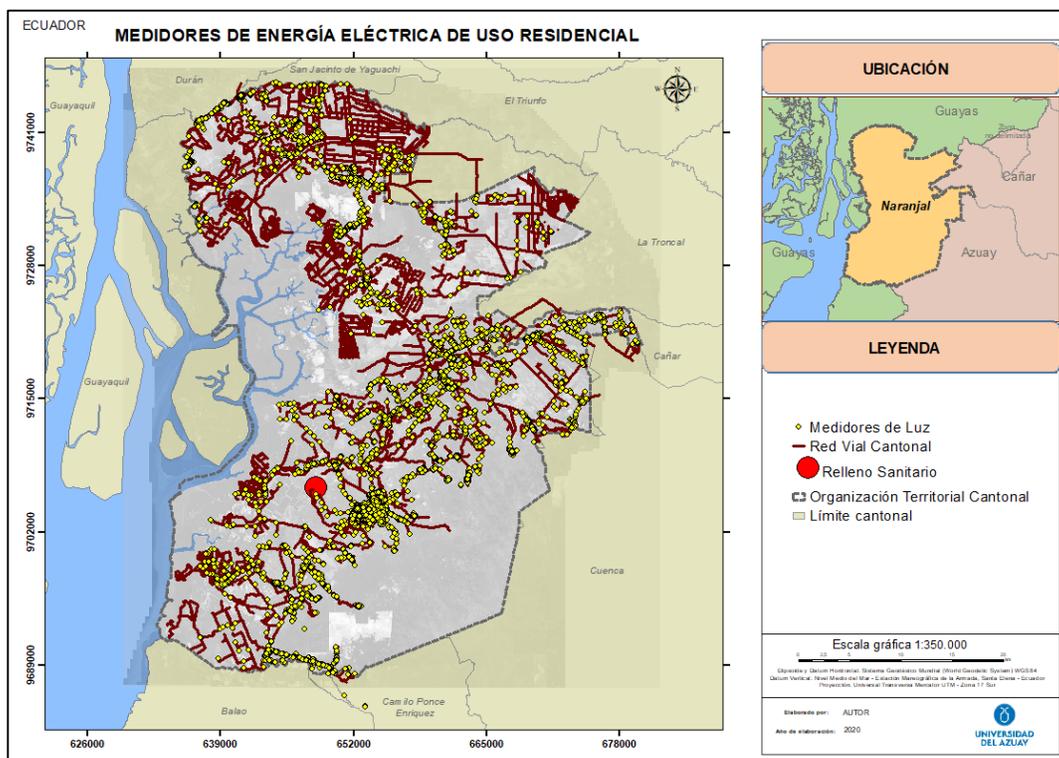


Figura 6.- Medidores de energía eléctrica de uso residencial

Fuente: (CNEL, 2019)

2.4 Levantamiento de información de las rutas de recolección existentes

El GAD Municipal del cantón Naranjal cuenta con 24 rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios para dotar de este servicio a la ciudadanía tanto en el área urbana como en el área rural. En la cabecera cantonal existen 14 rutas de recolección y en el área rural 10. La frecuencia de cada una de las rutas varía significativamente, existe una priorización en la cabecera urbano cantonal. En la tabla 4 y 5 se muestran el horario y frecuencia de las rutas de recolección en el área urbana y rural respectivamente.

Nro.	Rutas	Días						
		Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom
1	Centro	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
2	Cementerio	Yellow				Blue		
3	Tamariz	Yellow			Yellow	Blue		
4	Nueva Naranjal	Blue						
5	Panamericana Sur	Blue				Blue		
6	San Marino		2 carros		Blue			
7	Nueva Corona						Yellow	

8	Ávila de Barba							
9	Torres Gemelas							
10	Zona Verde	2 carros						
11	Cartonera							
12	San Jorge							
13	Ruta Nocturna 1							
14	Ruta Nocturna 2							
Simbología		Turno						
		Diurno						
		Vespertino						
		Nocturno						

Fuente. (Departamento de recolección y barrido, 2020).

Al analizar las 14 rutas de recolección de residuos sólidos de la cabecera cantonal, se observa que la frecuencia de recolección en el centro de la ciudad es diaria, y se realiza a partir de tres rutas en horario diurno y nocturno, a diferencia del sector nueva Naranjal en donde la recolección se realiza únicamente una vez por semana. Sin embargo, en 10 de las 14 zonas de la cabecera cantonal la recolección se desarrolla dos veces por semana, siendo la frecuencia de recolección predominante. El horario de recolección varía en función de la zona y el día, existiendo turnos diurnos, vespertinos y nocturnos.

Nro.	Rutas	Días						
		Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom
1	Km. 15							
2	Taura							
3	La Delicia							
4	6 de Julio y 7 Cascadas							
5	La Roldós							
6	Puerto Inca							
7	PioPio, Cruce, Jesús M							
8	San Carlos							
9	Villa Nueva y Calicando							
10	Santa Rosa							

Fuente. (Departamento de recolección y barrido, 2020).

La frecuencia de recolección predominante en las 10 rutas de recolección del área rural de Naranjal es la que se realiza una vez por semana y corresponde a 6 rutas de recolección de RSD, y en las que se realiza dos veces por semana corresponde a 4 rutas. El recolectar una sola vez por semana

los residuos sólidos, imposibilita que la ciudadanía pueda separar los desechos y a su vez impide que se dé algún tipo de tratamiento en el sitio de disposición final.

2.4.1 Georreferenciación y digitalización de las rutas existentes

Para determinar las rutas de recolección, fue necesario acompañar a los recolectores de residuos sólidos en los diferentes recorridos diarios tanto en la cabecera cantonal como en el área rural de Naranjal.

En el levantamiento de datos se utilizó la aplicación GPS para móvil "Geo Tracker". Esta es una aplicación que se encuentra disponible en la web, es de navegación gratuita para teléfonos móviles que utilizan el sistema operativo Android. Geo Tracker permite grabar segmentos lineales sin estar conectados a internet, además se puede manipular los datos fácilmente, almacenarlos y luego poder exportar la información en formato KML, denominado Keyhole Markup Language. El datum utilizado en el estudio fue el WGS84 (World Geodetic System 1984), y la proyección en la que se trabajó es la Universal Transverse Mercator, siendo una proyección tipo cilíndrica.

Para configurar la aplicación en el teléfono móvil, se debe dirigir a ajustes, ajustes de registro, perfil de registro y seleccionar la opción preciso. Para configurar las unidades, se dirige a ajustes de pantalla, unidades de medida y se modifica de millas a km.

La información que se levantó mediante la aplicación, corresponde al microruteo que realiza el camión recolector en zonas predeterminadas, es decir los datos se tomaron desde el primer punto de recolección de cada ruta hasta el último punto de recolección o hasta cuando el camión estuviese lleno. De esta manera se pudo obtener las 24 rutas de recolección existentes en el cantón.

2.4.1.1 Transformación de formato KML a formato shp

El formato KML, utiliza un tipo de variante XML para administrar datos geoespaciales. Este tipo de formato presenta compatibilidad para navegar con aplicaciones como Google Earth, además admite funciones útiles como rutas de acceso, marcas de posición y puede editarse con cualquier editor de texto. A continuación, se visualiza el archivo KML, de la ruta de recolección Nocturna Centro 1 de la cabecera cantonal.



Figura 7.- Formato KML. Ruta de recolección nocturna 1

Fuente: (Departamento de recolección y barrido, 2020)

Cada una de las 24 rutas de recolección se guardaron de esta manera, y se pudo determinar la hora en la que se inicia la ruta de recolección y la hora en la que finaliza.

Para la conversión del formato KML a shp se utilizó la herramienta "Conversion Tools" del programa ArcGis. Para ello, seleccionamos Conversión Tools, From KML, KML to layer, y elegimos la ruta de recolección que queremos convertir. La transformación a shp se realiza para visualizar las rutas actuales de recolección de RSD que realiza la municipalidad y posteriormente permitirá establecer comparaciones con las rutas propuestas debido a que se puede calcular la longitud total de cada ruta y la población a la cual se dota del servicio de recolección de RSD.

2.5 Propuesta de zonificación de las Rutas de Recolección de RSD

La optimización de la ruta de recolección de los residuos sólidos domiciliarios se relaciona directamente con las zonas establecidas en donde los vehículos recolectores van a realizar el microruteo, esta zonificación debe poseer características homogéneas, como la generación de residuos, topografía, límites geográficos e instalaciones urbanas (Lucero & Viñamagua, 2016); sin embargo, en el cantón Naranjal la partición de las zonas se ha realizado de manera intuitiva y no se ha considerado los aspectos técnicos que conlleva esta asignación, por tal razón a continuación se describen todos los criterios que se han priorizado en este estudio para zonificar las rutas de recolección tanto en el área urbana como en el área rural.

2.5.1 Peso Específico

Se define como el peso de un material por unidad de volumen (generalmente kg/m^3). El peso específico de los residuos depositados depende del grado de compactación, vinculado al lugar donde

se realice el análisis, sea este en una bolsa de basura, en un contenedor, en el camión recolector o en el relleno sanitario (Ríos, 2009).

El peso específico de los residuos en los países en vías de desarrollo alcanza valores de 125 a 250 kg/m³ cuando se mide de una forma suelta, 375 a 550 kg/m³ en el camión recolector y de 700 a 1 000 kg/m³ cuando se compacta en los rellenos sanitarios (Acurio et al., 2008). El peso específico de los residuos sólidos domiciliarios en el cantón Naranjal es de 232,07 kg/m³, valor estimado en los estudios del diseño definitivo del relleno sanitario (GADM de Naranjal, 2009).

2.5.2 Contenido de Humedad

Es la relación que existe entre el peso de la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada a una temperatura de 105 – 110°C. En América Latina y el Caribe el contenido de humedad de los residuos sólidos es mayor que en los países desarrollados, alcanzando valores que van del 35 al 55%. La humedad de los RSD depende de varios factores como la composición de los residuos, condiciones ambientales, estaciones del año y condiciones climáticas (Acurio et al., 2008). Los RSD en el cantón Naranjal están constituidos en un 70% de materia orgánica, y posee un contenido de humedad del 35 al 50% (GADM de Naranjal, 2009).

2.5.3 Capacidad de Carga del vehículo recolector

Es la cantidad de residuos sólidos que puede caber dentro del camión recolector. El factor de compactación que presenta este tipo de vehículos generalmente es de 3. Como ya se ha mencionado anteriormente, Naranjal cuenta con 4 camiones recolectores y una volqueta para brindar este servicio y la capacidad es de 18y³, 18y³, 20y³ y 21y³ y 20y³ respectivamente.

La composición de materia orgánica en los residuos sólidos de Naranjal es del 70%, y el contenido de humedad que estos materiales tienen es del 35 al 50%, siendo un factor limitante a la hora de la recolección de los RSD, ya que al compactar la basura se genera lixiviado (líquido proveniente de la basura), y a medida que se recolecta más basura hasta el límite de capacidad, el derrame de lixiviado también va a incrementarse, lo que genera contaminación y malos olores en las rutas asignadas.

El peso máximo que puede soportar un camión recolector se calculó a partir de la siguiente fórmula:

*Peso (Tn) = capacidad del recolector * peso específico * factor de compactación*

$$Peso (Tn) = 18y^3 * \frac{232,07kg}{m^3} * 3 = 9,58Tn$$

Una vez que se ha determinado el peso máximo de residuos sólidos que puede transportar un camión recolector, se puede estimar cuántos habitantes son los que generan esta cantidad de desechos.

*Nro.habitantes = peso total/(generación per capita * días)*

$$Nro. habitantes = \frac{9580kg}{\frac{0,756kg}{hab * día} * 3días} = 4\ 224 habitantes$$

En el ejercicio planteado se analiza que las rutas de recolección diferenciadas (materia orgánica e inorgánica) puedan tener una frecuencia de 3/7, siendo el día crítico cuando los residuos sólidos se acumulan por tres días. La frecuencia no puede ser mayor debido a que el GAD municipal de Naranjal cuenta únicamente con 4 camiones recolectores y una volqueta para abastecer a 20 320 viviendas, sin embargo reducir la frecuencia de recolección es complejo debido principalmente a las condiciones climáticas del cantón, teniendo una temperatura media de 25,3°C lo que provoca el incremento de la actividad bacteriana y la descomposición biológica de la materia.

Mediante proyecciones demográficas, se ha estimado un promedio de 4 personas que habitan por vivienda en el cantón Naranjal, asumiendo que 4 224 habitantes llenan con sus desechos un camión recolector, aproximadamente 1 056 viviendas conforman cada zona de recolección de los RSD en el cantón Naranjal.

2.6 Procesamiento de Información

2.6.1 Edición de la vialidad

En la red vial del cantón Naranjal digitalizada y corregida (figura 3), se debe agregar los atributos correspondientes con la finalidad de generar una red que permita modelar las rutas de recolección optimizadas del cantón Naranjal. La tabla 6 muestra los campos base para el análisis de redes.

Campo	Tipo	Precisión	Escala
Nombre	Text	50	
Categoría	Text	20	
Oneway	Text	20	
Meters	Double	20	2
Hierarchy	Double	20	2
Minutes	Double	20	2
Velocidad	Double	20	2

Fuente: (CUSCO & PICÓN, 2015)

- Nombre: nombre de la calle
- Categoría: si es carretera, avenida o calle
- Oneway: indica el sentido de circulación vial, unidireccional o doble sentido
- Meters: indica la distancia del segmento desplazado en kilómetros, metros, etc.
- Hierarchy: asignación de valores a las diferentes categorías de vías
- Minutes: representa los minutos de desplazamiento realizado

- Velocidad: indica los límites de velocidad con la que se puede transitar en determinado sector de la ciudad

2.6.2 Creación del conjunto de datos de red vial (Network Dataset)

Los datasets son apropiados para modelar redes de transporte. Se crean a partir de entidades de origen simples como puntos y líneas, además almacena la conectividad de las entidades de origen mientras se desarrolla el análisis de redes (ESRI, 2013).

El dataset de red se creó a partir de un shape de líneas (vialidad). Para aquello se selecciona *ArcCatalog*, buscar el shape que contiene la red vial, clic derecho y seleccionar la opción *New Network Dataset* y se le asigna un nombre. Se procede a modelar los giros escogiendo la opción “YES”, en conectividad se debe escoger la opción *End Point* y dar clic en siguiente para aceptar las configuraciones por defecto en las entidades de elevación.

En la siguiente ventana se debe agregar cada una de los atributos que se establecieron previamente en el shape de vialidad como son: categoría, oneway, meters, hierarchy, minutes y velocidad. Para lo cual se da clic en *Add*, en la opción *Name* se coloca el nombre del atributo, *Usage Type* indica si se trata de una entidad de costo o restricción, *Units* corresponde a las unidades de cada entidad.

Dando clic en siguiente, se puede apreciar una ventana que resume todos ajustes realizados para su análisis.

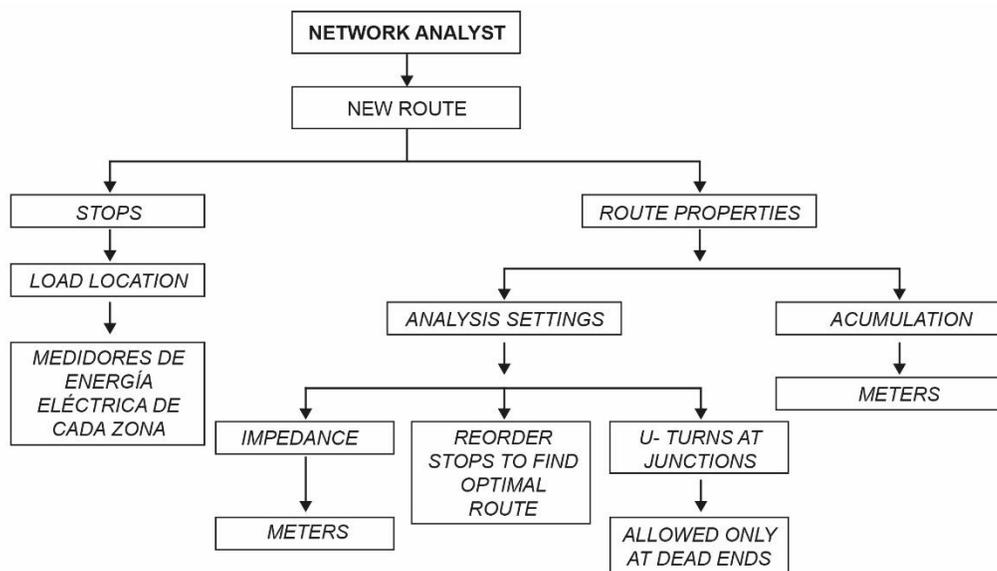
2.6.3 Análisis y optimización de nuevas rutas

La optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios, se analizaron a partir del programa ArcGis 10.3, mediante el cual se estableció la recolección de los desechos puerta a puerta recorriendo las carreteras, avenidas y calles tanto de la cabecera cantonal de Naranjal como de sus parroquias rurales.

La extensión de ArcGIS *Network Analyst* es una herramienta de geoprocésamiento de datos que permite generar redes y crear modelos que automatizan su análisis, en función de las reglas de conectividad y atributos de red que se asigna al dataset (ESRI, 2013).

Para modelar las rutas de recolección se debe dirigir a *Network Analyst* en la barra de herramientas de ArcGis, y seleccionar la opción nueva ruta (*New Route*). Esta extensión, utiliza el algoritmo Dijkstra (también llamado algoritmo de caminos mínimos) el cual básicamente analiza las rutas óptimas desde un nodo de partida específico a los nodos adyacentes a un árbol de rutas óptimas (Lucero & Viñamagua, 2016). En la ventana que se despliega, seleccionamos la opción *paradas (stop)*, clic derecho y nos dirigimos a cargar localizaciones (*load locations*), en este campo se elige los medidores según la zonificación preestablecida y clic en aceptar. Luego, se selecciona propiedades de la ruta (*Route Properties*), y en criterio de relevancia (*impedance*) se elige distancia en metros (*meters*), esta asignación indica que la modelación de la ruta de recolección permite calcular la ruta más corta en distancia, posteriormente se habilita el campo de reordenar paradas para encontrar la ruta más óptima (*Reorder stops to find optimal route*), esta herramienta en la presente investigación identifica la secuencia de puntos más óptima con la finalidad de recorrer

distancias menores, ya que el orden secuencial en la que estaban dispuestos los medidores de energía eléctrica de uso residencial es en base a la fecha de su instalación. En la opción de acumulación (*accumulation*), elegimos las unidades minutos y metros (*minutes* y *meters*) y click en aceptar. Por último, se selecciona la opción resolver (*solve*) y automáticamente el programa nos permite conocer la ruta de recolección de residuos sólidos más corta en cada una de las zonas. En el siguiente diagrama se resume cada uno de los pasos realizados para la optimización de las rutas de recolección de RSD.



2.7 Sensibilización, socialización y educación ambiental

La sensibilización, educación y capacitación ambiental son las principales herramientas de gestión para alcanzar el desarrollo sostenible, consideradas como un medio para cambiar conductas, valores y estilos de vida, necesarias para asegurar una ciudadanía informada y consciente, preparada para soportar cambios hacia la sostenibilidad que emergen de diversos sectores (Briganti et al., 2012).

La educación ambiental debe impartirse en todos los niveles, a personas de todas las edades en el marco de la educación formal y no formal, debe considerarse como un proceso de por vida en la familia y en la escuela, de tal manera que afecte a todos sus miembros y no únicamente a las personas que tienen accesibilidad a educarse formalmente. Para cumplir con esta finalidad los medios de comunicación social deben asumir la gran responsabilidad de poner sus recursos al servicio de la misión educativa (Briganti et al., 2012).

Los gobiernos a nivel mundial han dado gran importancia a la educación ambiental, por tal razón durante la transición de las convenciones mundiales desde Estocolmo hasta Río de Janeiro, se ha establecido 5 estrategias para el desarrollo de la educación ambiental: conciencia, conocimientos, comportamientos, aptitudes y participación (Briganti et al., 2012).

Los programas de educación ambiental en la gestión integral de residuos sólidos deben ser diseñados en base a los hábitos y costumbres de la comunidad, siendo la continuidad de los programas los pilares fundamentales que garantizan el éxito al conseguir cambios en los hábitos de la ciudadanía.

Esta investigación, ha evidenciado que la población del cantón Naranjal cuenta con malos hábitos con respecto a la gestión de los residuos sólidos, tanto dentro como fuera de los hogares. Por tal razón el no almacenar de una manera diferenciada los desechos, no reciclar ni recuperar materiales, no clasificar los residuos y el arrojar la basura en sitios no permitidos, son acciones que diariamente realizan en su gran mayoría los ciudadanos de Naranjal. A esta problemática se suma que el servicio de recolección de residuos sólidos domésticos en el centro de la cabecera cantonal, la municipalidad lo realiza diariamente, situación que provoca en la ciudadanía comodidad y facilidad al eliminar cualquier tipo de desecho el día y hora que crean conveniente.

La separación de los residuos sólidos desde la fuente generadora presenta ventajas ambientales, sociales y económicas a toda la ciudadanía del cantón Naranjal, por lo que se considera una actividad primordial en la gestión integral de los residuos sólidos, permitiendo recolectar y transportar los desechos de una manera diferenciada y a su vez dar algún tipo de tratamiento a los residuos que ingresan al relleno sanitario.

En el cantón Naranjal, existe una ordenanza municipal sobre la gestión integral de residuos sólidos aprobada en el año 2012, en el capítulo 1 referente a generalidades y competencias establece que: *"La separación en origen de los residuos sólidos tanto orgánicos, inorgánicos, como materiales reciclables es obligación de las instituciones u organismos públicos y privados, así como de la ciudadanía en general, previa su entrega a los vehículos recolectores en los horarios y frecuencias establecidas para cada sector de la ciudad"*, sin embargo se ha hecho caso omiso al cumplimiento de la ordenanza.

Debido a la realidad socio económica del cantón Naranjal, se ha determinado que la radio es el medio de comunicación más accesible para la población, a diferencia de la disponibilidad de teléfono fijo o móvil, internet, y computador. Razón por la cual una estrategia sociocultural que surge de la realidad es la creación y reproducción de microprogramas radiales educativos, cuyos mensajes hagan énfasis en buenas prácticas ambientales como: la separación de la basura desde la fuente generadora, recuperación y reciclaje de materiales, correcta disposición de los residuos sólidos en horarios y frecuencias preestablecidas. El alcance que tendrían estos microprogramas educativos tendría lugar en el área urbana y rural del cantón Naranjal, y sería dirigido a toda la ciudadanía del cantón Naranjal.

3. CAPÍTULO 2: RESULTADOS

3.1 Distancia del relleno sanitario a los principales asentamientos humanos del cantón Naranjal

En la Figura 8, se observa la ubicación del relleno sanitario de Naranjal, y la conectividad en función de la red vial que mantiene con los 22 principales asentamientos humanos del cantón Naranjal.

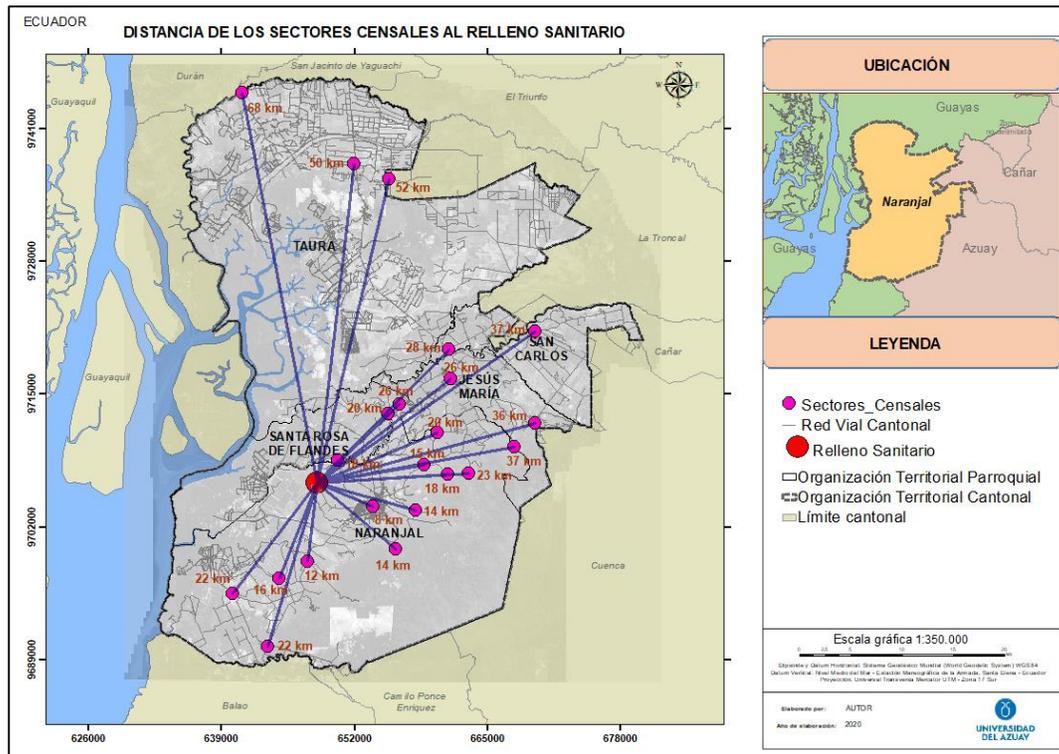


Figura 8.- Distancia del relleno sanitario a los asentamientos humanos de Naranjal

Fuente. (IERSE et al., 2020).

Mediante la herramienta *Network Analyst* y su extensión nueva asignación de localización (*New Location Allocation*), se pudo determinar que los sectores censales más cercanos al relleno sanitario se ubican en la cabecera cantonal de Naranjal a una distancia promedio de 8 km, mientras que los asentamientos humanos más lejanos se encuentran en la parroquia Taura a 68 km del sitio de disposición final de los desechos sólidos.

3.2 Cobertura de recolección de RSD del cantón Naranjal

3.2.1 Cobertura de recolección de RSD del año 2010

En base a la información del último censo INEC 2010, se representó de una manera gráfica el porcentaje de población que elimina los residuos sólidos a través del carro recolector, toda esta información se obtuvo del Redatam, a un nivel de detalle del sector censal.

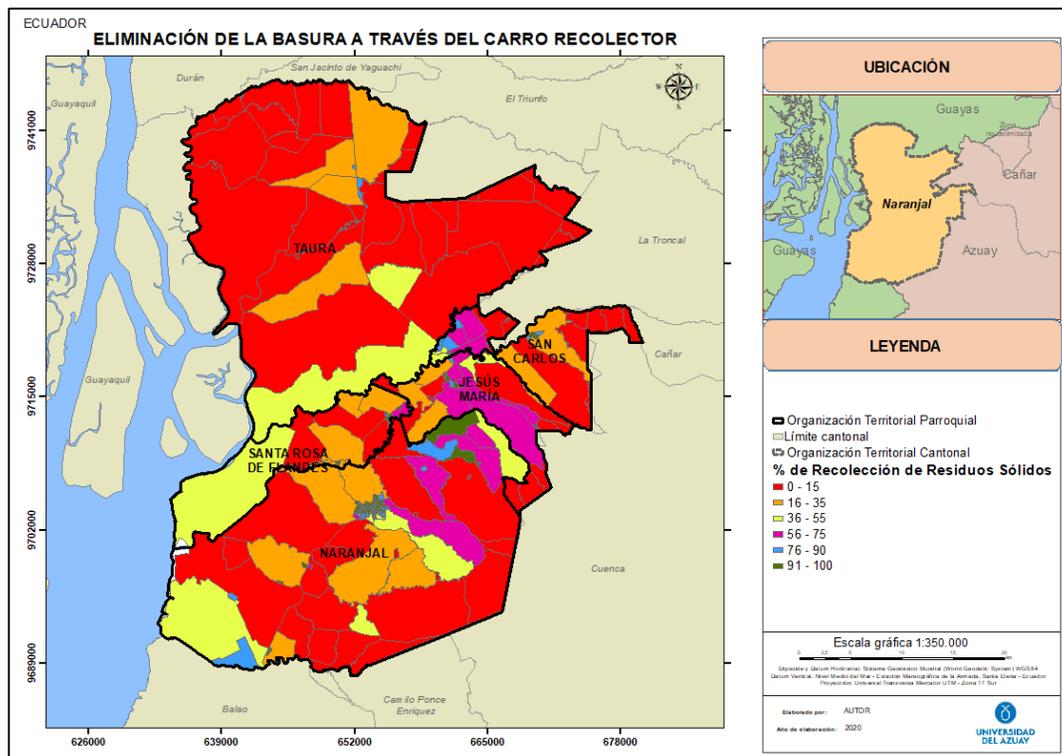


Figura 9.- Eliminación de la basura a través del carro recolector

Fuente: (INEC, 2010)

La mayoría de los sectores censales de las parroquias rurales contienen un número reducido de habitantes, sin embargo, la distribución espacial de esta población ocupan grandes superficies, lo que significa que al dotar del servicio de recolección a esta población cambiaría significativamente su representación. Como se puede observar en la figura 9, la cabecera cantonal y las cabeceras parroquiales de Naranjal son las áreas mejor servidas con porcentajes que van del 56% al 100%. En las parroquias rurales, 3 645 viviendas eliminan la basura a través del carro recolector, lo que equivale al 51,1% del total de las viviendas analizadas.

La población estimada que se asienta dentro del límite de expansión urbana de la cabecera cantonal de Naranjal es 41 791 habitantes (IERSE et al., 2020), lo que corresponde al 44,43% de la población total. Por tal razón, es necesario y prioritario determinar la cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos del área urbana.

En la figura 10, se observa la cobertura de recolección de residuos sólidos en la cabecera cantonal de Naranjal.

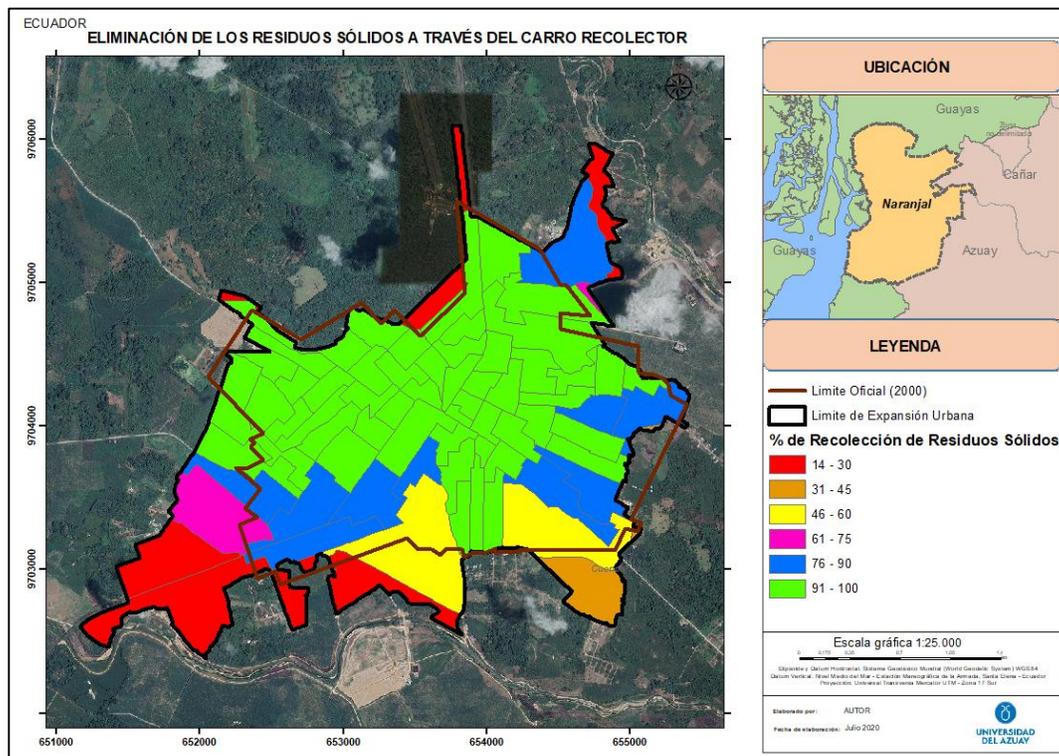


Figura 10.- Eliminación de la basura a través del carro recolector en el área urbana.

Fuente: (INEC, 2010)

En lo que corresponde a la cabecera cantonal de Naranjal, 6 930 viviendas eliminan los residuos sólidos a través del carro recolector, lo que corresponde al 92,03% de la totalidad de viviendas analizadas (INEC, 2010). Los barrios del cantón Naranjal que cuentan con cobertura de recolección de residuos sólidos son los que se encuentran en el centro de la ciudad, coincidiendo además que en estas zonas se ubican equipamientos de salud, educación e instituciones municipales. A medida que se aleja del centro de la ciudad la cobertura de recolección de los residuos sólidos disminuye.

3.2.2 Cobertura de recolección de RSD del año 2020

3.2.2.1 Cobertura de recolección de RSD en el área rural de Naranjal

Para conocer la cobertura de recolección de residuos sólidos domiciliarios en el cantón Naranjal, se levantó información en campo e identificaron las rutas que prestan este servicio. En la figura 11 se puede observar las 10 rutas de recolección de RSD existentes del área rural cantonal.

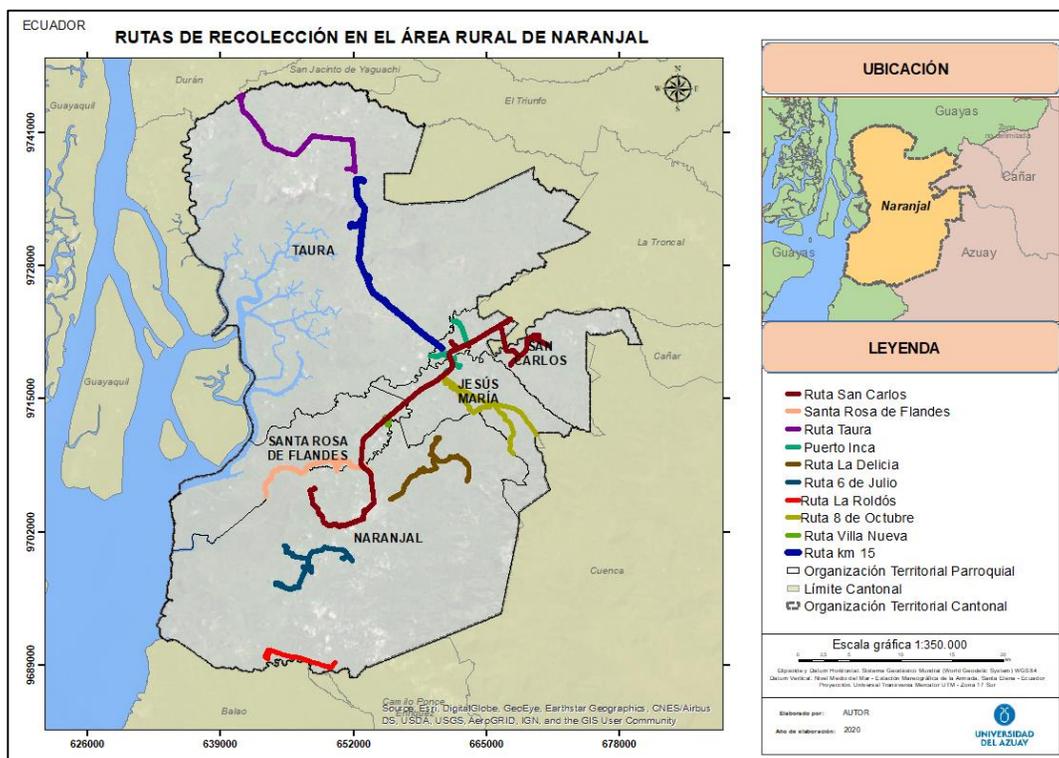


Figura 11.- Rutas de recolección de RSD en el cantón Naranjal

Fuente: (Departamento de recolección y barrido, 2020)

Una vez identificado las rutas de recolección, se procedió a determinar el número de viviendas al cual se le brinda este servicio, a partir de la herramienta *Network Analyst*, con su extensión nueva asignación de localización (*New Location Allocation*), de esta manera se realizó el análisis a una distancia de 100, 200 y 400 m desde la ruta de recolección hasta las viviendas en el área rural de Naranjal. En la Tabla 6, se puede observar la cobertura de recolección de cada una de las rutas en el área rural cantonal.

Nro.	Rutas	Longitud de la Ruta (m)	Tiempo neto de recolección	Cobertura de Recolección		
				Nro. de medidores a 100 m	Nro. de medidores a 200 m	Nro. de medidores a 400 m
1	San Carlos	70 405,12	5h:38min	982	1125	1296
2	Santa Rosa de Flandes	31 220,94	3h:58min	312	313	316
3	Taura	24 566,44	2h:26min	541	555	571
4	Puerto Inca	23 634,26	4h:10min	1011	1035	1070
5	La Delicia	22 560,14	3h:2min	435	447	450
6	6 de Julio	27 399,94	3h:52min	625	646	665

7	La Roldós	10 371,25	3h:50min	750	807	834
8	8 de Octubre	31 762,97	5h:45min	717	864	995
9	Villa Nueva	5 307,87	4h:52min	633	739	746
10	Km. 15	25 863,01	3h:25min	378	401	432

Fuente: (IERSE et al., 2020).

El tiempo promedio para completar el microruteo es superior a las 3 horas en las rutas de recolección del área rural, excepto en la ruta Taura que corresponde a 2 horas y 26 minutos; sin embargo, a este tiempo se debe agregar lo que se demora el camión recolector desde el garaje de máquinas de la municipalidad de donde salen los vehículos recolectores hasta el lugar donde inicia el microruteo, y el tiempo que tarda desde el último punto de recolección al relleno sanitario, para de esta manera completar la ruta total de recolección.

La distancia total de las rutas de recolección en el área rural es de 273,1 km y la longitud promedio del microruteo de las 10 rutas es igual a 27,31 km. Es importante indicar que las distancias desde el punto de salida (garaje de maquinaria de la municipalidad) hasta el microruteo, más la distancia desde el último punto de recolección de cada zona hasta el relleno sanitario, supera la distancia neta de recolección.

Mediante análisis de redes se ha determinado que la cobertura de recolección en la zona rural del cantón Naranjal a 200m de distancia de los medidores de energía eléctrica, abastece a 6 719 viviendas y equivale al 61,06% del total de viviendas del área rural. Además, se evidenció que en ninguna de las rutas existentes exceden la capacidad de carga del camión recolector. Las rutas de recolección que presentan mayor cobertura son las rutas San Carlos y Roldós, con 982 y 750 viviendas respectivamente, a diferencia de la ruta de recolección de Santa Rosa que brinda el servicio a 312 viviendas.

3.2.2.2 Cobertura de recolección de RSD en la cabecera cantonal de Naranjal.

En la cabecera cantonal de Naranjal existen 14 rutas de recolección de RSD, mismas que se muestran gráficamente en la figura 12.

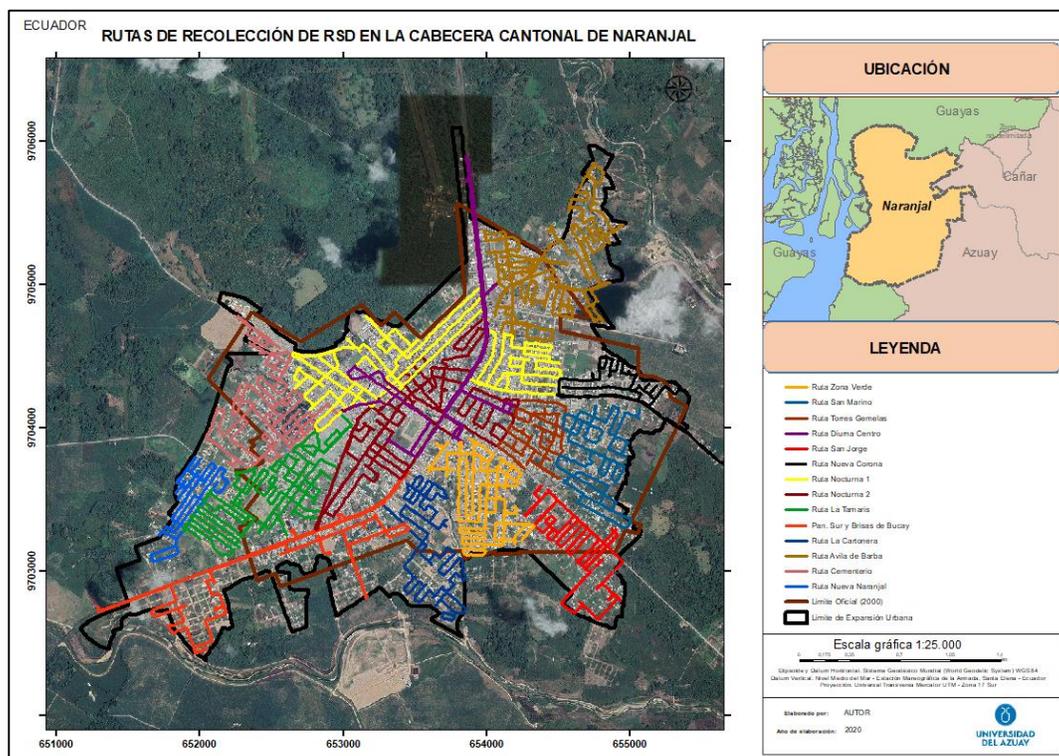


Figura 12.- Rutas de recolección de RSD en la cabecera cantonal de Naranjal

Fuente: (Departamento de recolección y barrido, 2020)

Tabla 8. Cobertura de RSD en la cabecera cantonal						
Nro.	Rutas	Longitud de la Ruta (m)	Tiempo neto de recolección	Cobertura de Recolección		
				Nro. de medidores a 10 m	Nro. de medidores a 50 m	Nro. de medidores a 100 m
10	Zona Verde	9 183,90	3h:30min	752	885	1047
6	San Marino	6 833,92	1h:25min	329	413	491
9	Torres Gemelas	4 988,41	2h:18min	437	609	741
1	Diurna Centro	8 630,87	1h:55min	547	903	1471
12	San Jorge	7 073,9	1h:46min	208	240	291
7	Nueva Corona	12 369,26	2h:27min	298	384	416
13	Nocturna 1	17 012,18	4h:15min	1719	2358	2781
14	Nocturna 2	16 936,75	3h:27min	1604	2324	2764
3	La Tamaris	12 539,54	3h:18min	602	725	869

5	Panamericana Sur y Brisas de Bucay	11 671,84	2h:50min	231	309	382
11	La Cartonera	6 876,87	1h:45min	215	269	305
8	Ávila de Barba	16 875,81	3h:15min	536	676	768
2	Cementerio	11 036,48	3h:07min	505	662	835
4	Nueva Naranjal	5 118,20	23min	242	271	289

Fuente: (IERSE et al., 2020).

De la misma manera que en el área rural, se procedió a determinar la cobertura del servicio de recolección a partir de la herramienta *Network Analyst*, con su extensión nueva asignación de localización (*New Location Allocation*). En la tabla 7 se analiza cada una de las rutas y se determina la longitud de la ruta, tiempo de recolección y el número de viviendas a la que se brinda este servicio.

El tiempo empleado para completar las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios varían significativamente, de esta manera se ha determinado que para completar la ruta Nueva Naranjal se realiza en 23 minutos, a diferencia de la ruta de recolección Nocturna 1, que se desarrolla en 4 horas y 15 minutos.

En lo referente a la distancia, existe una longitud promedio de 10,51km y la distancia total recorrida por los camiones recolectores es de 147,15 km; además se observa que la ruta más larga es la Nocturna 1 con 17 km, y las más cortas corresponden a las rutas Torres Gemelas y Nueva Naranjal con una distancia aproximada de 5km.

La cobertura de recolección en la cabecera cantonal de Naranjal a 50m de los medidores de energía eléctrica de uso residencial corresponde a 9 055 viviendas de un total de 9 176 analizadas, teniendo un porcentaje de cobertura de 98,68%. Las rutas de recolección en la cabecera cantonal no sobrepasan la capacidad de carga del camión recolector. La ruta que más cobertura tiene es la ruta Nocturna 1, con un total de 1719 viviendas y la ruta de menor cobertura es la San Jorge con 208 viviendas.

3.3 Propuesta de zonificación de las rutas de recolección de RSD

3.3.1 Zonificación de la cabecera cantonal de Naranjal

En función del diagnóstico de las rutas de recolección levantadas en la cabecera cantonal, se ha determinado que no existe similitudes entre ellas respecto a tiempos, distancias o a la cantidad de viviendas a la que brindan el servicio de recolección. La capacidad de carga de los camiones recolectores es otra propiedad que no se ha considerado en la asignación de las rutas.

Es viable reducir de 14 rutas de recolección de RSD a 10 rutas, debido a cada uno de los factores detallados en la metodología del estudio. En la figura 13 se observa las ZONAS establecidas para realizar el servicio de recolección de residuos sólidos domiciliarios.

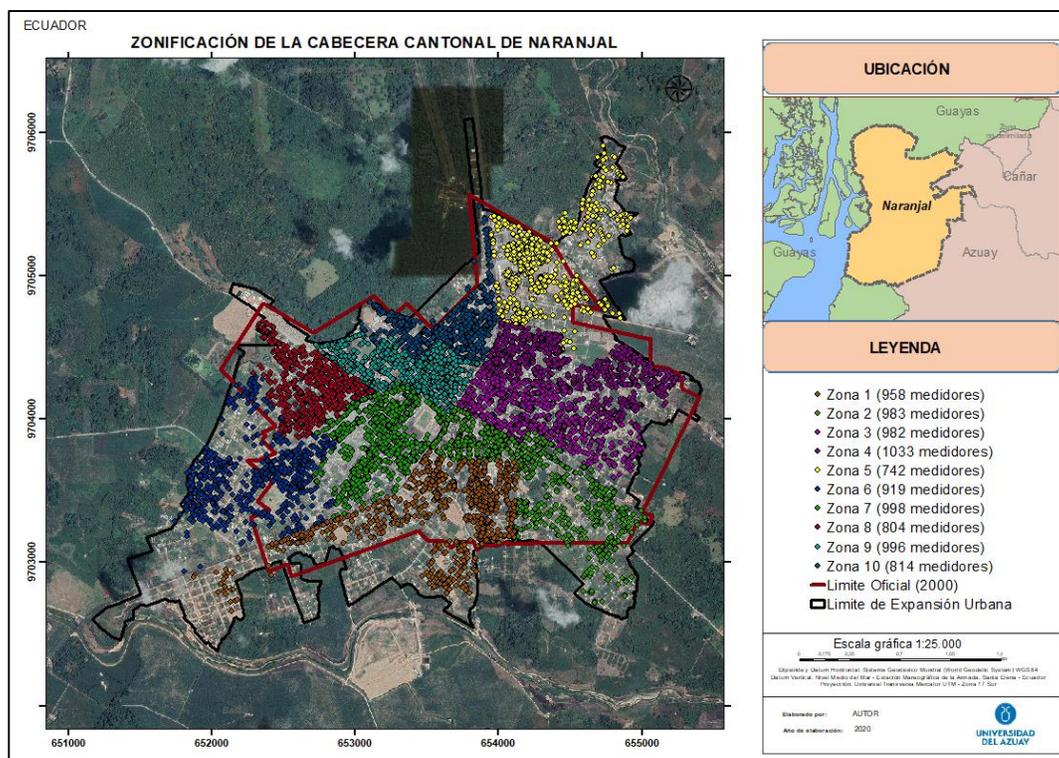


Figura 13.- Zonificación de la cabecera cantonal de Naranjal

Fuente. (CNEL, 2019)

En la figura 13, se observa las zonas delimitadas y la homogeneidad en el número de viviendas a las cuales se debería brindar el servicio de recolección. El número de medidores de energía eléctrica en cada una de las zonas bordean los 1 000 medidores, cantidad que fue determinada en función de la capacidad de carga del camión recolector.

Para la zonificación de las rutas de recolección, se suma la cantidad de medidores de cada barrio y se les agrupaba hasta completar la cantidad promedio de 1 000 medidores.

Este tipo de zonificación permite optimizar recursos de la municipalidad y reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero a la atmósfera. Además, al disponer de información como los medidores de energía eléctrica georeferenciados y al actualizarlos periódicamente, permitirá cambiar progresivamente las rutas de recolección e incrementar la cobertura.

3.3.2 Zonificación del área rural de Naranjal

La zonificación para dotar del servicio de recolección en el área rural es más compleja que en el área urbana, principalmente porque los medidores se encuentran dispersos y alejados entre sí. Lo que implica que, para tener una mayor cobertura, los camiones recolectores deberán tener un mayor desplazamiento y dado al número de vehículos recolectores que tiene la municipalidad, es difícil

servir a toda la población del área rural de Naranjal. En la figura 14 se muestra la zonificación en el área rural para cubrir el servicio de recolección de RSD.

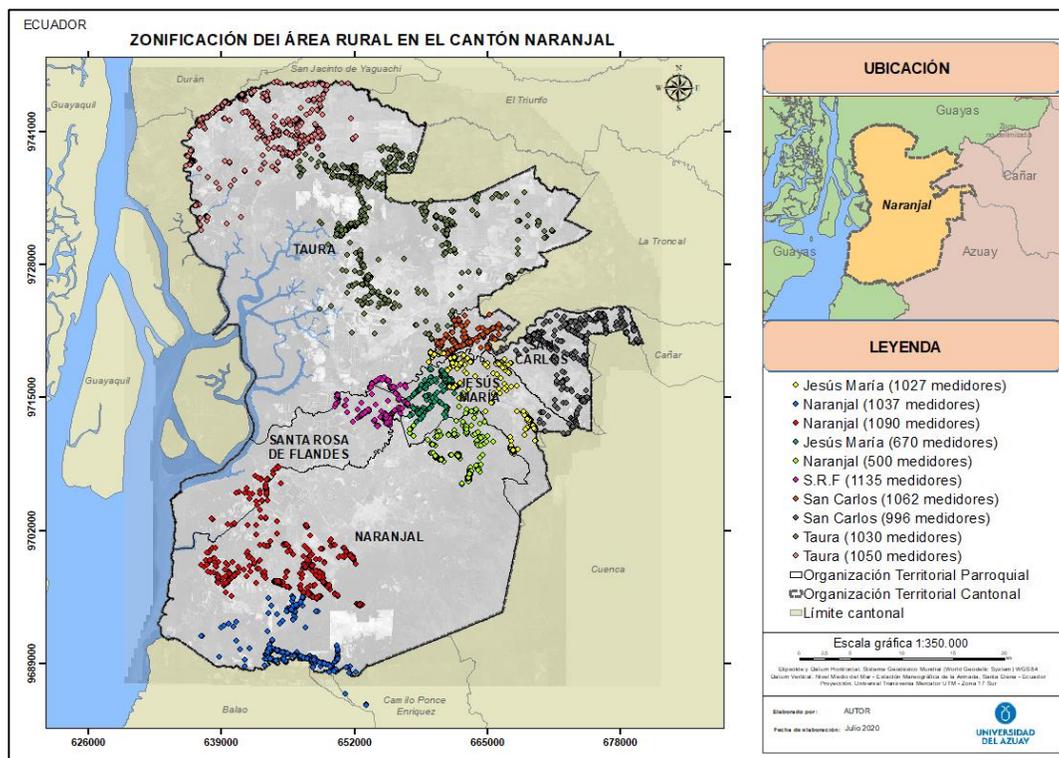


Figura 14.- Zonificación del área rural en el cantón Naranjal para dotar del servicio de recolección

Fuente: (CNEL, 2019)

3.4 Optimización de las rutas de recolección de RSD

3.4.1 Optimización de las rutas de recolección de la cabecera cantonal de Naranjal

Una vez identificadas las zonas en donde se va brindar el servicio de recolección, se procedió a modelar y optimizar las rutas mediante análisis de redes con la herramienta Análisis de redes (network analyst) con la opción Nueva Ruta (*New Route*) en cada una de las zonas. Como ya se mencionó anteriormente, las rutas de recolección de RSD tienen diferentes tipos de duración, por lo que la base de datos que se ingresa al programa se debe ir actualizando periódicamente. De esta manera, si existen vías que están en mantenimiento y no se puede transitar, en el programa se ingresa restricciones, se realiza nuevos cálculos y la ruta de recolección cambia automáticamente; además si existe nuevas viviendas que requieren del servicio de recolección de igual forma se introducirían más paradas que debe realizar el camión recolector y se calcularía las nuevas rutas.

La figura 15 muestra las 10 rutas de recolección propuestas en este estudio, asentadas en la cabecera cantonal de Naranjal.

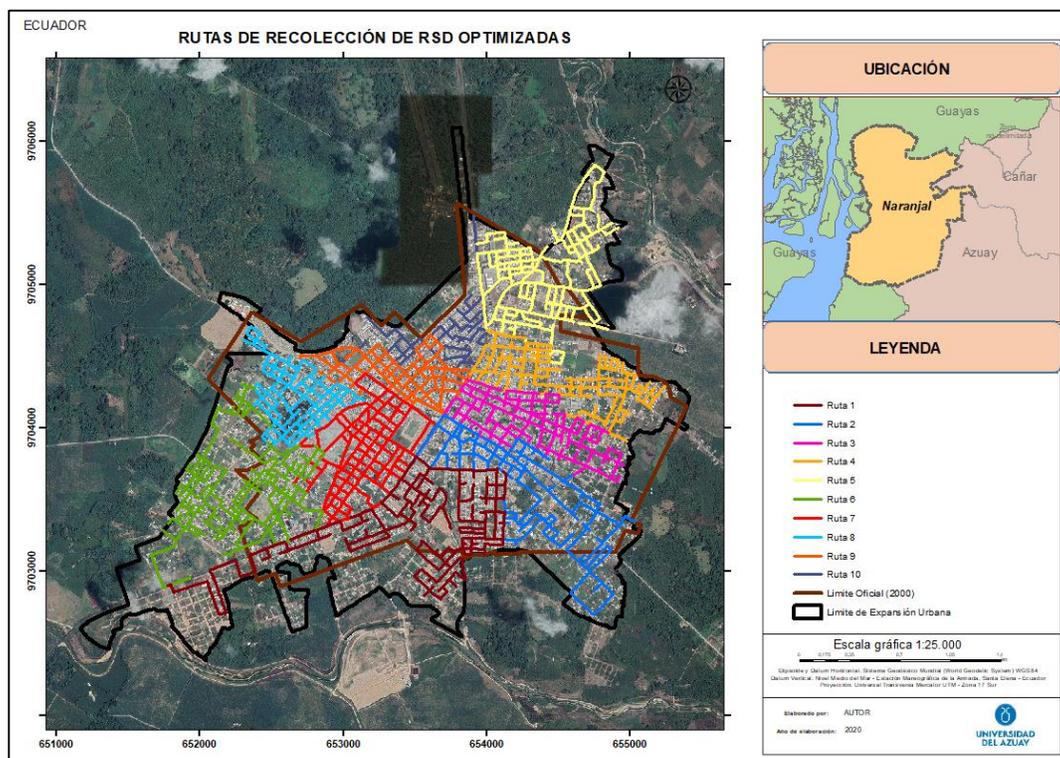


Figura 15.- Optimización de las rutas de recolección de la cabecera cantonal de Naranjal

Fuente: Autor

La longitud y la cobertura de recolección de cada una de las rutas se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. Rutas de recolección de RSD optimizadas					
Nro.	Rutas	Longitud de la Ruta (m)	Cobertura de Recolección		
			Nro. de medidores a 10 m	Nro. de medidores a 50 m	Nro. de medidores a 100 m
1	Zona 1	18 237, 87	910	1 148	1 286
2	Zona 2	15 220,43	999	1 240	1 472
3	Zona 3	12 408,93	1 013	1 224	1 367
4	Zona 4	12 949,21	998	1 170	1 371
5	Zona 5	19 106,01	795	921	1 057
6	Zona 6	17 964,07	798	1 003	1 131
7	Zona 7	27 365,81	1 106	1 398	1 598
8	Zona 8	12 096,53	810	979	1 055
9	Zona 9	15 344,68	1 054	1 453	1 514
10	Zona 10	13 319,85	776	1 193	1 426

Fuente: Autor

La longitud total de las 10 rutas de recolección de residuos sólidos domésticos en la cabecera cantonal es de 145,77 km. La cobertura de recolección a 50 metros de los medidores de energía eléctrica de uso residencial corresponde a 98,82%, abasteciendo a 9 206 viviendas de un total de 9 316. La ruta de recolección de la zona 7 presenta una mayor cobertura, abasteciendo a 1 106 viviendas, a diferencia de la ruta de la zona 10 que presenta una menor cobertura y brinda el servicio a 776 viviendas.

3.4.2 Optimización de las rutas de recolección en el área rural del cantón de Naranjal

Las rutas de recolección de RSD en el área rural presentan mayores longitudes con respecto a las rutas de la cabecera cantonal, este aumento de la longitud se debe a que las viviendas en el área rural se encuentran dispersas, por lo que aumentar la cobertura en el servicio implicaría recorrer grandes distancias por parte de los vehículos recolectores.

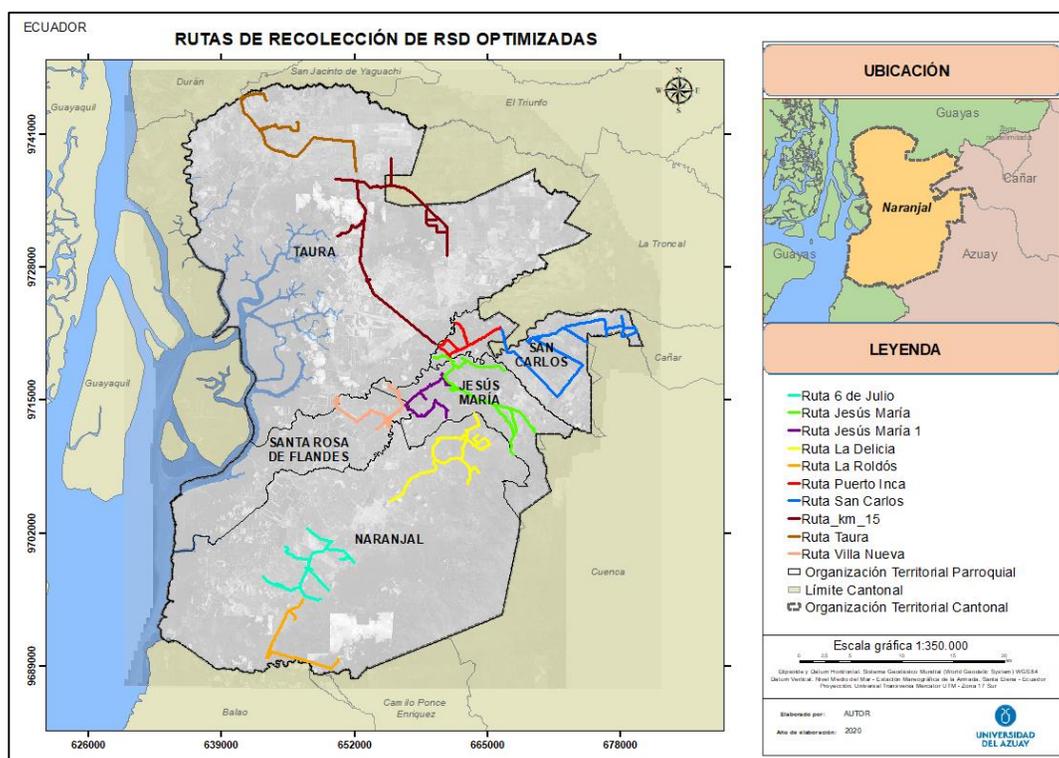


Figura 16.- Optimización de las rutas de recolección en el área rural del cantón Naranjal

Fuente: Autor

Además de existir un mayor recorrido en las rutas del área rural, se debe considerar las distancias que implican el llegar a cada una de las zonas preestablecidas desde el punto de salida de los vehículos recolectores y también la distancia desde el último punto de recolección al relleno sanitario, en la tabla 10 se indica las distancias calculadas y la cobertura que presentan las rutas de recolección de RSD.

Tabla 10. Rutas de recolección de RSD optimizadas					
Nro.	Rutas	Longitud de la Ruta (km)	Longitud. Garaje - Primer punto de recolección (km)	Longitud. Último punto de recolección - Relleno Sanitario (km)	Nro. de medidores a 200m
1	Ruta 6 de julio	47,37	13,14	8,07	767
2	Ruta Jesús María	47,38	25,18	25,76	1 165
3	Ruta Jesús María 1	26,72	18,01	21,04	642
4	Ruta km 15	65,84	43,67	29,98	543
5	Ruta La Delicia	43,85	18,50	10,87	581
6	Ruta La Roldós	20,72	25,62	15,28	943
7	Ruta Puerto Inca	18,06	29,05	27,92	1015
8	Ruta San Carlos	45,75	38,89	36,87	751
9	Ruta Taura	37,72	60,07	50,35	645
10	Ruta Villa Nueva	27,86	16,49	17,28	1040

Fuente: Autor

La longitud promedio de recolección en el área rural es de 38,12 km y la longitud total de las rutas de recolección es de 381,27 km. La cobertura a 200 m corresponde a 70,72%, abasteciendo a 7 783 viviendas de las 11 004 analizadas.

La longitud desde el garaje de máquinas de la municipalidad hasta el primer punto de recolección, sumado a la distancia desde el último punto de recolección hasta el relleno sanitario es mayor a la longitud neta de recolección en 8 de las 10 rutas de recolección de RSD analizadas. Esta realidad impide que el mismo camión recolector pueda cubrir con el servicio en dos zonas asignadas el mismo día, debido a que los tiempos aumentan considerablemente.

3.5 Propuesta del horario y frecuencia de recolección de RSD en el cantón Naranjal.

3.5.1 Horario y frecuencia de recolección de RSD en la cabecera cantonal de Naranjal

En la cabecera cantonal se han identificado 14 rutas de recolección, de las cuales 3 de ellas se realizan diariamente en el centro de la ciudad. Esta situación es un lujo innecesario, que imposibilita tener un desarrollo sustentable y una dotación del servicio de recolección con una frecuencia equitativa a la ciudadanía, debido a que no se utilizan los recursos de la municipalidad de una manera eficiente. Además, este tipo de acciones impide a sus habitantes crear hábitos de buenas prácticas ambientales como acatar y cumplir con los días específicos establecidos para la recolección dependiendo del tipo de residuo.

Considerando la capacidad de carga del camión recolector, la densidad poblacional, la producción per cápita de desechos, equipamiento, tiempos y distancias de las diferentes rutas, se plantea el horario y frecuencia de recolección que se describe en la tabla 11.

Tabla 11. Horario y frecuencia de recolección de RSD en la cabecera cantonal de Naranjal								
Nro.	Rutas	Días						
		Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom
1	Zona 1.							
2	Zona 2.							
3	Zona 3.							
4	Zona 4.							
5	Zona 5.							
6	Zona 6.							
7	Zona 7.							
8	Zona 8.							
9	Zona 9.							
10	Zona 10.							

Fuente: Autor

3.5.2 Horario y frecuencia de recolección de RSD en el área rural de Naranjal

El área rural de Naranjal tiene una cobertura de recolección de RSD del 61,06%, además de la baja cobertura que posee, la problemática radica en la frecuencia en la que se realiza el servicio, teniendo una prevalencia de recolección de una vez por semana, en 6 de las 10 rutas de recolección existentes, razón por la cual resulta imposible la recolección diferenciada de residuos sólidos domésticos. En este marco, se propone el horario y frecuencia de recolección para el área rural detallada en la tabla 12.

Tabla 12. Horario y frecuencia de recolección de RSD en el área rural de Naranjal								
Nro.	Rutas	Días						
		Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom
1	Km. 15							
2	Taura							
3	La Delicia							
4	6 de Julio y 7 Cascadas							
5	La Roldós							
6	Puerto Inca							
7	PioPio, Cruce, Jesús M							

8	San Carlos							
9	Villa Nueva y Calicando							
10	Santa Rosa							

Simbología	
	Recolección materia orgánica
	Recolección materia inorgánica

En función de la zonificación realizada en el área rural se han establecido 10 rutas de recolección de RSD para dotar de este servicio a la ciudadanía de Naranjal. La propuesta consiste en una recolección diferenciada de los residuos sólidos, previamente separados y clasificados desde la fuente generadora en orgánicos e inorgánicos, además al haber actualizado el mapa de uso y cobertura de suelo se conoce que el cantón Naranjal cuenta con suelos productivos en un 61%, por lo que la materia orgánica se debería aprovechar en actividades agrícolas practicadas en huertas familiares y de esta manera se recogería y transportaría menos cantidad de residuos, lo que implicaría la reducción de costos en el transporte y se ampliaría la vida útil del relleno sanitario.

4. DISCUSIÓN

El levantamiento de información de las rutas de recolección de RSD existentes, permite conocer la cobertura real de recolección, determinar distancias y tiempos productivos y no productivos, estimar los costos que implica la recolección y transporte de los residuos sólidos, además es una herramienta de seguimiento y monitoreo al cumplimiento eficiente de las rutas asignadas.

Al analizar las rutas de recolección de RSD actuales, se determinó que su asignación no considera aspectos técnicos como: capacidad de carga del camión recolector, distancias y tiempos de recolección, generación per cápita de residuos, homogeneidad en el número de viviendas a las que se brinda el servicio; por tal razón y conociendo que la recolección y transporte de los residuos sólidos representa 2/3 del costo total de la gestión integral de residuos sólidos, fue necesario diseñar y optimizar las rutas de recolección orientados a la generación de beneficios sociales (equidad en la frecuencia de recolección de RSD), ambientales (reducción de la disposición de desechos sólidos en quebradas, ríos y terrenos baldíos) y económicos (uso eficiente del equipamiento de la municipalidad en la dotación del servicio de recolección).

En las rutas de recolección existentes de la cabecera cantonal, en los diferentes horarios establecidos se observa que el mismo camión recolector debe cumplir incluso con 3 rutas el mismo día, siendo una de las desventajas no optimizar los recursos en este caso concreto la capacidad de carga del camión recolector, en las rutas propuestas en este estudio en la cabecera cantonal el

camión recolector deberá cumplir con dos rutas de recolección el mismo día, esta realidad implica mayor demanda de trabajo a sus operadores, por lo que se recomienda analizar subir el número de operadores de 3 a 4 personas por camión recolector, salvaguardando la salud de los trabajadores.

La longitud neta de las rutas de recolección en el área rural son inferiores a la distancia que debe recorrer el camión recolector desde el garaje de maquinaria de la municipalidad hasta el primer punto de recolección, sumado a la distancia desde el último punto de recolección hasta el sitio de disposición final. Esta realidad es más evidente cuando se brinda el servicio de recolección en la parroquia Taura, una de las estrategias que puede ser viable en el cantón es la implementación de una estación de transferencia en esta parroquia, cuya finalidad es almacenar una mayor cantidad de residuos sólidos y evitar el desplazamiento de los camiones recolectores al relleno sanitario.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La metodología utilizada en la presente investigación contribuye a la optimización de las rutas de recolección de RSD actuales mediante la herramienta de análisis de redes y su extensión nueva ruta de ArcGis, tomando como referencia principal para la modelación de datos, la distribución espacial de los medidores de energía eléctrica de uso residencial en cada una de las zonas preestablecidas en el área urbana y rural del cantón Naranjal, además esta herramienta permite guardar, eliminar, añadir y modificar propiedades de la base de datos y calcular nuevamente las rutas más óptimas.
- El disponer de información como los medidores de energía eléctrica de uso residencial georeferenciados, permite conocer la ubicación de las viviendas a las que se debe dotar del servicio de recolección, debido a que el cobro del servicio de recolección de RSD se realiza a través de la planilla de energía eléctrica, de esta manera a medida que existan nuevas edificaciones se puede actualizar la base de datos de los medidores y modelar una nueva ruta.
- El sistema de recolección de residuos sólidos domésticos empleados por el GAD municipal de Naranjal, se realiza bajo una distribución de 24 rutas, de las cuales 14 se encuentran en la cabecera cantonal y 10 en el área rural. Con la implementación de las nuevas rutas optimizadas (20 rutas, 10 en la cabecera cantonal y 10 en el área rural) existen alternativas de mejora en la reducción de distancias, modificación en las frecuencias de recolección, ajuste en la capacidad de carga de los vehículos recolectores y aumento en la cobertura de recolección cantonal.
- A partir de la información del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del año 2010, se determinó que la población que elimina los residuos sólidos a través del carro recolector en la cabecera cantonal y en el área rural de Naranjal corresponde al 92,03% y 51,1% respectivamente. Las rutas actuales de recolección tienen una cobertura del 98,68% en la

cabecera cantonal y 61,06% en el área rural. Mediante la implementación de las rutas optimizadas la cobertura es de 98,82% en el área urbana y a 70,72% en el área rural.

- La longitud total de las 14 rutas de recolección existentes en la cabecera cantonal es de 147,15 km y la longitud total de las 10 rutas optimizadas es de 145,77 km. En el área rural el desplazamiento de los camiones recolectores en las rutas existentes es de 273,1 km, mientras que las rutas propuestas tienen una longitud de 381,21 km. Este incremento en la longitud se debe al aumento de cobertura del servicio de recolección en el área rural de Naranjal.
- En los últimos 10 años la municipalidad de Naranjal ha adquirido únicamente dos camiones recolectores; sin embargo, durante esta década la población se ha incrementado en 25 612 habitantes. En este contexto, se evidencia que el equipamiento de recolección de residuos sólidos es limitado debido a que 5 camiones recolectores en operación deben abastecer a 96 047 personas, lo que resulta complejo dado a la distribución espacial dispersa de las viviendas, y las distancias y tiempos totales que deben recorrer los camiones recolectores para cumplir las rutas asignadas.
- La frecuencia de recolección de residuos sólidos domiciliarios en la cabecera cantonal, consta de 3 rutas de recolección diarias de lunes a domingo en el centro de la ciudad, mientras que en el sector Nueva Naranjal el camión recolector pasa únicamente una vez por semana, la frecuencia que prevalece en la cabecera cantonal es de dos días por semana y corresponde a 10 de las 14 rutas existentes. La propuesta de la frecuencia de recolección en la cabecera cantonal en las 10 rutas es de 3 días por semana, los días lunes y viernes para recolectar y transportar materia orgánica, y el día miércoles para materia inorgánica.
- En el área rural la frecuencia de recolección de residuos sólidos que mayor se realiza es una vez por semana, correspondiendo a 6 de las 10 rutas de recolección existentes, y 4 rutas de recolección se realiza 2 veces por semana. En las nuevas rutas de recolección se propone una recolección diferenciada de desechos sólidos con una frecuencia de dos días por semana, martes y jueves para recolectar y transportar materia inorgánica y sábado y domingo para materia orgánica.
- En el cantón Naranjal existe una ordenanza sobre la gestión integral de residuos sólidos aprobada en el año 2012, en donde se establece como competencia de la ciudadanía la separación de los desechos sólidos desde la fuente generadora; sin embargo, en el cantón no se separa la basura desde la fuente, en 7 de las 24 rutas existentes la causa puede relacionarse con la frecuencia de recolección de una sola vez por semana. Mientras que, en las 17 rutas restantes, las conductas, valores y estilo de vida de la población contempla hábitos inapropiados entorno a la gestión de residuos sólidos, se plantea la educación ambiental como herramienta clave para alcanzar un desarrollo sostenible y equitativo en la

sociedad, mediante microprogramas radiales educativos debido al alcance que presenta en el cantón.

- El relleno sanitario de Naranjal en sus instalaciones no cuenta con una báscula, siendo una herramienta que permite llevar un registro estadístico para la planificación y gestión de los desechos sólidos, por tal razón la adquisición de este equipo servirá para conocer con exactitud el peso de los residuos sólidos que ingresan en cada camión recolector al sitio de disposición final.
- En investigaciones futuras se recomienda realizar un trabajo en campo en la caracterización de los residuos sólidos domésticos, y de esta manera conocer el comportamiento social referente a la gestión integral de residuos sólidos a más detalle en los diferentes barrios de la cabecera cantonal y en las parroquias rurales de Naranjal.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía:

- Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P., & Zepeda, F. (2008). *Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*.
- Agnoletti, M. (2019). *The Basic Environmental History* (Vol. 4). Springer.
- Asamblea Nacional de Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*.
- Asamblea Nacional de Ecuador. (2008). *Constitución del Ecuador*.
- Asamblea Nacional de Ecuador. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*.
- Asociación de Municipalidades Ecuatorianas, & Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos 2016*.
- Briganti, J., Días, A., Vergara, I., & Nieto, J. (2012). *LINEAMIENTOS PARA LA SEPARACIÓN EN LA FUENTE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PRODUCIDOS POR EL SECTOR RESIDENCIAL (ESTRATOS 4, 5 Y 6) DE LA CIUDAD DE CARTAGENA DE INDIAS D. T Y C*.
- Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE). (2002). *Recuperación de Datos para Áreas pequeñas por Microcomputador*.
- Corporación Nacional de Electricidad. (2019). *Medidores Residenciales del cantón Naranjal*.
- Cusco, J., & Picón, K. (2015). *Optimización de Rutas de Recolección de Desechos Sólidos Domiciliarios Mediante el Uso de Herramientas SIG*.
- Cuvertino, C., & Gómez, G. (2015). *Despliegue y Consulta de la Actualización Catastral Territorial, a través de un SIT. - Caso de estudio: Municipalidad de San Martín, Provincia de San Luis*. Nacional de San Juan.

- Demir, G., Kurtulus, H., Kurt, P., & Bakis, Y. (2017). *Solid waste collection route optimisation by geographical information system in Fatih, Istanbul, Turkey.*
- Departamento de recolección y barrido. (2020). *Gestión de Residuos Sólidos en el cantón Naranjal.*
- ECOLAP, & Ministerio del Ambiente. (2007). *Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador.*
- Escalona, E. (2014). *Daños a la salud por mala disposición de residuales sólidos y líquidos en Dili, Timor Leste.* 8.
- ESRI. (2012). *Tutorial de Network Analyst.*
- GAD Municipal del cantón Naranjal. (2009). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Naranjal.*
- GAD Municipal del cantón Naranjal. (2009). *DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL CANTÓN NARANJAL PROVINCIA DEL GUAYAS.*
- GAD Municipal del cantón Naranjal. (2014). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Naranjal.*
- GAD Municipal del cantón Naranjal. (2012). *Ordenanza de Gestión Integral de Residuos Sólidos en el cantón Naranjal.*
- Gordillo, C. (2019). *LOCALIZACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN NARANJAL, MEDIANTE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO BASADO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.* Universidad de Guayaquil.
- Hannan, M., Begum, R., Ker, P., & Mamun, M. (2020). *Waste collection route optimisation model for linking cost saving and emission reduction to achieve sustainable development goals.*
- Hatamleh, R., Jamhawi, M., Al-Kofahi, S., & Hijazi, H. (2019). *The Use of a GIS System as a Decision Support Tool for Municipal Solid Waste Management Planning: The Case Study of Al Nuzha District, Irbid, Jordan.*
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2017). *Anuario Meteorológico.*
- Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador., Universidad del Azuay, & GAD Municipal del cantón Naranjal. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Naranjal.*
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Población y Demografía.*
- Kaza, S., Yao, L., Bhada, P., & Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.*
- Lucero, J., & Viñamagua, J. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL CANTÓN CAYAMBE.* UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Lyamu, H., Anda, M., & Ho, G. (2019). *A review of municipal solid waste management in the BRIC and high-income countries: A thematic framework for low-income countries.*
- Malakahmad, A., Bakri, P., & Khalil, N. (2014). *Solid Waste Collection Routes Optimization via GIS Techniques in Ipoh City, Malaysia.*

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2019). *Solid waste management*.
- Ríos, A. (2009). *Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos*. Instituto Politecnico Nacional.
- Rondón, T., Szantó, E., Pacheco, M., Contreras, J., & Gálvez, E. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*.
- Santana, L., Mattos, G., & Diniz, G. (2019). *The planning of selective collection in a real-life vehicle routing problem: A case in Rio de Janeiro*.
- Servicio Nacional de Contratación Pública. (2020). *Portal de Compras Públicas del Ecuador*.
- Secretaria Técnica del Comité Nacional de Límites Internos. (2019). *Limite oficial del cantón Naranjal*.
- Unidad de Gestión Ambiental Municipal de Naranjal. (2020). *Gestión de Residuos Sólidos en el cantón Naranjal*.
- United Nations. (2019). *World Population Prospects 2019*. 46.