PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE HABITAT, INFRAESTRUCTURA Y CREATIVIDAD

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN URBANISMO CON MENCIÓN EN GOBERNANZA Y PLANIFICACIÓN URBANA CON ENFOQUE AL CAMBIO CLIMÁTICO

TÍTULO

ACTUALIZACIÓN DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS A PIE DE VEREDA EN LA ADMINISTRACIÓN ZONAL CALDERÓN DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Volumen I

Trabajo de Titulación

KEVIN ANDRES NAVARRETE FLORES

DIRECTOR/A: OLGA HIPATIA MAYORGA JEREZ

QUITO – ECUADOR
2025

Dedicatoria

Con todo mi amor y gratitud hacia mi madre, Dorys Flores, por ser la mujer que más admiro y, sobre todo, por ser el pilar más importante en mi vida, quien ha sabido manejar las situaciones más difíciles y cuidar de sus hijos con el amor más inmenso que puede existir, no solo ha demostrado ser la mejor madre, sino también una gran amiga e incluso confidente. A ti, querida madre, te estoy eternamente agradecido por todo lo que has hecho y sigues haciendo por mí, gracias por tus consejos y sobre todo por la paciencia, ya que fueron los que me ayudaron a convertirme en la persona que soy ahora.

Agradecimiento

Las palabras resultan insuficientes para expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que han formado parte de esta importante etapa de mi vida.

A mis padres, por su esfuerzo constante, su paciencia y su apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica y personal. Su ejemplo ha sido la base que me ha impulsado a continuar con determinación y compromiso hasta alcanzar esta meta.

Agradezco profundamente la libertad que me brindaron para tomar mis propias decisiones, incluso en aquellos momentos en los que implicaron errores, pues cada experiencia contribuyó a mi crecimiento como persona y como profesional.

A ustedes, mi más profundo agradecimiento.

ÍNDICE

RESUMEN **2**

INTRODUCCIÓN **4**

PROBLEMÁTICA Y ESTADO DEL ARTE (MARCO TÉORICO) **4**

OBJETIVOS **9**

Objetivo general **9**

Objetivos específicos **9**

METODOLOGÍA **9**

RESULTADOS **14**

DISCUSIÓN **36**

CONCLUSIONES **39**

BIBLIOGRAFÍA **40**

RESUMEN

El acelerado crecimiento urbano en América Latina ha incrementado la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y ha puesto a prueba la eficiencia de los sistemas de recolección.

Es por eso que en la Administración Zonal Calderón del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), la expansión demográfica, la baja separación en fuente y el diseño histórico de microrutas poco ajustado a la red vial actual han derivado en recorridos improductivos y mayores costos operativos.

Esta investigación aplica Sistemas de Información Geográfica (SIG) para diagnosticar y actualizar rutas de recolección a pie de vereda. Se integraron además tres grupos de insumos que fueron: (i) cartografía y microrutas de EMASEO EP (base 2014), (ii) puntos GPX provenientes de ECUATRACKER para capturar el comportamiento real de los vehículos, y (iii) datos poblacionales del Censo 2022 (INEC) en formato vectorial (SHP) para ponderar demanda potencial por geocerca.

Para la etapa de digitalización con herramientas como Network Analyst y procedimientos de digitalización (reshape/trace), se corrigieron alineaciones, se depuraron atributos y se generaron capas coherentes para su posterior
El análisis espacial permitió priorizar cuatro geocercas según su concentración poblacional y reconstruir microrutas con continuidad topológica, disminuyendo traslapes y vacíos de cobertura. El producto final es una línea base operativa y geográfica estandarizada que habilita medición transparente de tiempos y distancias por tramo (traslados, viajes y descargas), que facilita el balance de carga entre rutas.

Se propone escalar la actualización al total de geocercas del DMQ para consolidar una malla operativa integrada, adaptable a cambios demográficos y a nuevas modalidades.

Palabras clave: SIG, optimización de rutas, microrutas, ECUATRACKER, ArcGIS, Distrito Metropolitano de Quito.

ABSTRACT

Rapid urban growth in Latin America has increased municipal solid waste (MSW) generation and tested the efficiency of collection systems.

In the Calderón Administrative Zone of the Metropolitan District of Quito (DMQ), demographic expansion, limited source separation, and legacy micro-route designs that are poorly aligned with the current road network have led to unproductive travel and higher operating costs.

This study applies Geographic Information Systems (GIS) to diagnose and update curbside collection routes. Three input streams were integrated: (i) EMASEO EP cartography and micro-routes (2014 baseline), (ii) GPX points from ECUATRACKER to capture actual vehicle behavior, and (iii) population data from the 2022 Census (INEC) in vector (SHP) format to weight potential demand by geofence.

During the digitization stage, tools such as Network Analyst and digitization procedures (reshape/trace) were used to correct alignments, clean attributes, and generate coherent layers for pre–post comparison. Spatial analysis made it possible to prioritize four geofences according to population concentration and to reconstruct micro-routes with topological continuity, reducing overlaps and coverage gaps.

The final product is a standardized operational and geospatial baseline that enables transparent measurement of segment-level times and distances (transfers, trips, and unloading), facilitating workload balancing across routes. Scaling the update to all DMQ geofences is proposed to consolidate an integrated operational network that is adaptable to demographic changes and new collection modalities.

Keywords: GIS, route optimization, micro-routes, ECUATRACKER, ArcGIS, Metropolitan District of Quito.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y la urbanización acelerada en América Latina han llevado a un incremento significativo en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU). Este fenómeno plantea desafíos críticos para la gestión sostenible de desechos en las ciudades de la región, incluyendo ineficiencias en la recolección y disposición final de los residuos.

En la Administración Zonal Calderón del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), la gestión de residuos enfrenta diversos problemas, debido al crecimiento poblacional acelerado, la falta de separación en la fuente y el diseño poco eficiente de las rutas de recolección. La ausencia de tecnologías avanzadas para la planificación y optimización de rutas genera costos operativos elevados y un impacto ambiental significativo debido al consumo excesivo de combustible y a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Ante este contexto, la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se presenta como una solución innovadora y eficiente para mejorar la planificación de rutas de recolección. Estos sistemas permiten optimizar la logística de recolección, reducir costos y minimizar el impacto ambiental, contribuyendo así a una gestión de residuos más sostenible.

PROBLEMÁTICA Y ESTADO DEL ARTE (MARCO TÉORICO)

La utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la gestión de residuos sólidos urbanos ha sido objeto de creciente interés en los últimos tiempos, ya que ofrece soluciones tecnológicas avanzadas para la optimización de las rutas de recolección. Los primeros enfoques de aplicación de SIG en la gestión de residuos se centraron en mejorar la planificación y eficiencia operativa de los servicios de limpieza.

En este sentido, el estado del arte en relación con la optimización de rutas de recolección de residuos sólidos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha sido ampliamente abordado en diversos contextos urbanos alrededor del mundo. Es por eso que, se destaca el estudio realizado por (Pesántez, 2022) en donde menciona que el rediseño de rutas de recolección

logró reducir los tiempos de recolección, así como también aumentó la cantidad de predios que se benefician del servicio de recolección.

La metodología propuesta para el rediseño de las rutas actuales de recolección de residuos utilizó dos herramientas del software ArcGis 10.4.1 denominadas Network Dataset y Network Analyst, mismas que permitieron el modelado de redes de transporte mediante la creación de sistemas viales interconectados dentro de un área determinada, permitiendo generar atributos de estos sistemas viales, tales como restricciones y sentidos de circulación en las vías.

La conclusión de esa investigación fue que, al actualizar la ruta de recolección se redujo el tiempo en 10 minutos (4.76%) con respecto al tiempo de ruta actual, además de incorporar 4.66 km (24.99%) a la distancia de recolección efectiva, lo cual conlleva un aumento de 125 predios nuevos que se beneficiarían del servicio de recolección de residuos sólidos.

Otro estudio es el realizado en Chiclayo por (Correa, 2018) ya que el municipio no contaba con la prestación de la recolección particular. Sin embargo, en los últimos años este servicio creció de manera desmedida, sin un correcto y estricto control, a tal grado que hubo un incremento en el número de trabajadores que prestan el servicio de recolección en el municipio.

El objetivo del estudio fue proponer la mejora del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de Chiclayo para reducir los impactos ambientales, respondiendo a la necesidad de la Municipalidad Provincial de mejorar o establecer procesos y procedimientos fundamentales en el área de recolección de residuos sólidos.

En 2013, el municipio de Chiclayo llevó a cabo un estudio de sectorización que dividió el área en 33 zonas (macro rutas) para optimizar la recolección de residuos, utilizando 17 compactadoras en tres turnos. Como parte del rediseño del sistema, se propuso implementar contenedores soterrados en puntos críticos de acumulación, lo que permitió aumentar la cobertura en un 78%. Mediante el uso de SIG y el software ArcGIS, se optimizaron las rutas, reduciendo el tiempo de recorrido en un 50% y la distancia en 14.3 km, generando ahorro de combustible y una operación más eficiente.

El estudio de Rada (2013) destaca diversas experiencias internacionales en la gestión de residuos sólidos, incluyendo dos casos italianos, uno chino y otro malasio.

En el caso de Italia, los estudios se centraron en el uso de sistemas Web-SIG (Sistemas de Información Geográfica basados en la WEB) para manejar el ciclo completo de los residuos(desde la generación hasta el destino final, como rellenos sanitarios o plantas de reciclaje). El objetivo fue automatizar y optimizar cada fase de la cadena de gestión.

En cambio, en China, se desarrolló una aplicación piloto innovadora para el seguimiento de los residuos urbanos que empleó tecnología de sensores distribuidos. Esto implicó la instalación de una red de contenedores con sensores conectados a un sistema de gestión de datos compatible con la Web y con SIG.

Y en Malasia, la implementación prototipo se basó en la combinación de herramientas de Radiofrecuencia –RFID con un SIG organizado por un servidor Web.

Otro estudio a destacar fue realizado por (Briceño Mejía, 2022) en donde se refiere a la importancia del sistema de recolección de residuos sólidos en el cantón Calvas, provincia de Loja, cuyo objetivo fue rediseñar las rutas de recolección mediante un algoritmo y comparar las opciones de recogida de plásticos mediante la eficiencia ecológica como indicador de desempeño.

El servicio de recolección de residuos en las parroquias urbanas de Cantón Calvas se realiza mediante dos rutas: una verde que cubre la parroquia de San Vicente y parte de Cariamanga, y otra amarilla que abarca la parroquia de Chile y otra sección de Cariamanga, alcanzando un 95% de cobertura. Para optimizar estas rutas, se usó el software ArcMap con la extensión Network Analyst, tomando en consideración el sentido de las vías y la topografía, especialmente en sectores propensos a riesgos invernales.

La optimización de la ruta 1 aumento su longitud en 5.87 km (de 40.01 km a 43.55 km), pero redujo el tiempo de recolección de 6h11m a 5h30m, ampliando la cobertura. En contraste, la ruta 2 se acortó 1.67 km (de 41.34 km a 39.92 km), con una reducción de tiempo de 4h35m a 3h7m, gracias a menores giros a la

izquierda. Esto permitió un recorrido más eficiente, menor uso del vehículo y ahorro en combustible.

Así mismo un estudio realizado por (Shagui, 2022) se orientó a la mejora de la gestión de residuos sólidos en contextos rurales y de difícil acceso. Su objetivo fue caracterizar los residuos sólidos de Taisha y determinar un sistema adecuado de recolección de rutas utilizando ArcGIS y AutoCAD. La metodología utilizada fue propuesta por el doctor Kunitoshi (Sakurai) en 1980.

El resultado obtenido fue la reducción en tiempo y kilometraje, Cabe mencionar que, en la ruta actual no se respetaba el sentido de las vías, con las consecuencias negativas como accidentes de tránsito o ser sancionado por las autoridades de control. En el nuevo sistema de recolección se consideró que el 100% de su recorrido respete el sentido de vialidad.

El estudio realizado por Martínez (2018) tuvo como objetivo principal rediseñar las rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarias en la ciudad de Tulcán para mejorar el servicio a toda la población urbana.

Para ello, iniciaron con la evaluación del sistema actual y a través de investigación de campo, se estudiaron los tiempos y movimientos reales del proceso de recolección. Además, se aplicaron encuestas en donde se consultó a la población servida, sobre su experiencia con el sistema de recolección vigente.

El autor evaluó la eficiencia operativa y la satisfacción ciudadana para proponer sistema de frutas de recolección optimizado.

El diseño de las rutas siguió la metodología del Doctor Kunitoshi (Sakurai) citada en Cantanhede et al (2005); de esta manera se diseñaron 4 macro rutas de recolección divididas en 8 zonas operativas con un promedio de generación de residuos de 8,25 ton/zona. Cada zona es cubierta por un vehículo específico con una eficiencia de ocupación de aproximadamente el 90%; la frecuencia de recolección pasando un día que incluye los días domingo se aplica en el sector residencial y la frecuencia diaria en el sector comercial. Se diseñaron micro rutas mediante la combinación de algoritmos matemáticos y métodos heurísticos.

Se concluyó que el rediseño de las micro rutas de recolección permitió incrementar el uso de la jornada laboral en un 28% reduciendo el recorrido mensual en 45%. Esto deriva en la disminución de la cantidad de combustible y en la reducción del 55% de la cantidad de gases de efecto invernadero emitido a la atmósfera, es decir, se dejarán de emitir 155 toneladas de CO2 anualmente.

Y para finalizar, hay otro estudio que se enfoca en las rutas de recolección que fue realizada por (Diaz, 2013) en donde, parte de los indicadores para el Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública, elaborados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS, 2002), en los cuales EMASEO EP basa su operación, cuyo objetivo principal fue implementar un Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando la extensión ArcGIS Network Analyst, para generar rutas óptimas de recolección de residuos sólidos (RSU) para la empresa EMASEO EP en la Administración Zonal Eloy Alfaro de Quito.

El estudio antes mencionado, tuvo como elementos importantes los siguientes:

Herramienta y Datos: El SIG se alimentó con datos estadísticos de 2012 sobre la recolección de RSU "a pie de vereda" en dicha zona para optimizar los recorridos.

Microrutas: Se definen formalmente las microrutas (según la Ordenanza Metropolitana 332) como el trayecto detallado por calles y manzanas que deben seguir los vehículos. El diseño de estas rutas debe adherirse a parámetros específicos de la Ordenanza (Subcapítulo IV, artículo 17).

Logística de Ruta: Para elaborar las microrutas se deben considerar dos puntos vitales: el centro de operaciones (salida y regreso del vehículo) y la estación de transferencia (donde se descargan los residuos a mitad de jornada). Por lo tanto, cada ruta implica al menos dos viajes.

Optimización: El propósito de diseñar estas microrutas es asegurar la recolección completa de residuos minimizando el tiempo de operación. Esto se logra evitando "distancias muertas" o ineficientes, como retrocesos, excesos de giros (en U o a la izquierda) y calles de difícil acceso.

Con ello, se determinó que EMASEO EP necesita urgentemente generar y mantener rutas óptimas para garantizar la eficiencia del servicio. Estas rutas requieren actualización constante debido al crecimiento urbano y la incorporación de nuevos métodos de recolección, como la contenerización.

En esencia, el estudio buscó modernizar y hacer más eficiente la recolección de residuos de EMASEO EP en la zona Eloy Alfaro, usando tecnología SIG para diseñar rutas detalladas que minimicen costos y tiempo

Con todo lo antes mencionado y haciendo referencia a la problemática y al enfoque teórico se define la siguiente pregunta de investigación.

¿En qué medida la implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permite optimizar las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos, con el fin de reducir tiempos de recorrido, distancias y aumentar la cobertura del servicio?

OBJETIVOS

Objetivo general

Actualizar las rutas de recolección de residuos sólidos a pie de vereda en la administración zonal Calderón del DMQ, utilizando Sistemas de Información Geográfica con el fin de mejorar la eficiencia operativa.

Objetivos específicos

Diagnosticar las rutas actuales de recolección de residuos sólidos en la Administración Zonal Calderón, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de áreas que requieren optimización.

Actualizar cuatro rutas de recolección a pie de vereda, como estudio piloto, optimizando los procesos de recolección para la mejora en la prestación del servicio.

METODOLOGÍA

La presente investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo, ya que busca medir y analizar variables operativas (tiempos, distancias, cobertura) relacionadas con la eficiencia de las rutas de recolección de residuos sólidos,

utilizando herramientas geográficas y estadísticas para validar hipótesis y optimizar procesos.

Es importante recordar que la gestión de residuos sólidos es competencia de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADs) y esta debe desarrollarse en un medio sostenible, considerando factores característicos de cada zona que permitan generar beneficios ambientales a bajo costo (Marquez, 2010).

De acuerdo a SEDESOL(s/f), La planificación de un sistema de recolección de residuos exige considerar todas sus variables. Elegir de forma acertada el método y la frecuencia de recogida es vital porque influye directamente en el cálculo del personal y la flota de vehículos necesarios. Al optimizar estos dos parámetros clave, se logra una mayor eficiencia en el trabajo del personal, lo que se traduce en una disminución significativa de los gastos de operación A continuación, se describe la metodología aplicada:

1. Diseño de la investigación

El estudio está basado en métricas operativas (tiempos, distancias, cobertura) para evaluar y optimizar rutas de recolección, dentro de las cuales se considera:

- Revisión bibliográfica: Estado del arte sobre optimización de rutas con SIG.
- Diagnóstico de rutas actuales: Recopilación y análisis de datos.
- Propuesta de optimización: Rediseño de rutas mediante SIG.
- Validación comparativa: Contrastación de resultados pre y post-actualización.

2. Fuentes de información y herramientas

- **Software SIG**

ArcGIS es un conjunto de herramientas que permiten la visualización y el manejo de información geográfica, y que cuenta con una arquitectura extensible mediante la que pueden añadirse nuevas funcionalidades (Olaya, 2011).

Estas son las conocidas extensiones, entre las cuales se pueden destacar Spatial Analyst (análisis raster), 3D Analyst (análisis 3D y de relieve) o Geostatistical Analyst (geoestadística).

- **GPS (ECUATRACKER)**

ECUATRACKER es un servicio de rastreo y monitoreo satelital en tiempo real, con tecnología de punta que está apoyada en el Sistema de Posicionamiento Global GPS y la red celular GSM/GPRS, la cual permite medir monitorear el tiempo de recolección, cobertura realizada y paradas improductivas.

- **Datos geoespaciales del Censo de Población y Vivienda del Ecuador (2022)**

A partir de esta información estadística actualizada, se establecieron tres geocercas de estudio como piloto, asegurando una muestra representativa de las diferentes realidades territoriales dentro de la Administración Zonal Calderón.

3. Selección de geocercas y zonas de estudio

La Administración Zonal Calderón del Distrito Metropolitano de Quito está conformada oficialmente por dos parroquias rurales: Calderón y Llano Chico, según la división administrativa establecida por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y el Municipio del DMQ.

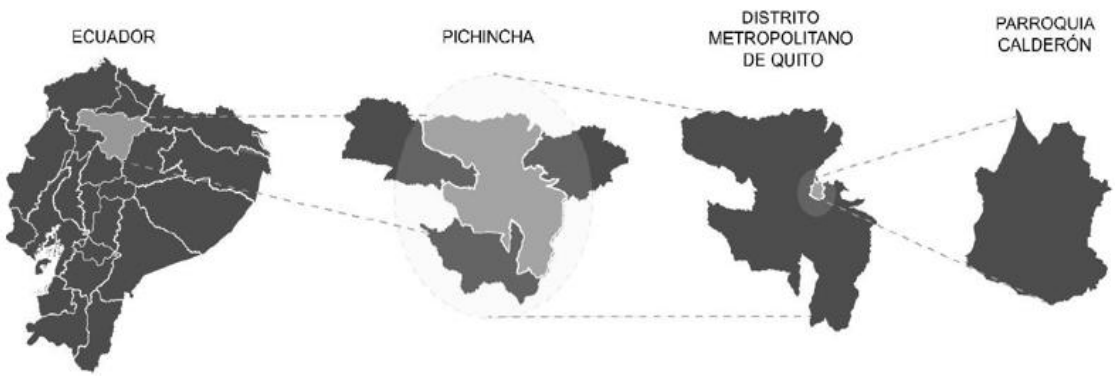


Imagen 1: Mapa de ubicación parroquia Calderón (Villavicencio, 2024)

Sin embargo, para fines operativos y de planificación interna, EMASEO EP ha subdividido su territorio en 18 geocercas, que corresponden a barrios, conjuntos habitacionales, comunas y sectores estratégicos utilizados para la distribución del servicio de recolección de residuos sólidos a pie de vereda.

Dado que el objetivo de este estudio es evaluar la eficiencia operativa y actualizar las rutas de recolección mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), es necesario establecer la población total que corresponde a cada geocerca.

Para ello, se clasificó de la siguiente manera:

Alta población – Parroquia Calderón

Población: 250 877 habitantes, es la parroquia rural más poblada de Ecuador y cuenta con amplia infraestructura urbana.

Mediana población – Parroquia Llano Chico

Población: 15 113 habitantes, presenta un perfil intermedio entre lo urbano y lo rural.

Baja población – (comunas rurales como Oyacoto, San Miguel del Común y Bellavista)

Las comunas de Oyacoto, San Miguel del Común y Bellavista, tienen densidad muy baja, debido a que se encuentran en las periferias.

4. Diagnóstico de eficiencia de rutas actuales

Se realizó un análisis de las rutas de recolección de residuos sólidos en la Administración Zonal Calderón. Utilizando Sistema de Información Geográfica (SIG), se identificaron las áreas críticas en las que las rutas actuales no son eficientes, ya sea por tiempos improductivos, recorridos innecesarios, o zonas con altos niveles de residuos no recolectados adecuadamente.

5. Actualización de rutas mediante SIG

Con base en los resultados del diagnóstico, se procedió a la actualización de las rutas de recolección de residuos. Esto implicó el rediseño de las rutas utilizando herramientas SIG, considerando criterios como la reducción de tiempos improductivos, la mejora en la cobertura de la zona y la adaptación a las condiciones de la infraestructura urbana, incluyendo áreas susceptibles a efectos climáticos adversos.

6. Análisis y comparación de los resultados obtenidos.

Una vez actualizadas las rutas, se realizó un análisis comparativo entre las rutas originales y las propuestas. Este análisis tomó en cuenta indicadores como:

- Adecuada estructura en la base de datos de la EMASEO EP
- Tiempos y distancias recorridas en cada ruta.
- Aumento en la cobertura geográfica efectiva.
- Disminución de tramos improductivos o sin carga.
- Balance de carga laboral por ruta o por recolector.

Adicionalmente, se estimaron los beneficios operativos y ambientales de la actualización propuesta, incluyendo la reducción de emisiones y mejoras en la calidad del servicio percibido por la comunidad.

Además, con el fin de comprender adecuadamente la estructura operativa del servicio de recolección y optimizar su análisis, es importante tener presente los siguientes conceptos clave:

Geocercas

En el contexto del servicio recolección, las geocercas son utilizadas para definir zonas de operación y control de actividades logísticas, permitiendo registrar y analizar el comportamiento del personal y los vehículos dentro de estas zonas mediante herramientas de georreferenciación y sistemas de información geográfica (SIG).

Microrutas de recolección

De acuerdo a Cerrón (2010), se designa como microruta, al itinerario específico que la flota vehicular debe seguir cotidianamente para la recogida de los residuos generados en calles y manzanas. La meta de su diseño es asegurar una cobertura total de una zona asignada de forma sistemática y efectiva, optimizando los tiempos operativos al eliminar las ineficiencias del proceso de recolección.

Métodos de recolección

Según SEDESOL (s/f), los métodos de recolección de residuos sólidos se clasifican según el grado de tecnificación del vehículo utilizado, manuales (para

zonas rurales o de difícil acceso) y semi mecanizados o mecanizados (para zonas urbanas).

En ese sentido los métodos de recolección son los siguientes:

- Método de esquina o recolección en punto de acopio/Parada fija.

Este método requiere una alta participación del usuario, quien lleva sus recipientes hasta un punto fijo preestablecido donde espera el vehículo recolector para vaciarlos. Es el método económico, sin embargo, su eficiencia está limitada por el grado de organización de cada sector (Gutiérrez, 2008).

- Método de acera o recolección a pie de vereda

Considerado semi mecanizado, en este sistema el personal recolector retira los recipientes (bolsas, baldes, cajas, etc.) que los usuarios han dejado en la acera, los vacía en el camión y los devuelve al sitio para que el usuario los reingrese a su propiedad. En este método la participación del usuario es media y se requiere que el vehículo se desplace a bajas velocidades. Cabe mencionar que si no se establecen horarios fijos, los animales callejeros nto pueden dispersar la basura, lo que aumenta el tiempo y trabajo de limpieza (Marquez, 2010).

- Método de contenedores

Este es un método mecanizado y es similar al método de esquina, ya que el vehículo se dirige a puntos de acopio fijos donde se ubican grandes contenedores. Los usuarios depositan los residuos en estos contenedores a lo largo del día. Su uso es ideal para zonas de gran generación de residuos, como hospitales, hoteles y centros comerciales. La participación del usuario es alta. (Gutiérrez, 2008).

RESULTADOS

Aplicados los parámetros de la metodología, el estudio inició con la recopilación de datos operativos proporcionados por la Empresa Pública Metropolitana de Aseo (EMASEO EP), datos que pertenecen a su última actualización en el año 2014 (ver imagen 2).

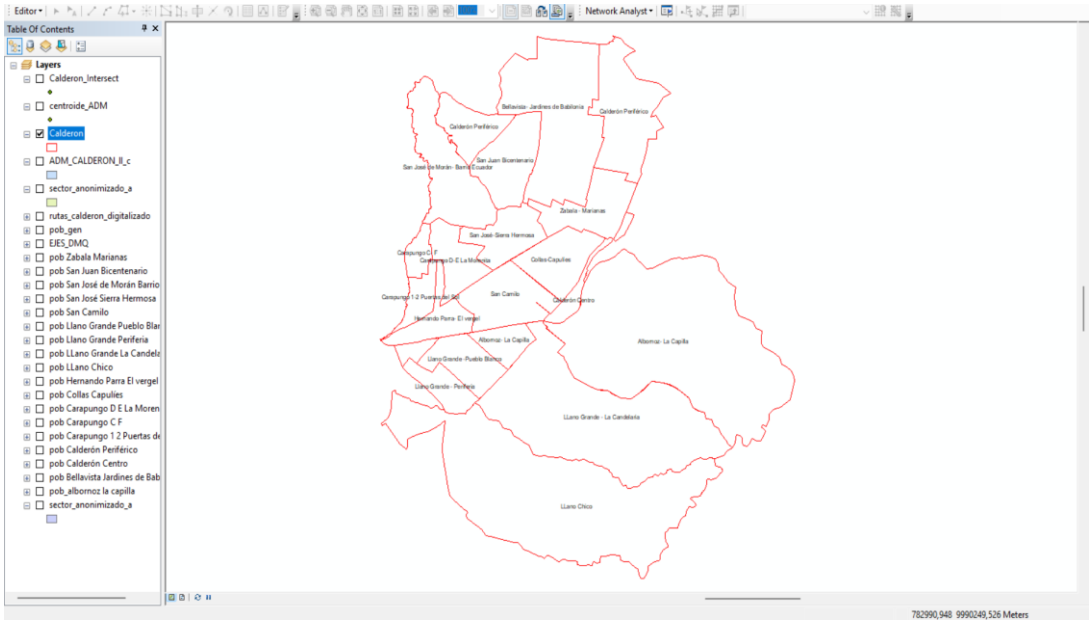
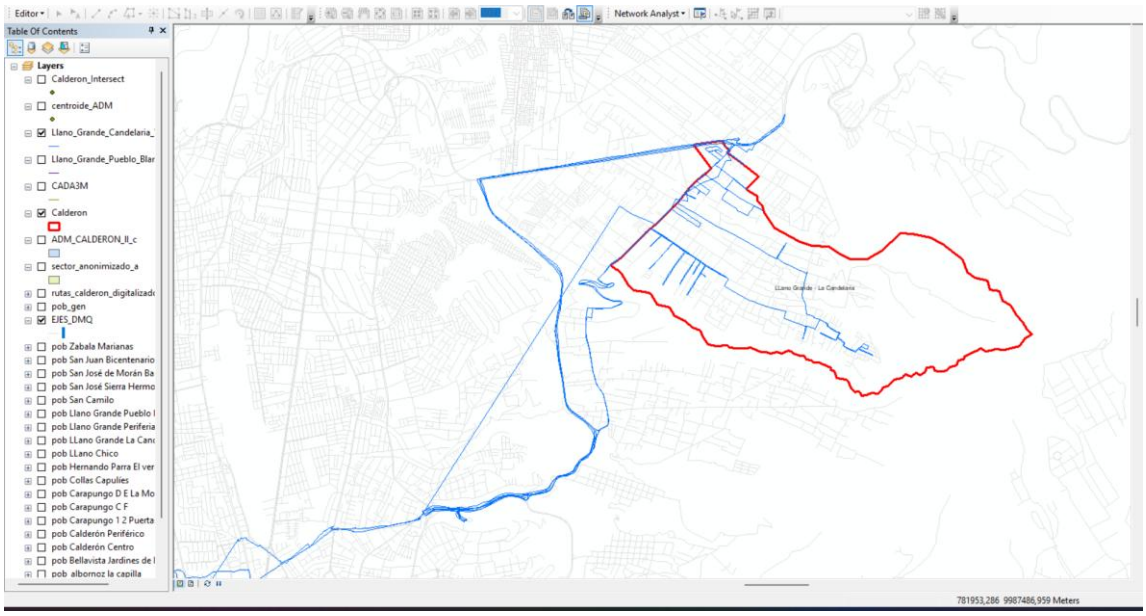


Imagen 2: *geocercas de recolección (EMASEO EP, 2014)*

Además, se recopiló información de las microrutas disponibles en su base de datos, la que presenta atributos insuficientes y trayectos que no se ajustan adecuadamente al eje vial, lo que dificulta la verificación precisa de las distancias (ver imagen 3).



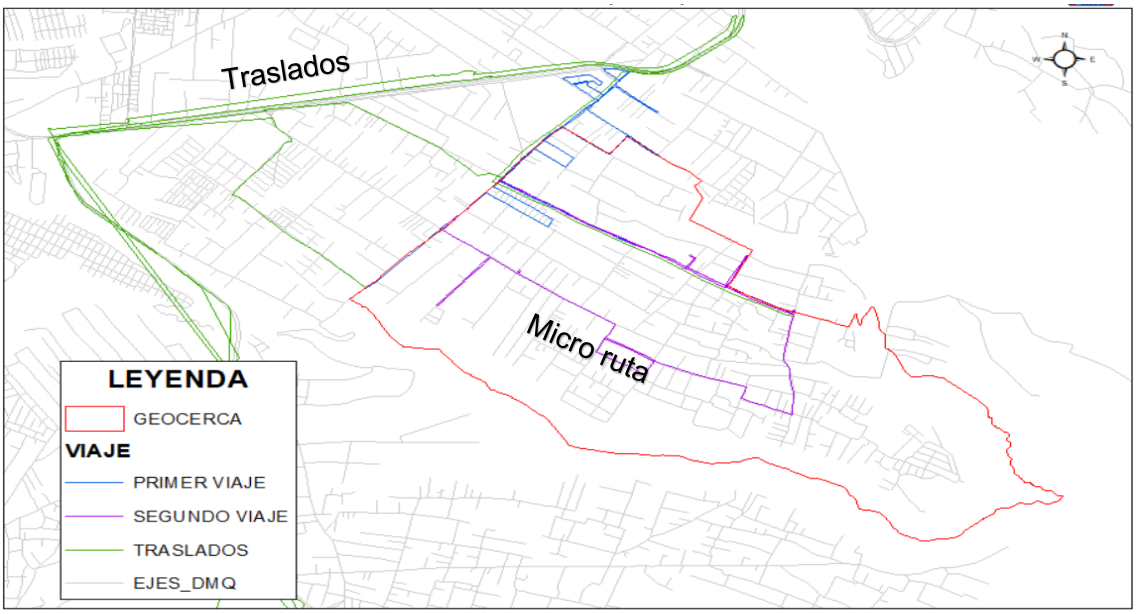


Imagen 3: *Microrutas de recolección (EMASEO EP, 2014)*

Adicionalmente, se recopiló información desde la plataforma de monitoreo satelital ECUATRACKER, la cual permite visualizar la actividad operativa en tiempo real. Esta herramienta facilita además la descarga de los recorridos en formato GPX, permitiendo su incorporación en un sistema de información geográfica (SIG) para su posterior procesamiento y análisis (ver imagen 4).

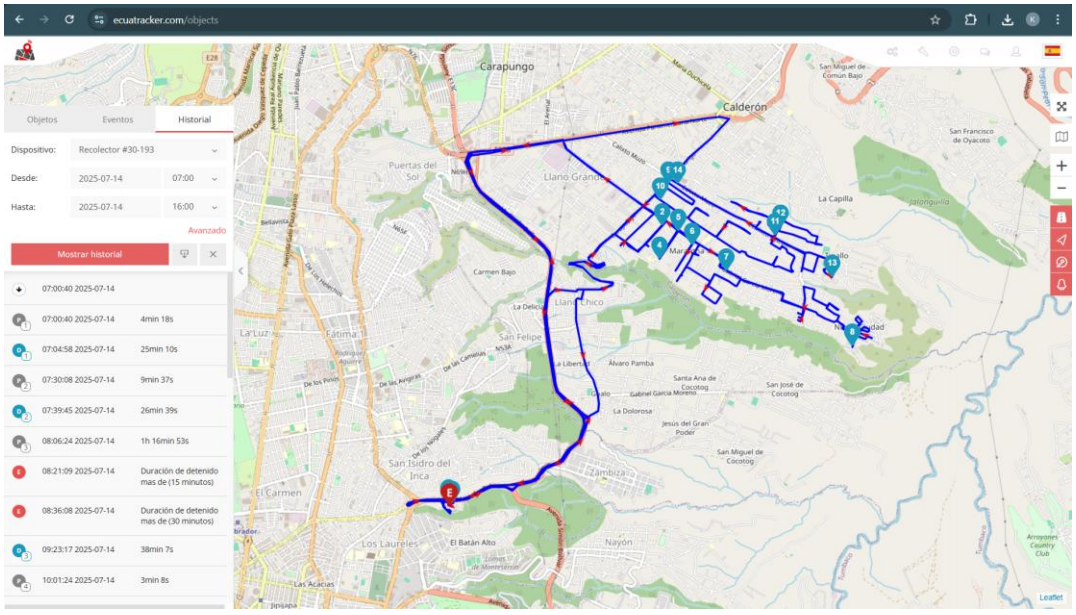


Imagen 4: *Plataforma de monitoreo satelital ECUATRACKER (EMASEO EP)*

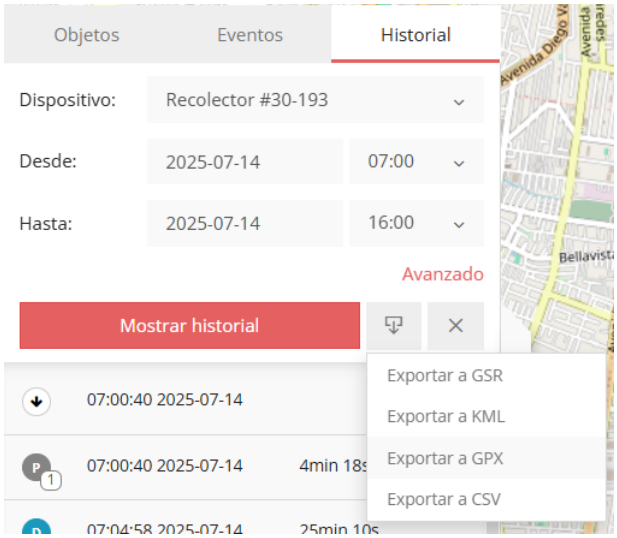


Imagen 5: *Formatos descargables en ECUATRACKER*

Una vez recopilada la información correspondiente a la Administración Zonal Calderón, se procedió a identificar datos oficiales del censo 2022, con el fin de obtener la población actual y seleccionar las cuatro geocercas de estudio (ver imagen 6).

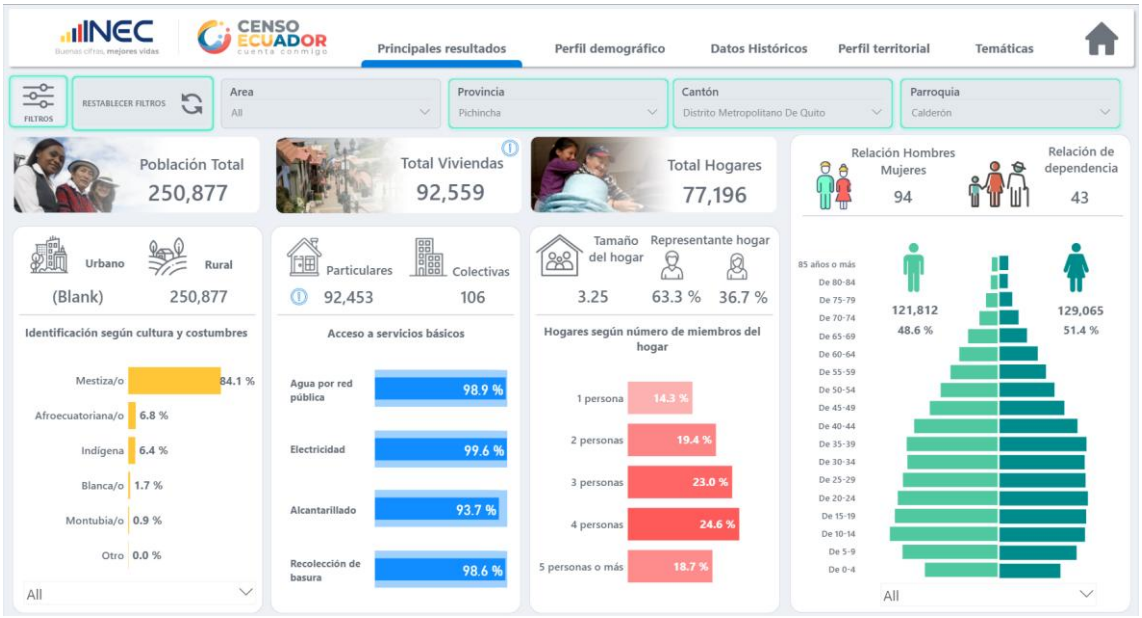


Imagen 6: *Captura en pantalla del sitio web del INEC-Censo Ecuador 2022*

Además de contar con las cifras en línea, el INEC dispone de una fuente descargable en formato shapefile (SHP), lo cual facilita el análisis espacial y permite realizar filtros por sectores de manera más eficiente (ver imagen 7).

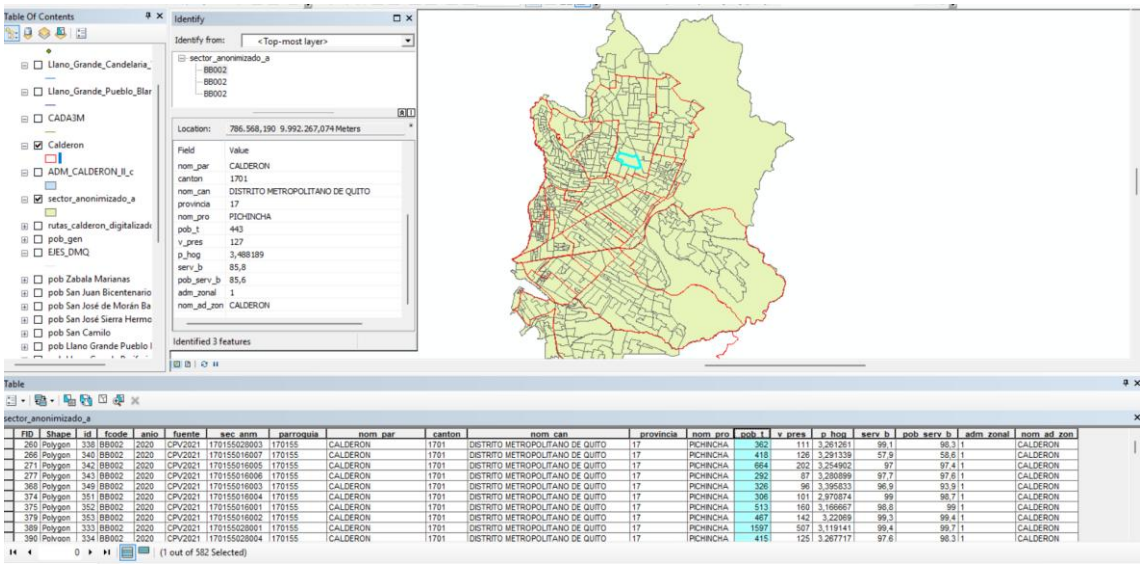


Imagen 7: *Shapefile, sector anonimizado Censo Ecuador 2022 - INEC*

Con esta información recopilada, se realizó una superposición de los datos censales de población del año 2022 con las rutas y geocercas operativas. Esta integración permite evidenciar, de forma espacial, las zonas con mayor concentración poblacional, lo cual, complementado con información operativa actualizada, facilita la identificación de áreas con mayor, media y baja generación de residuos y, por tanto, prioritarias para el análisis y optimización del servicio de recolección de residuos sólidos (ver imagen 8).

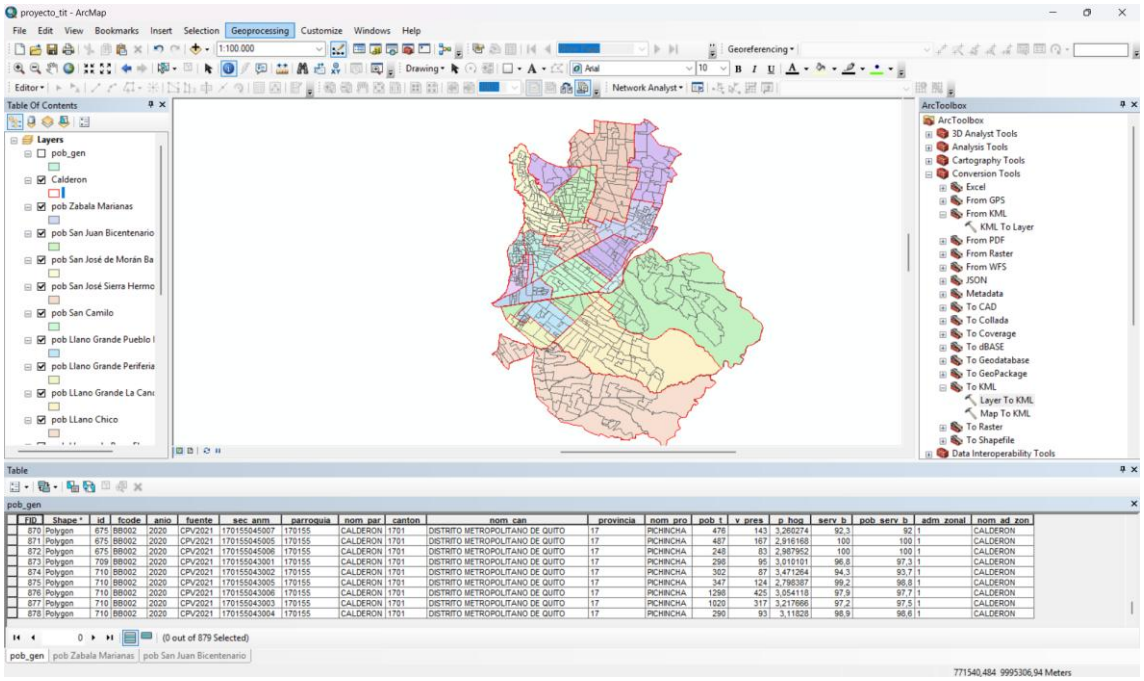


Imagen 8: *Resultado de la superposición de datos y extracción de la data de población por geocercas.*

Como resultado de la superposición y aplicación de herramientas de geoprocesamiento como *Feature to point, Intersect* y *Clip* se obtuvo la siguiente tabla de población por geocerca.

NOMBRE	Total
Llano Grande - Periferia	5.148
Calderón Periférico	10.649
Llano Grande -Pueblo Blanco	12.896
Llano Chico	15.689
Carapungo D-E La Morenita	15.899
Collas-Capulíes	16.468
Llano Grande - La Candelaria	17.153
Zabala - Marianas	17.750
Albornoz- La Capilla	18.989
San Juan Bicentenario	19.521
San José de Morán- Barrio Ecuador	22.353
Bellavista- Jardines de Babilonia	26.049
Total, población General	**198.564**

Tabla 1: *Población total por geocercas*

De la tabla anterior se evidencia que, la zona Bellavista – Jardines de Babilonia presenta la mayor concentración poblacional, con 26.049 habitantes, consolidándose como el sector con mayor demanda potencial del servicio de recolección. Le siguen las geocercas de Collas – Capulíes y Llano Grande – La Candelaria, con 16.468 y 17.153 habitantes, respectivamente, las cuales representan áreas de demanda media del servicio. Por otro lado, la zona con menor población es Llano Grande – Periferia, con 5.148 habitantes, lo que permite establecer con mayor certeza los sectores prioritarios para el análisis, actualización y optimización de las rutas de recolección.

DESCRIPCIÓN Y REPRESENTACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS MICRORUTAS SELECCIONADAS DEL AÑO 2014

Una vez seleccionadas las cuatro zonas de estudio como piloto, es importante conocer el estado actual de las microrutas existentes. Esto permite evaluar,

desde una perspectiva espacial, si estas rutas cubren de forma adecuada el territorio asignado y si responden eficientemente a la distribución poblacional actual. Esta comparación entre el diseño previo y la realidad territorial sentó las bases para identificar inconsistencias, omisiones o redundancias que requieren corrección durante el proceso de actualización.

Microruta Llano Grande – Periferia 5.148 habitantes

Se puede observar que la microruta sobrepasa el perímetro establecido, abarcando sectores no contemplados inicialmente. Aunque dentro de la geocerca se evidencia cobertura, actualmente existen nuevas calles por las que la ruta también transita y que no han sido consideradas en la cartografía original, por lo que es necesario realizar una actualización (ver imagen 9).

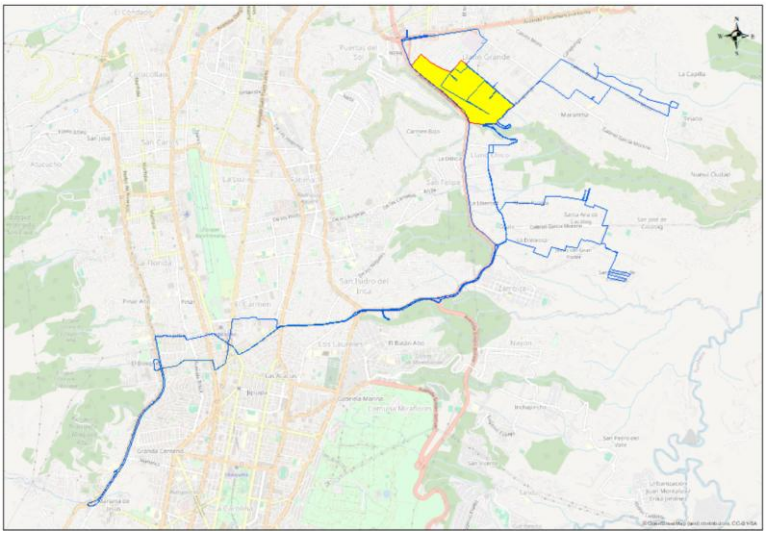


Imagen 9: *Microruta y geocerca Llano grande - Periferia.*

Microruta Collas – Capulíes 16.468 habitantes

En este caso se evidencia que la microruta cumple con el área de recolección asignada; sin embargo, también es necesario actualizar la cobertura para incluir las nuevas calles que se han ido integrando con el tiempo, a fin de garantizar una planificación más precisa y eficiente (ver imagen 10).

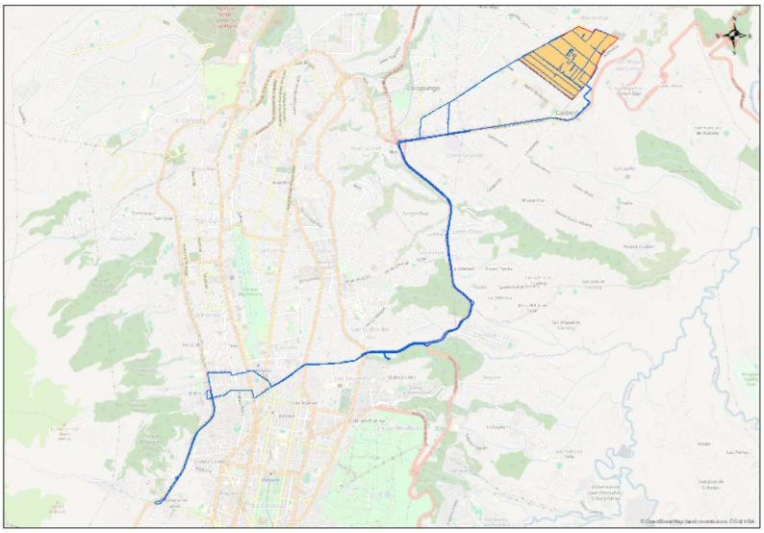


Imagen 10: Microruta Collas – Capulíes.

Microruta Llano Grande – La Candelaria 17.153 habitantes

En este caso se evidencia que la microruta cumple con el área de recolección asignada, sin embargo, también realiza parte de otra geocerca lo cual indica que es necesario actualizar la cobertura para incluir las nuevas calles que se han ido integrando con el tiempo, a fin de garantizar una planificación más precisa y eficiente (ver imagen 11).

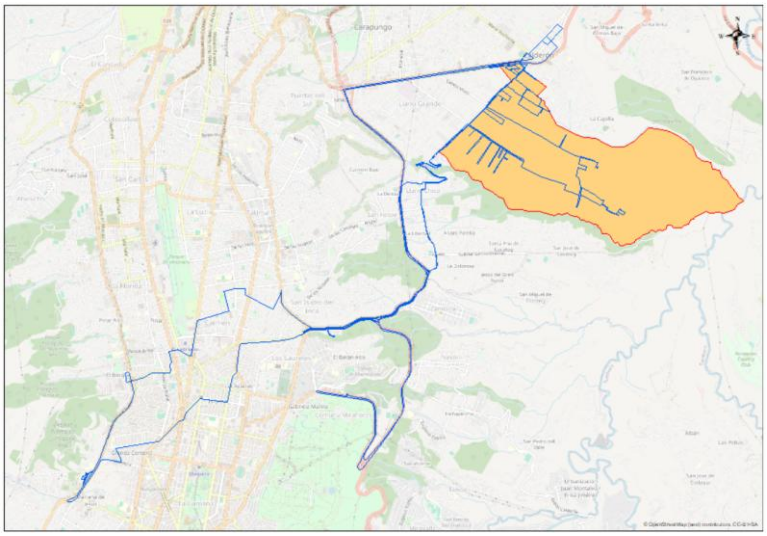


Imagen 11: Llano Grande – La Candelaria

Microruta Bellavista – Jardines de Babilonia 26.049 habitantes

En este caso se evidencia que la microruta se encuentra dentro de la geocerca; no obstante, más de la mitad del área delimitada no está siendo atendida. Por

ello, resulta fundamental actualizar la cobertura para incluir las nuevas calles que se han incorporado con el tiempo (ver imagen 12).

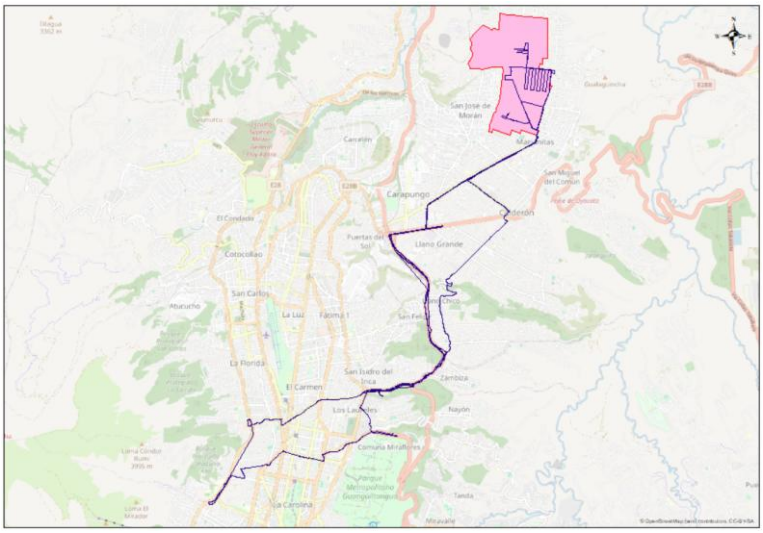


Imagen 12: Microruta Bellavista – Jardines de Babilonia

IDENTIFICACION DE LAS RUTAS SELECCIONADAS PARA SU DESCARGA DE PUNTOS GPX EN ECUATRACKER

El objetivo de esta fase consiste, en primer lugar, en identificar visualmente las inconsistencias en el trazado de la ruta mediante la aplicación ECUATRACKER (específicamente aquellas que presentan desviaciones e irregularidades en cuando al eje vial y adicionalmente, obtener datos de localización GPS precisos y verificar trayectos innecesarios y que no están contemplados dentro de la ruta habitual). Esta información fue utilizada para su posterior exportación al software ArcMap, donde se procedió a la digitalización de la ruta y al cálculo de los tiempos de ejecución operativa (ver imágenes 13 y 14).

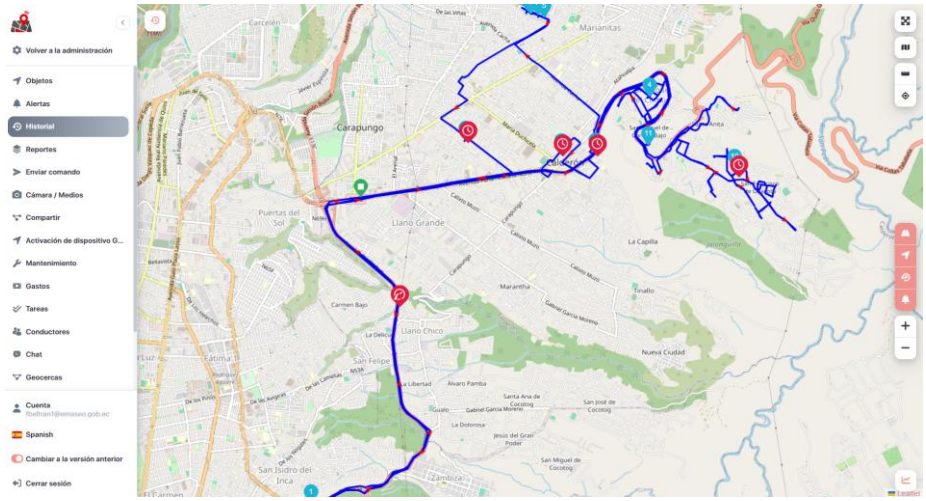


Imagen 13: Plataforma ECUATRACKER y monitoreo en tiempo real de las rutas seleccionadas

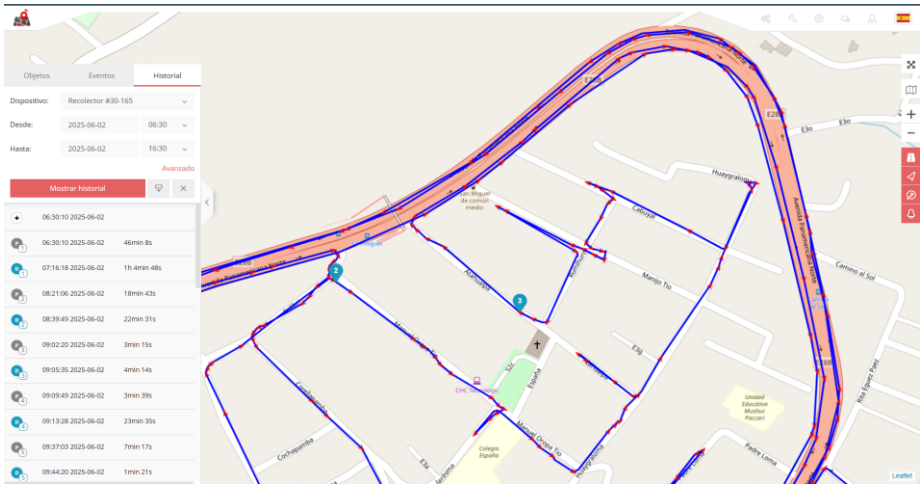


Imagen 14: Microruta recorrida con poca precisión en el trazado de la ruta en referencia al eje vial.

Descarga e importación de datos al software ArcGIS

Es importante señalar que, dentro de la plataforma ECUATRACKER se va a seleccionar el archivo que tenga formato GPX, puesto que este alberga atributos necesarios para su posterior digitalización, y extracción de información.

Una vez descargados los datos, para importarlos en **ArcGIS**, se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Almacenar las descargas en una carpeta acorde a la ruta.

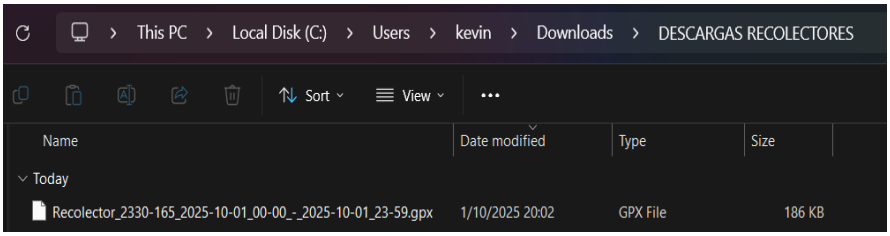


Imagen 15: *Almacenamiento en PC*

2. Abrir un nuevo proyecto en ArcGIS y seleccionar el icono de **ArcToolbox**, seguido de eso se desplegarán más ítems en los cuales se va a seleccionar **Conversion Tools → From GPS → GPX To Features**

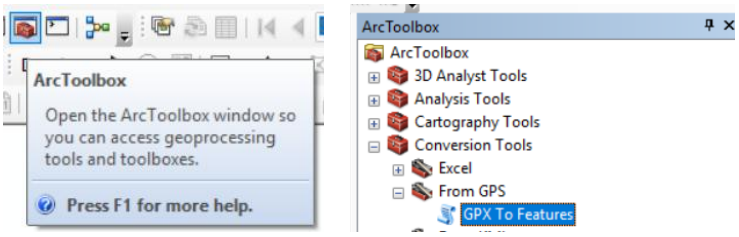


Imagen 16: *ArcToolbox*

3. A continuación, se despliega una ventana en donde se debe subir el archivo que se descargó anteriormente y finalizamos dando clic en OK.

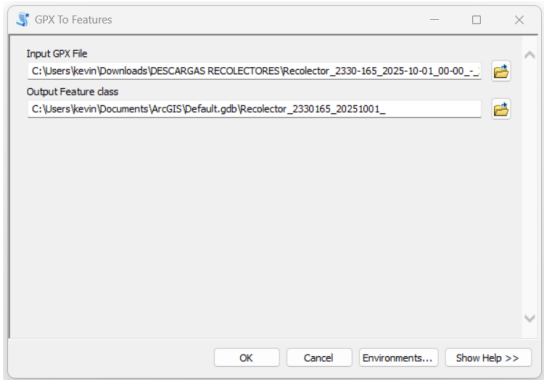


Imagen 17: *GPX To Features*

4. Después de seleccionar OK en el paso anterior, se importan los datos en formato de puntos, y cada uno de estos puntos va a tener sus atributos como sus coordenadas y el tiempo en el que se registró en la plataforma ECUATRACKER.

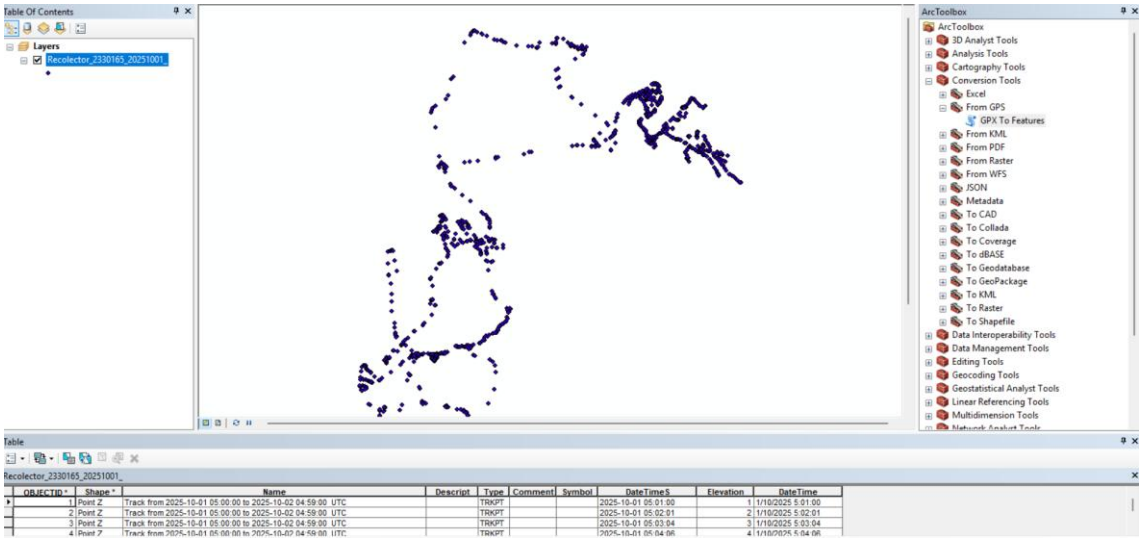


Imagen 18: *puntos cargados desde el archivo GPX*

Continuando con el proceso y una vez aclarados los pasos de descarga e importación se descargan los datos para las respectivas rutas seleccionadas.

- **Llano Grande – Periferia**

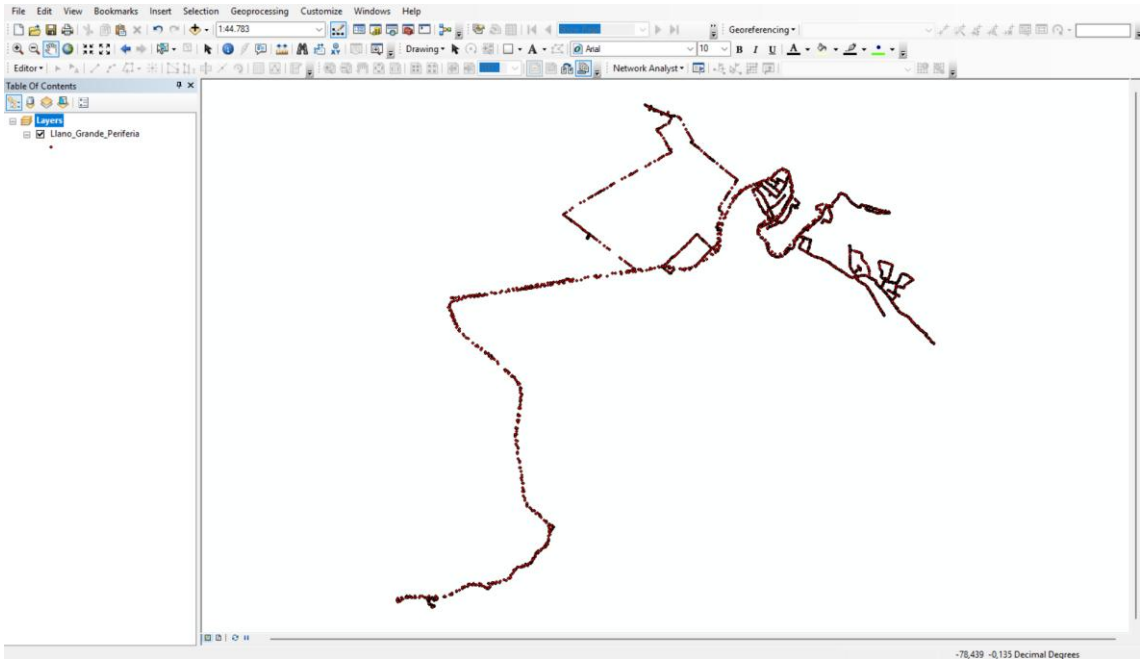


Imagen 19: *Puntos Microruta Llano Grande – Periferia*

- **Collas – Capulíes (Capulíes – Zabala)**

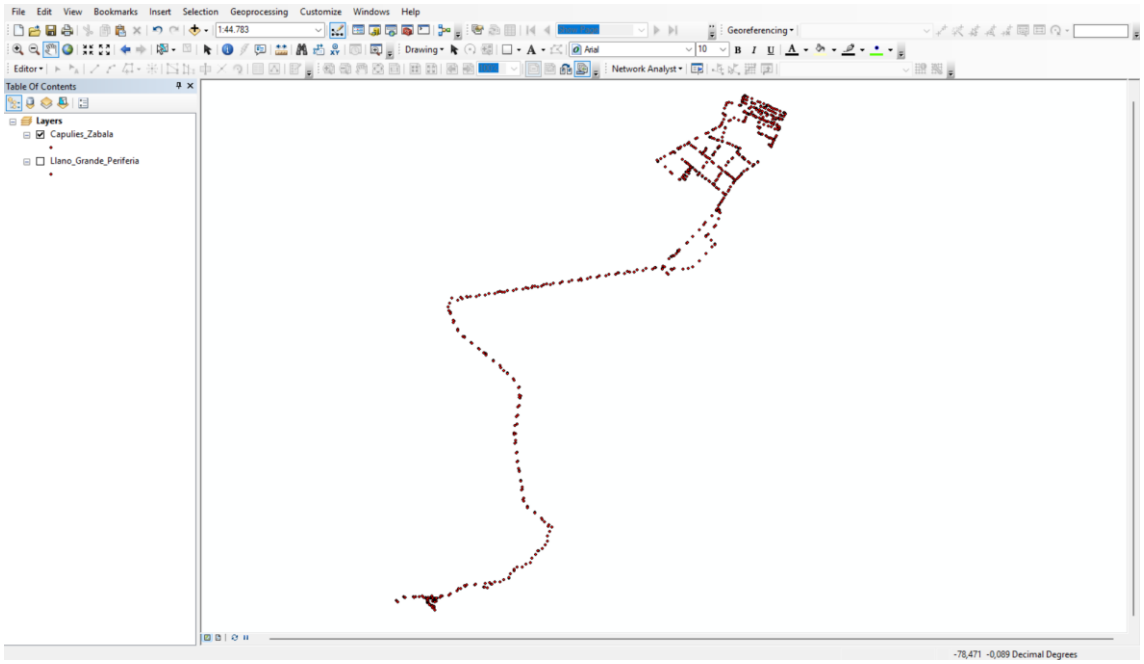


Imagen 20: *Puntos Microruta Capulíes - Zabala*

- **Llano grande – La Candelaria**

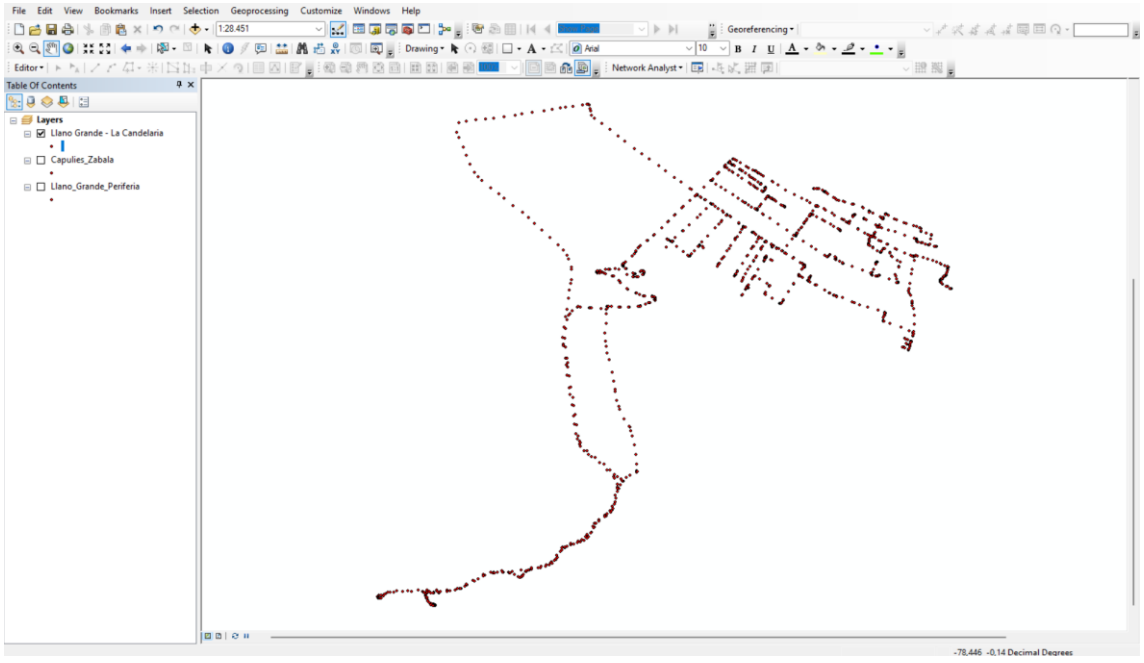


Imagen 21: *Puntos Microruta Llano Grande – La Candelaria*

- **Bellavista – Jardines de Babilonia**

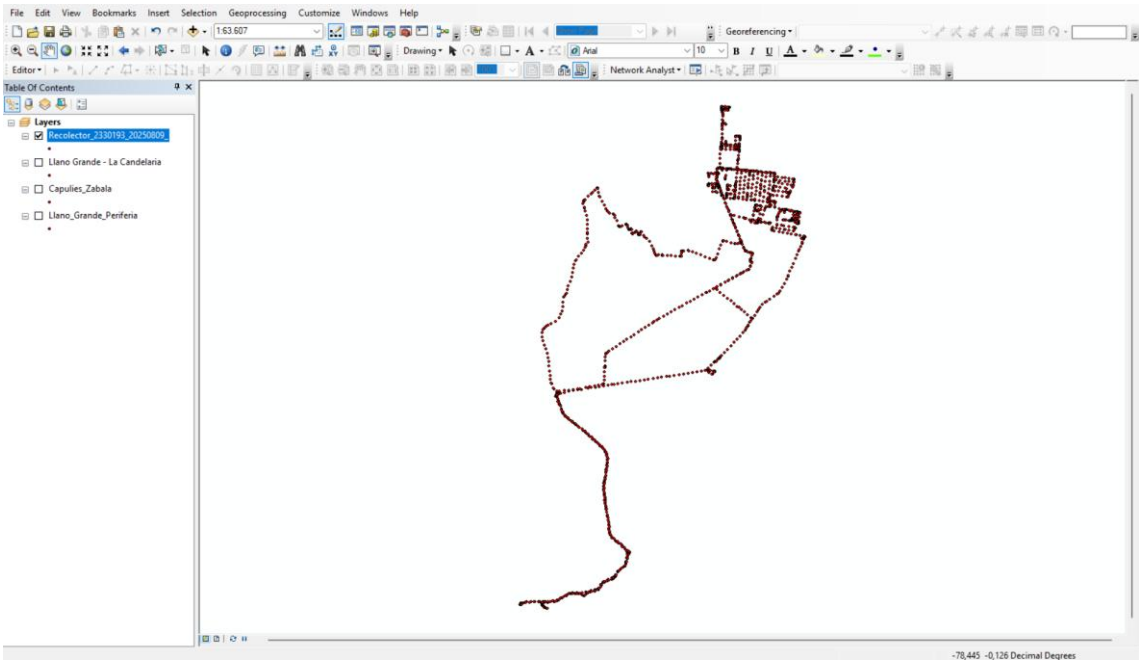


Imagen 22: *Puntos Microruta Bellavista – Jardines de Babilonia*

DIGITALIZACIÓN Y ACTUALIZACIÓN

En esta etapa los datos importados anteriormente en forma de punto son integrados en el software ArcGIS de tal forma que usando la herramienta **Reshape Feature Tool → Trace** 

va a asegurar que las ruta se ajusten al eje vial y reflejen con precisión el trazado real. A partir de este procedimiento es posible calcular los tiempos de traslado y recorridos efectuados durante la prestación del servicio de recolección.

Procedimiento:

1) Se crea una nueva capa en formato shp, para esto se va a dar clic en **Catalog** se va a desplegar las carpetas que almacena nuestro computador, seguido de eso se dentifica la carpeta de nuestra elección y con **clic derecho** sobre la carpeta se despliegan las opciones en donde se selecciona **New → Shapefile.**

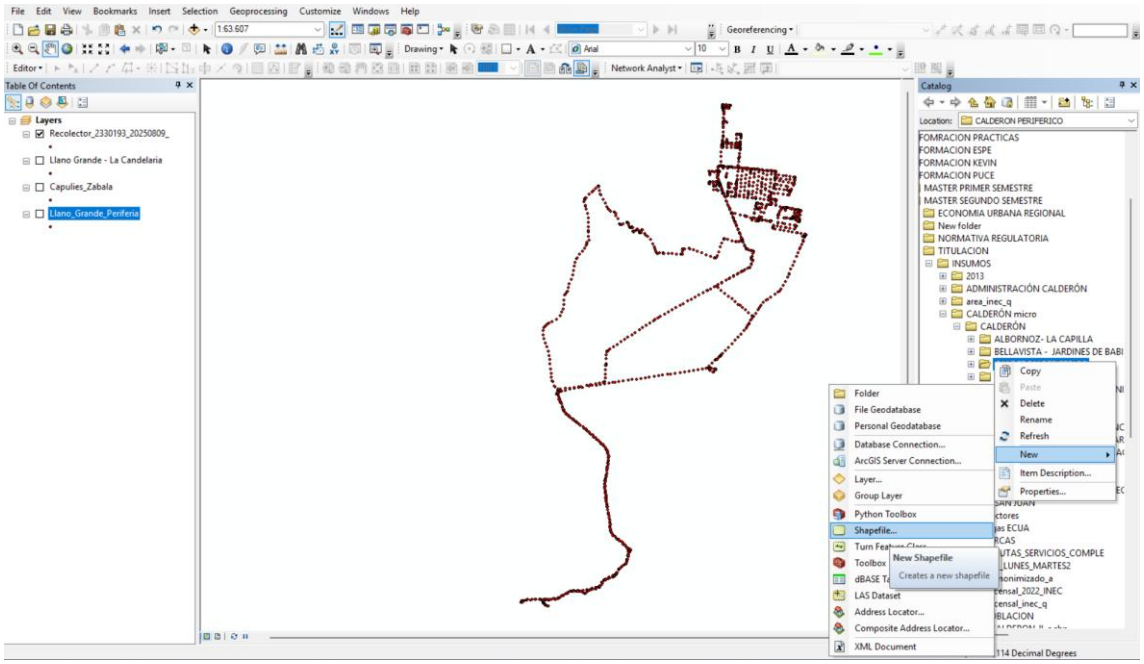


Imagen 23: *Creación de un nuevo shapefile -shp*

2) Una vez que se seleccionó el paso anterior se despliega una ventana en la cual se guarda con el nombre de la Microruta (de preferencia), también es necesario crear como **Polyline**, y lo más importante seleccionar el sistema de referencia.

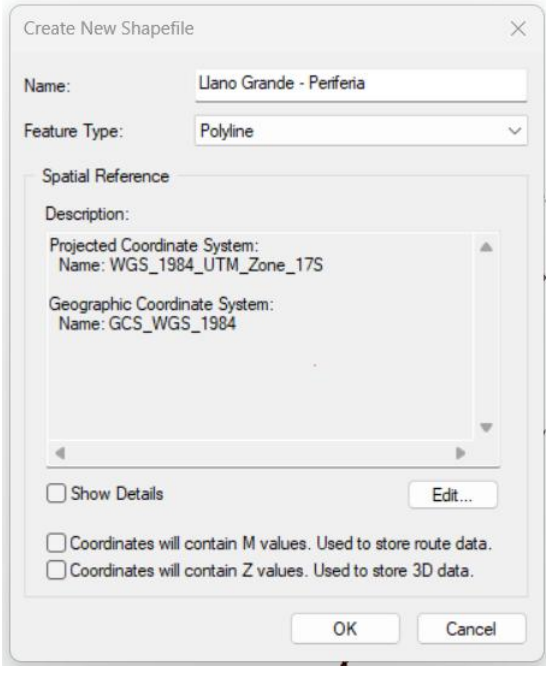


Imagen 24: *Nombre, tipo y sistema de referencia para el nuevo shp*

3) Para finalizar y una vez creado el nuevo shp, se da clic en **Editor → Start Editing** y enseguida se habilitará la opción de **Reshape Feature Tool → Trace** que se mencionó anteriormente.

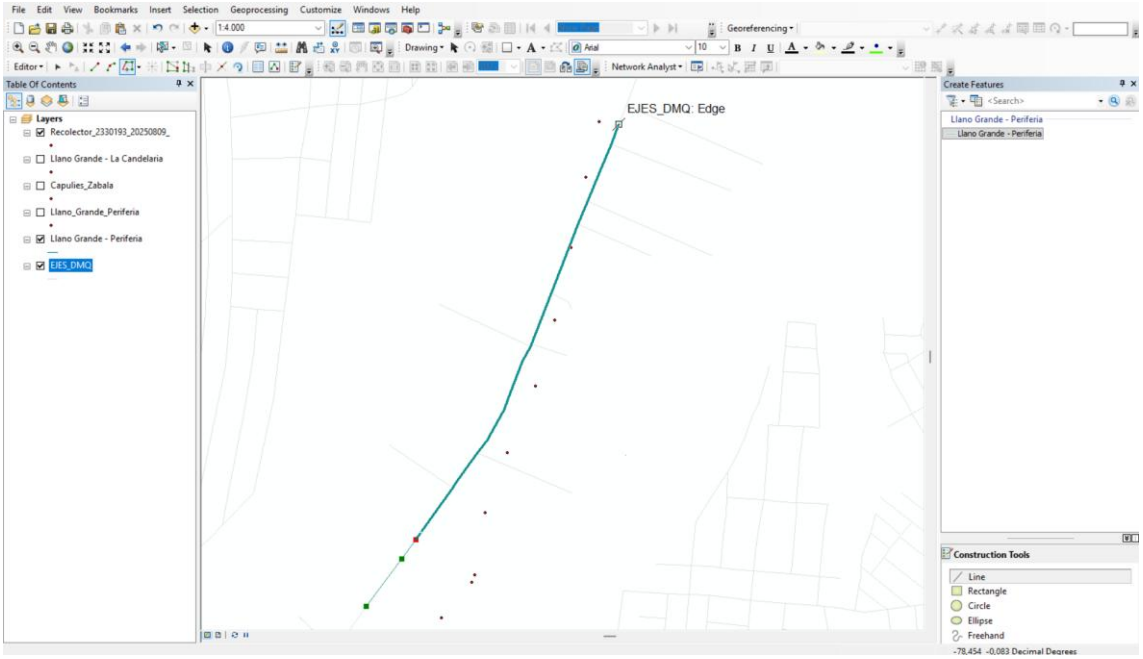


Imagen 25: *Digitalización de la ruta*

Aplicando todos estos pasos y cargando insumos de EMASEO EP como los (centros logísticos, estaciones de transferencia y geocercas) es posible generar el modelamiento de las rutas, de tal manera que se podrá identificar el lugar de cual parten y el punto en donde inicia a recolectar los residuos tal como se muestra en la imagen 26.

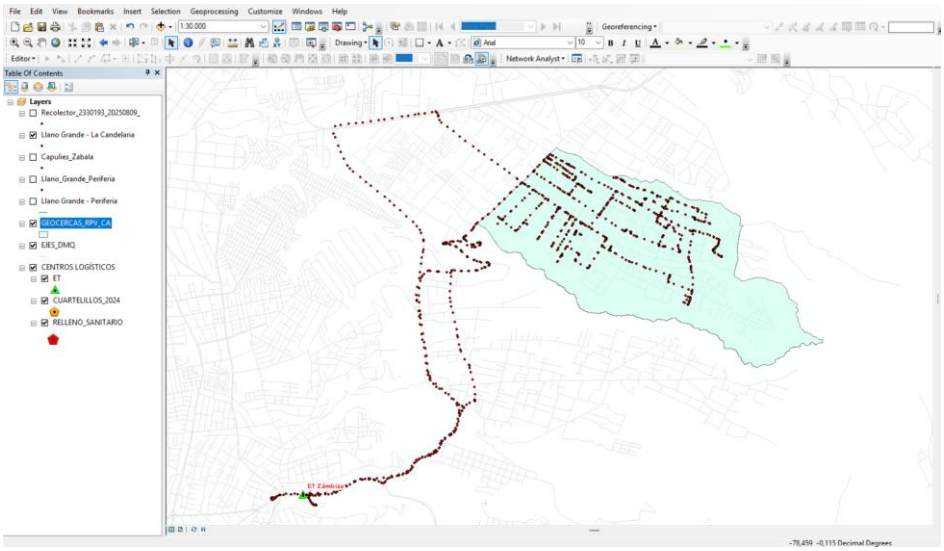


Imagen 26: *Insumos de EMASEO EP*

Como resultado se obtiene las rutas digitalizadas, además de esto se consolida una tabla de atributos con las distancias y tiempo que tarda en realizar la recolección desde que sale del centro de operaciones Zámbiza.

Dentro de la tabla de atributos se estableció un campo llamado VIAJE, en donde estarán detallados los traslados que realiza el vehículo asignado a cada zona, con las iniciales que se muestran a continuación:

T1 → TRASLADO 1 (distancia y tiempo desde el centro de operaciones Zámbiza hasta el inicio de la geocerca).

PV → PRIMER VIAJE (distancia y tiempo en realizar la recolección de la primera parte de la geocerca).

T2 → TRASLADO 2 (distancia y tiempo desde el fin del primer viaje hasta la estación de transferencia).

T3 → TRASLADO 3 (distancia y tiempo desde la estación de transferencia hasta el inicio del segundo viaje).

SV → SEGUNDO VIAJE (distancia y tiempo en realizar la recolección del resto de la geocerca).

T4 → TRASLADO 4 (distancia y tiempo desde el fin del segundo viaje hasta la estación de transferencia).

T5 → TRASLADO 5 (distancia y tiempo desde la estación de transferencia al centro de operaciones Zambiza). (Ver siguientes imágenes).

- **Llano Grande – Periferia**

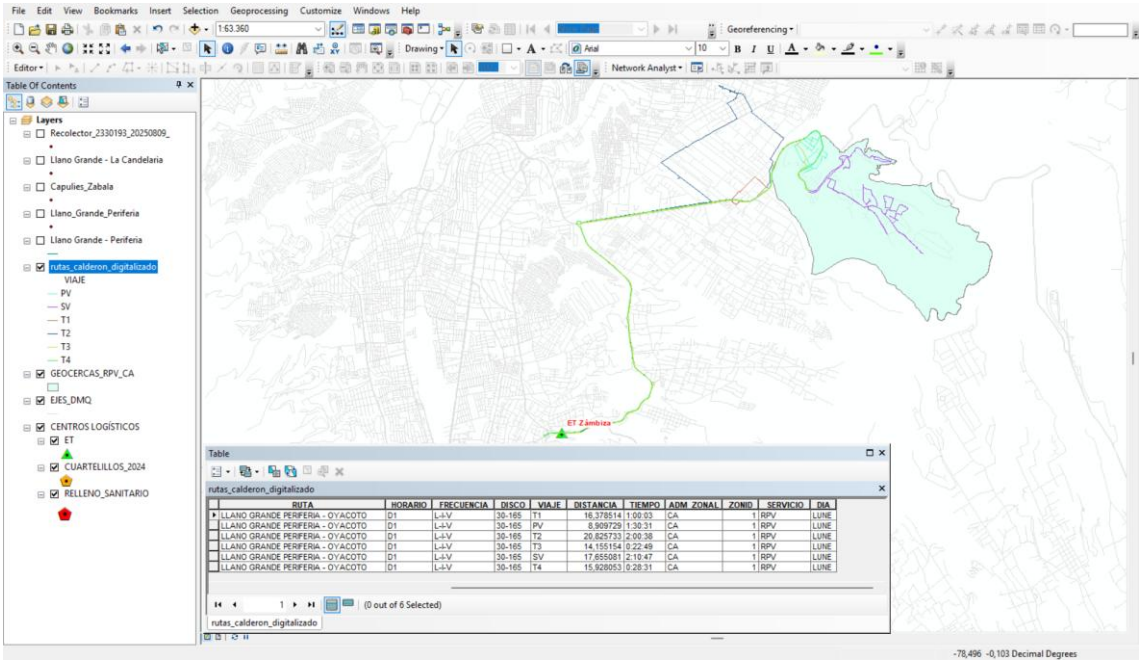


Imagen 27: *Digitalización Microruta Llano Grande - Periferia*

- **Collas – Capulíes (Capulíes – Zabala)**

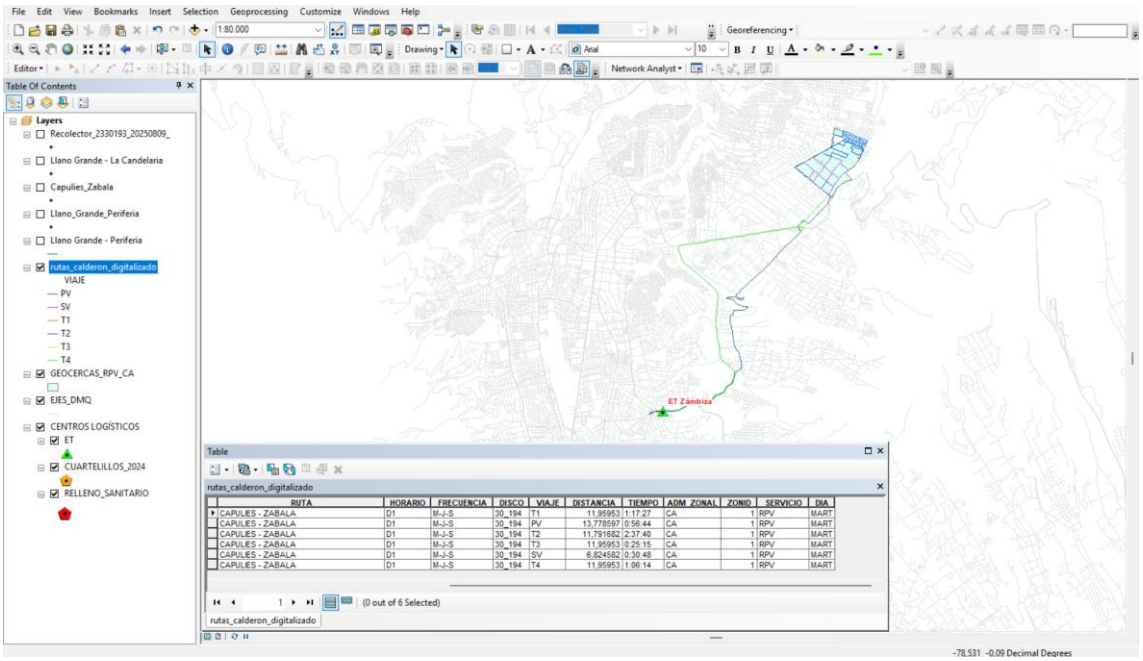


Imagen 28: *Digitalización Microruta Capulíes - Zabala*

- **Llano Grande – La Candelaria**

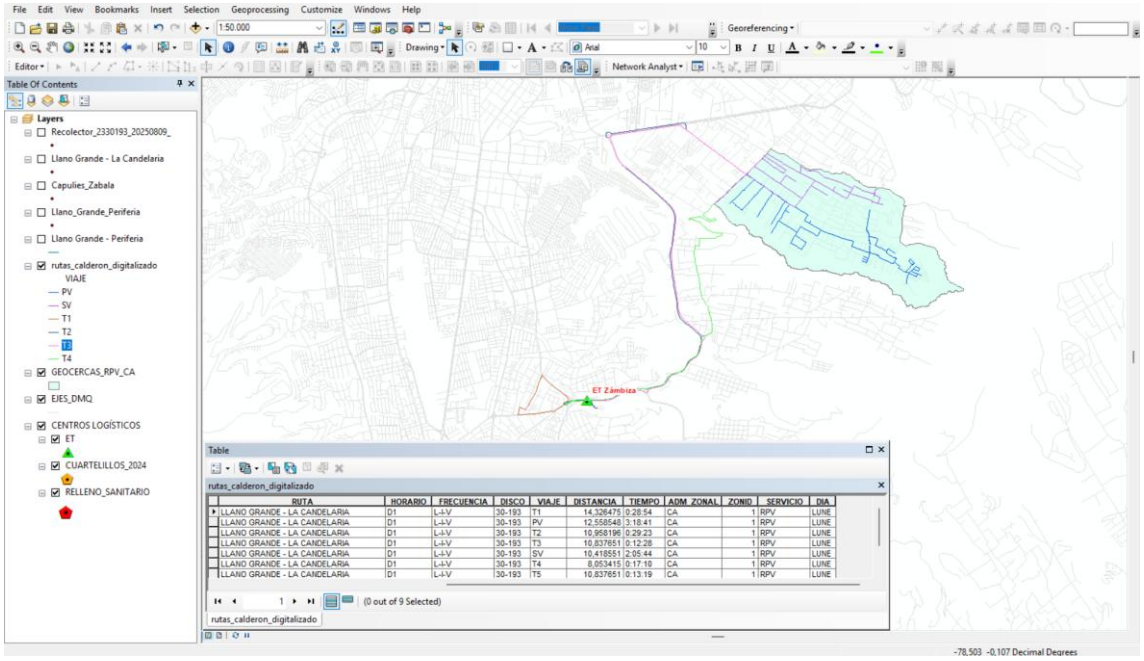


Imagen 29: *Digitalización Microruta Llano Grande – La Candelaria*

- **Bellavista – Jardines de Babilonia**

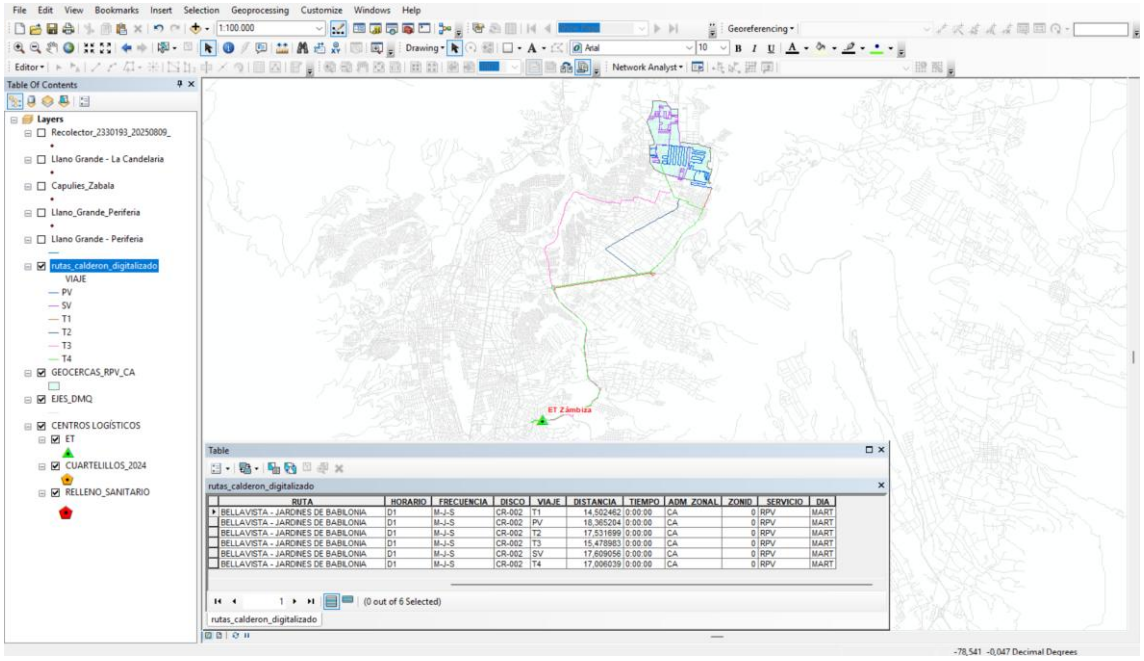


Imagen 30: *Digitalización Microruta Bellavista – Jardines de Babilonia*

En la tabla siguiente se pueden observar todos los datos obtenidos y extraídos tanto de la plataforma ECUATRACKER como del mismo proceso de digitalización.

N°	Ruta	Disco	Frecuencia	Día	Viaje	Tiempo	Distancia (Km)	Tiempo Trabajo	Distancia Total (Km)
1	CAPULIES - ZABALA	30-194	M-J-S	MARTES	T1	1:00:52	11.95	7:58:12	67.60
					PV	2:47:18	13.77		
					T2	0:33:38	11.79		
					D1	0:13:56			
					T3	0:25:31	11.95		
					SV	1:34:04	6.19		
					T4	0:56:02	11.95		
					D2	0:26:51			
				JUEVES	T1	0:56:19	11.95	7:41:36	65.29
					PV	2:39:14	13.33		
					T2	0:32:52	11.79		
					D1	0:12:01			
					T3	0:25:54	11.95		
					SV	1:02:43	4.48		
					T4	1:17:27	11.79		
					D2	0:35:06			
				SÁBADO	T1	0:56:44	11.95	6:47:09	69.93
					PV	2:37:40	13.39		
					T2	0:25:15	12.79		
					D1	0:06:27			
					T3	0:30:48	11.95		
					SV	1:06:14	6.10		
					T4	0:27:52	13.75		
					D2	0:36:09			
2	LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	30-193	L-I-V	LUNES	T1	0:28:54	14.33	8:45:23	96.47
					PV	3:18:41	12.55		
					T2	0:29:23	10.95		
					D1	0:04:19			
					T3	0:12:28	10.83		
					SV	2:05:44	12.15		
					T4	0:17:10	8.05		
					D2	0:06:40			
					T5	0:13:19	10.83		
					TV	1:11:23	8.73		
					T6	0:17:22	8.05		
					D3	0:08:00			
				MIÉRCOLES	T1	0:51:38	6.87	7:49:14	66.06
					PV	3:53:51	17.80		
					T2	0:19:15	8.02		
					D1	0:06:16			

					T3	0:14:39	12.37		
					SV	1:17:56	12.98		
					T4	0:16:17	8.02		
					D2	0:49:22			
				VIERNES	T1	0:22:05	10.07	6:37:53	60.92
					PV	3:17:16	15.87		
					T2	0:20:55	6.82		
					D1	0:06:14			
					T3	0:11:52	7.30		
					SV	1:36:54	9.77		
					T4	0:35:48	11.09		
					D2	0:06:49			
3	LLANO GRANDE PERIFERIA - OYACOTO	30-165	L-I-V	LUNES	T1	1:00:03	16.38	7.50:31	93.85
					PV	1:30:31	8.91		
					T2	2:00:38	20.83		
					D1	0:09:10			
					T3	0:22:49	14.16		
					SV	2:10:47	17.66		
					T4	0:28:31	15.93		
					D2	0:08:02			
				MIÉRCOLES	T1	1:12:30	16.38	7:05:52	72.27
					PV	3:19:35	24.82		
					T2	2:19:07	31.07		
					D1	0:14:40			
				VIERNES	T1	1:06:21	16.64	7:49:01	96.32
					PV	2:10:35	15.63		
					T2	1:37:46	20.83		
					D1	0:05:41			
					T3	0:17:56	12.01		
					SV	1:54:29	16.45		
					T4	0:30:59	14.75		
					D2	0:05:14			
4	BELLAVISTA - JARDINES DE BABILONIA	30-193	M-J-S	MARTES	T1	0:31:20	14.50	8:40:08	100.49
					PV	3:19:49	18.37		
					T2	0:45:32	17.53		
					D1	0:07:29			
					T3	0:27:12	15.48		
					SV	2:57:34	17.61		
					T4	0:31:12	17.01		
					D2				
				JUEVES	T1	1:04:04	14.50	8:05:56	98.67
					PV	3:21:44	22.99		
					T2	0:26:04	16.99		
					D1	0:05:48			
					T3	0:29:00	14.23		

					SV	1:52:59	12.25		
					T4	0:46:17	17.71		
					D2				
				SÁBADO	T1	1:12:15	14.50	8:10:22	96.30
					PV	2:43:01	17.62		
					T2	0:46:11	17.58		
					D1	0:06:10			
					T3	0:26:40	15.48		
					SV	2:13:49	14.55		
					T4	0:42:16	16.56		
					D2				

Tabla 2: *Resultados obtenidos, tras el proceso de digitalización y actualización.*

Como resultado del proceso de digitalización se determinó que:

1. **Ruta Capulíes – Zabala**

   Opera con una frecuencia Inter diaria los días (martes, jueves y sábado), cubriendo una distancia promedio diaria de 67,6 km en jornadas de trabajo de aproximadamente 7 horas con 49 minutos. Las variaciones diarias se mantienen dentro de un rango estable de tiempo operativo, garantizando la cobertura completa del trayecto con eficiencia en tiempos de recorrido y descanso.

2. **Ruta Llano Grande – La Candelaria**

   Presenta frecuencia Inter diaria los días (lunes, miércoles y viernes), con una distancia total promedio diaria de 74,5 km y una duración de jornada laboral de 7 horas con 44 minutos.

3. **Ruta Llano Grande Periferia – Oyacoto**

   Registra operación los días (lunes, miércoles y viernes), con una distancia promedio diaria de 87,5 km y un tiempo de trabajo promedio de 7 horas con 35 minutos. Es una de las rutas de mayor cobertura territorial.

4. **Ruta Bellavista – Jardines de Babilonia**

   Tiene frecuencia de (martes, jueves y sábado), con una distancia promedio diaria de 98,5 km y una jornada de trabajo promedio de 8 horas con 19 minutos. Destaca por su alta regularidad operativa y por mantener un equilibrio entre tiempo de traslado y pausas de servicio, garantizando continuidad y optimización de la ruta.

DISCUSIÓN

Una vez finalizado el proceso de digitalización, se efectuaron ajustes en las cuatro geocercas de recolección correspondientes a la Administración Zonal Calderón.

En este proceso, las microrutas y geocercas fueron rediseñadas para alinearse con los ejes viales y reflejar con mayor precisión la dinámica real de la prestación del servicio, ya que como se mencionó en un inicio el rastreo satelital no es tan preciso y no se tiene la percepción real de cómo está funcionando.

Si bien en el presente trabajo se digitalizaron y actualizaron cuatro geocercas específicas que fueron seleccionadas a partir de su población, es indispensable considerar que este procedimiento debería aplicarse a la totalidad de las microrutas.

Esto se debe a que la delimitación de una geocerca no puede entenderse de forma aislada y cualquier ajuste en una microruta impacta directamente en las colindantes, generando la necesidad de recorrer nuevamente los límites de cada geocerca tal como se muestra en la (imagen 31).

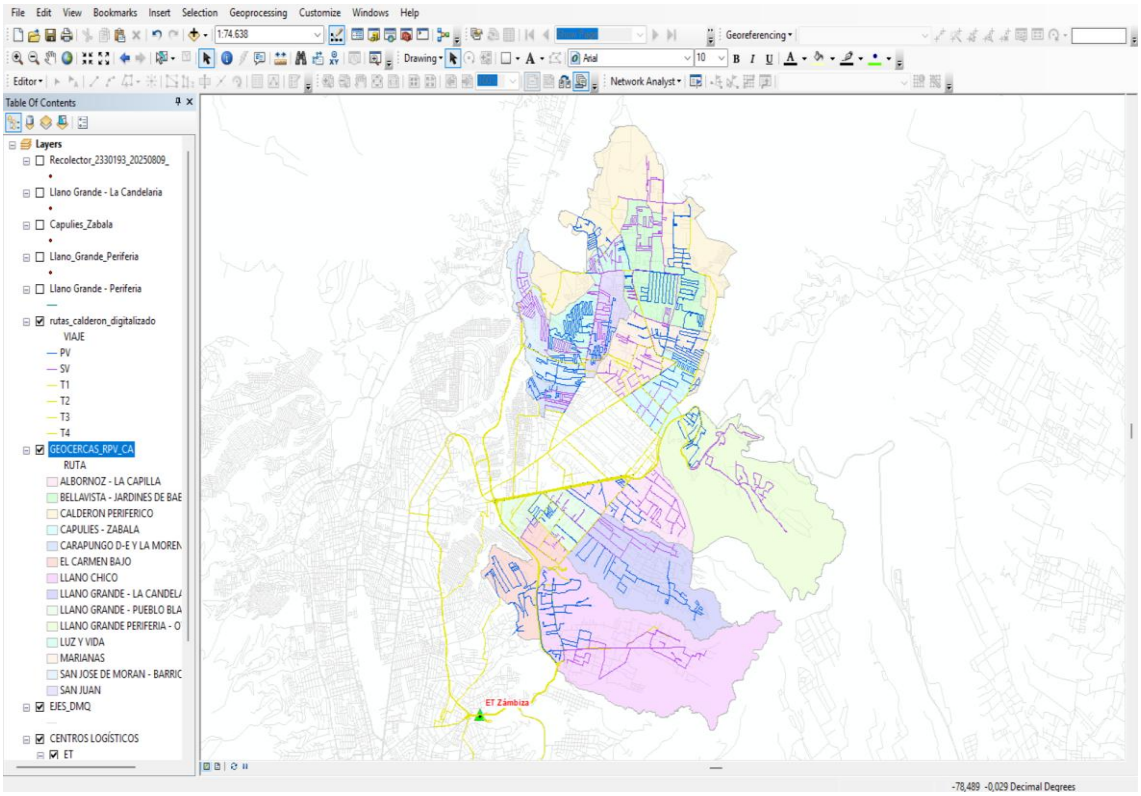
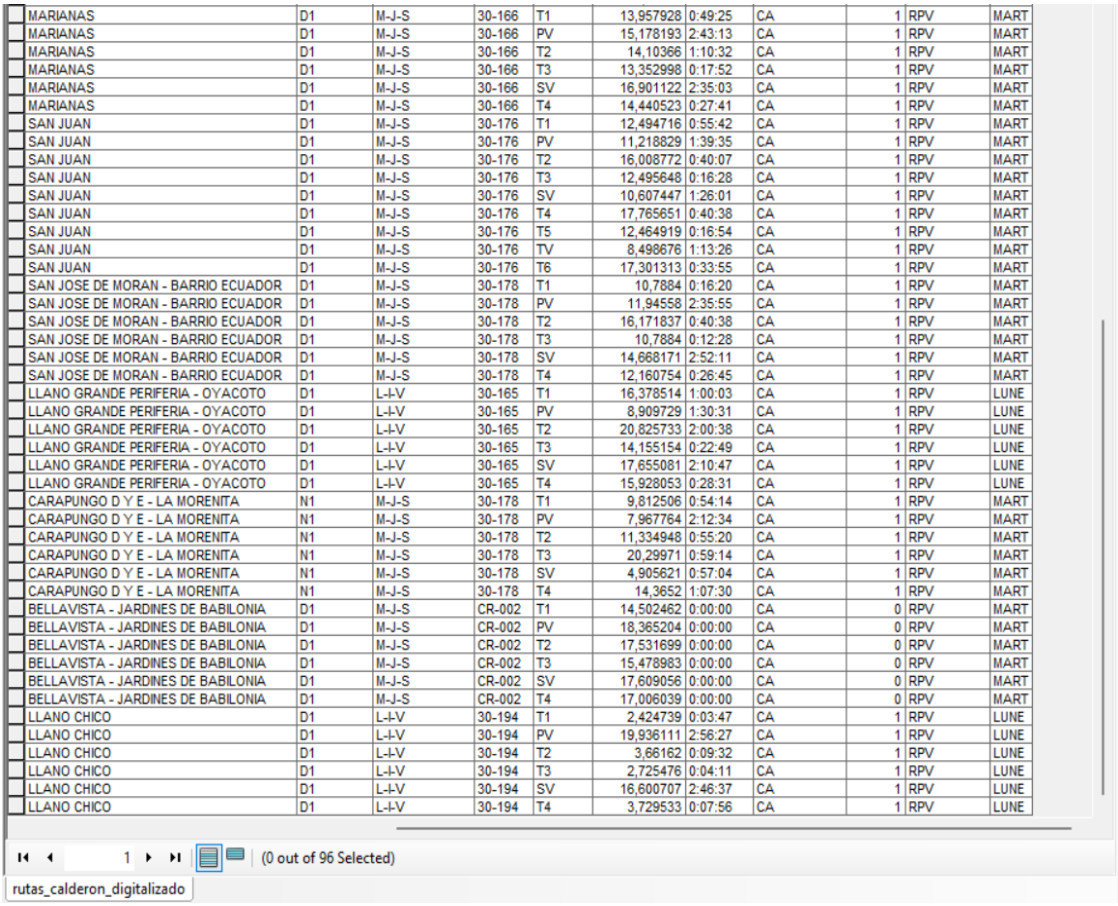


Imagen 31: *Digitalización de las microrutas totales de la Administración Zonal Calderón*

Por ello, la digitalización completa garantiza coherencia espacial, evita traslapes o vacíos en la cobertura, y permite obtener una base homogénea que optimice recursos, tiempos y distancias de recolección en toda la Administración Zonal y al mismo tiempo se cuenta con todas las microrutas digitalizadas en base a la información obtenida de la plataforma ECUATRAKER, encargada del monitoreo de los vehículos recolectores. Cada microruta cuenta además con su respectiva tabla de atributos, en la cual se registran el tiempo y la distancia recorrida durante cada jornada de trabajo. (ver imagen 32)

rutas_calderon_digitalizado

RUTA	HORARIO	FRECUENCIA	DISCO	VIAJE	DISTANCIA	TIEMPO	ADM_ZONAL	ZONID	SERVICIO	DIA
ALBORNOZ - LA CAPILLA	D1	L-I-V	30-176	T1	11,054532	1:10:38	CA	1	RPV	LUNE
ALBORNOZ - LA CAPILLA	D1	L-I-V	30-176	PV	12,809937	1:50:31	CA	1	RPV	LUNE
ALBORNOZ - LA CAPILLA	D1	L-I-V	30-176	T2	9,137818	0:15:51	CA	1	RPV	LUNE
ALBORNOZ - LA CAPILLA	D1	L-I-V	30-176	T3	8,06544	0:09:25	CA	1	RPV	LUNE
ALBORNOZ - LA CAPILLA	D1	L-I-V	30-176	SV	18,255792	2:30:17	CA	1	RPV	LUNE
ALBORNOZ - LA CAPILLA	D1	L-I-V	30-176	T4	9,196459	0:20:11	CA	1	RPV	LUNE
ALBORNOZ - LA CAPILLA	D1	L-I-V	30-176	T5	8,186034	0:19:49	CA	1	RPV	LUNE
ALBORNOZ - LA CAPILLA	D1	L-I-V	30-176	TV	6,184616	1:01:55	CA	1	RPV	LUNE
ALBORNOZ - LA CAPILLA	D1	L-I-V	30-176	T6	9,13781	0:13:28	CA	1	RPV	LUNE
CALDERON PERIFERICO	D1	L-M-I-J-V-S	34-33	T1	13,856908	0:32:30	CA	1	RPV	LUNE
CALDERON PERIFERICO	D1	L-M-I-J-V-S	34-33	PV	25,337979	3:17:35	CA	1	RPV	LUNE
CALDERON PERIFERICO	D1	L-M-I-J-V-S	34-33	T2	16,321343	0:36:15	CA	1	RPV	LUNE
CALDERON PERIFERICO	D1	L-M-I-J-V-S	34-33	T3	17,184165	0:31:12	CA	1	RPV	LUNE
CALDERON PERIFERICO	D1	L-M-I-J-V-S	34-33	SV	7,334683	2:28:32	CA	1	RPV	LUNE
CALDERON PERIFERICO	D1	L-M-I-J-V-S	34-33	T4	16,47654	0:24:22	CA	1	RPV	LUNE
CALDERON PERIFERICO	D1	L-M-I-J-V-S	34-33	T1	16,047682	1:40:09	CA	1	RPV	MART
CALDERON PERIFERICO	D1	L-M-I-J-V-S	34-33	PV	10,714981	1:41:30	CA	1	RPV	MART
CALDERON PERIFERICO	D1	L-M-I-J-V-S	34-33	T2	24,220781	1:03:51	CA	1	RPV	MART
CAPULIES - ZABALA	D1	M-J-S	30_194	T1	11,95953	1:17:27	CA	1	RPV	MART
CAPULIES - ZABALA	D1	M-J-S	30_194	PV	13,778597	0:56:44	CA	1	RPV	MART
CAPULIES - ZABALA	D1	M-J-S	30_194	T2	11,791682	2:37:40	CA	1	RPV	MART
CAPULIES - ZABALA	D1	M-J-S	30_194	T3	11,95953	0:25:15	CA	1	RPV	MART
CAPULIES - ZABALA	D1	M-J-S	30_194	SV	6,824582	0:30:48	CA	1	RPV	MART
CAPULIES - ZABALA	D1	M-J-S	30_194	T4	11,95953	1:06:14	CA	1	RPV	MART
EL CARMEN BAJO	D1	L-I-V	30-166	T1	7,787118	0:49:47	CA	1	RPV	LUNE
EL CARMEN BAJO	D1	L-I-V	30-166	PV	14,545393	3:01:25	CA	1	RPV	LUNE
EL CARMEN BAJO	D1	L-I-V	30-166	T2	4,428421	0:10:30	CA	1	RPV	LUNE
EL CARMEN BAJO	D1	L-I-V	30-166	T3	6,743457	0:13:27	CA	1	RPV	LUNE
EL CARMEN BAJO	D1	L-I-V	30-166	SV	7,177941	2:10:18	CA	1	RPV	LUNE
EL CARMEN BAJO	D1	L-I-V	30-166	T4	12,149049	0:41:02	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	D1	L-I-V	30-193	T1	14,326475	0:28:54	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	D1	L-I-V	30-193	PV	12,558548	3:18:41	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	D1	L-I-V	30-193	T2	10,958196	0:29:23	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	D1	L-I-V	30-193	T3	10,837651	0:12:28	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	D1	L-I-V	30-193	SV	10,418551	2:05:44	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	D1	L-I-V	30-193	T4	8,053415	0:17:10	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	D1	L-I-V	30-193	T5	10,837651	0:13:19	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	D1	L-I-V	30-193	TV	8,734465	1:11:23	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - LA CANDELARIA	D1	L-I-V	30-193	T6	8,053415	0:17:22	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - PUEBLO BLANCO	D1	L-I-V	30-178	T1	6,653385	0:47:47	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - PUEBLO BLANCO	D1	L-I-V	30-178	PV	20,468197	1:53:23	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - PUEBLO BLANCO	D1	L-I-V	30-178	T2	5,770014	0:50:17	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - PUEBLO BLANCO	D1	L-I-V	30-178	T3	7,898088	0:07:58	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - PUEBLO BLANCO	D1	L-I-V	30-178	SV	7,649809	2:46:14	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE - PUEBLO BLANCO	D1	L-I-V	30-178	T4	6,09325	0:22:42	CA	1	RPV	LUNE
LUZ Y VIDA	D1	M-J-S	30-165	T1	12,851968	0:50:38	CA	1	RPV	MART
LUZ Y VIDA	D1	M-J-S	30-165	PV	16,598849	2:59:37	CA	1	RPV	MART
LUZ Y VIDA	D1	M-J-S	30-165	T2	13,021816	0:31:30	CA	1	RPV	MART
LUZ Y VIDA	D1	M-J-S	30-165	T3	12,851968	0:15:30	CA	1	RPV	MART
LUZ Y VIDA	D1	M-J-S	30-165	SV	14,020037	2:09:53	CA	1	RPV	MART
LUZ Y VIDA	D1	M-J-S	30-165	T4	17,60374	0:44:06	CA	1	RPV	MART



MARIANAS	D1	M-J-S	30-166	T1	13,957928	0:49:25	CA	1	RPV	MART
MARIANAS	D1	M-J-S	30-166	PV	15,178193	2:43:13	CA	1	RPV	MART
MARIANAS	D1	M-J-S	30-166	T2	14,10366	1:10:32	CA	1	RPV	MART
MARIANAS	D1	M-J-S	30-166	T3	13,352998	0:17:52	CA	1	RPV	MART
MARIANAS	D1	M-J-S	30-166	SV	16,901122	2:35:03	CA	1	RPV	MART
MARIANAS	D1	M-J-S	30-166	T4	14,440523	0:27:41	CA	1	RPV	MART
SAN JUAN	D1	M-J-S	30-176	T1	12,494716	0:55:42	CA	1	RPV	MART
SAN JUAN	D1	M-J-S	30-176	PV	11,218829	1:39:35	CA	1	RPV	MART
SAN JUAN	D1	M-J-S	30-176	T2	16,008772	0:40:07	CA	1	RPV	MART
SAN JUAN	D1	M-J-S	30-176	T3	12,495648	0:16:28	CA	1	RPV	MART
SAN JUAN	D1	M-J-S	30-176	SV	10,607447	1:26:01	CA	1	RPV	MART
SAN JUAN	D1	M-J-S	30-176	T4	17,765651	0:40:38	CA	1	RPV	MART
SAN JUAN	D1	M-J-S	30-176	T5	12,464919	0:16:54	CA	1	RPV	MART
SAN JUAN	D1	M-J-S	30-176	TV	8,498676	1:13:26	CA	1	RPV	MART
SAN JUAN	D1	M-J-S	30-176	T6	17,301313	0:33:55	CA	1	RPV	MART
SAN JOSE DE MORAN - BARRIO ECUADOR	D1	M-J-S	30-178	T1	10,7884	0:16:20	CA	1	RPV	MART
SAN JOSE DE MORAN - BARRIO ECUADOR	D1	M-J-S	30-178	PV	11,94558	2:35:55	CA	1	RPV	MART
SAN JOSE DE MORAN - BARRIO ECUADOR	D1	M-J-S	30-178	T2	16,171837	0:40:38	CA	1	RPV	MART
SAN JOSE DE MORAN - BARRIO ECUADOR	D1	M-J-S	30-178	T3	10,7884	0:12:28	CA	1	RPV	MART
SAN JOSE DE MORAN - BARRIO ECUADOR	D1	M-J-S	30-178	SV	14,668171	2:52:11	CA	1	RPV	MART
SAN JOSE DE MORAN - BARRIO ECUADOR	D1	M-J-S	30-178	T4	12,160754	0:26:45	CA	1	RPV	MART
LLANO GRANDE PERIFERIA - OYACOTO	D1	L-I-V	30-165	T1	16,378514	1:00:03	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE PERIFERIA - OYACOTO	D1	L-I-V	30-165	PV	8,909729	1:30:31	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE PERIFERIA - OYACOTO	D1	L-I-V	30-165	T2	20,825733	2:00:38	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE PERIFERIA - OYACOTO	D1	L-I-V	30-165	T3	14,155154	0:22:49	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE PERIFERIA - OYACOTO	D1	L-I-V	30-165	SV	17,655081	2:10:47	CA	1	RPV	LUNE
LLANO GRANDE PERIFERIA - OYACOTO	D1	L-I-V	30-165	T4	15,928053	0:28:31	CA	1	RPV	LUNE
CARAPUNGO D Y E - LA MORENITA	N1	M-J-S	30-178	T1	9,812506	0:54:14	CA	1	RPV	MART
CARAPUNGO D Y E - LA MORENITA	N1	M-J-S	30-178	PV	7,967764	2:12:34	CA	1	RPV	MART
CARAPUNGO D Y E - LA MORENITA	N1	M-J-S	30-178	T2	11,334948	0:55:20	CA	1	RPV	MART
CARAPUNGO D Y E - LA MORENITA	N1	M-J-S	30-178	T3	20,29971	0:59:14	CA	1	RPV	MART
CARAPUNGO D Y E - LA MORENITA	N1	M-J-S	30-178	SV	4,905621	0:57:04	CA	1	RPV	MART
CARAPUNGO D Y E - LA MORENITA	N1	M-J-S	30-178	T4	14,3652	1:07:30	CA	1	RPV	MART
BELLAVISTA - JARDINES DE BABILONIA	D1	M-J-S	CR-002	T1	14,502462	0:00:00	CA	0	RPV	MART
BELLAVISTA - JARDINES DE BABILONIA	D1	M-J-S	CR-002	PV	18,365204	0:00:00	CA	0	RPV	MART
BELLAVISTA - JARDINES DE BABILONIA	D1	M-J-S	CR-002	T2	17,531699	0:00:00	CA	0	RPV	MART
BELLAVISTA - JARDINES DE BABILONIA	D1	M-J-S	CR-002	T3	15,478983	0:00:00	CA	0	RPV	MART
BELLAVISTA - JARDINES DE BABILONIA	D1	M-J-S	CR-002	SV	17,609056	0:00:00	CA	0	RPV	MART
BELLAVISTA - JARDINES DE BABILONIA	D1	M-J-S	CR-002	T4	17,006039	0:00:00	CA	0	RPV	MART
LLANO CHICO	D1	L-I-V	30-194	T1	2,424739	0:03:47	CA	1	RPV	LUNE
LLANO CHICO	D1	L-I-V	30-194	PV	19,936111	2:56:27	CA	1	RPV	LUNE
LLANO CHICO	D1	L-I-V	30-194	T2	3,66162	0:09:32	CA	1	RPV	LUNE
LLANO CHICO	D1	L-I-V	30-194	T3	2,725476	0:04:11	CA	1	RPV	LUNE
LLANO CHICO	D1	L-I-V	30-194	SV	16,600707	2:46:37	CA	1	RPV	LUNE
LLANO CHICO	D1	L-I-V	30-194	T4	3,729533	0:07:56	CA	1	RPV	LUNE

Imagen 32: *Tabla de atributos (distancia, tiempo, frecuencia, vehículo)*

De esta manera, el levantamiento y digitalización integral de las rutas no solo corrige inconsistencias puntuales, sino que asegura la eficiencia operativa y la continuidad del servicio de recolección en el Distrito Metropolitano de Quito.

Para finalizar, y de acuerdo con la investigación realizada, cuyo objetivo fue la optimización de las rutas, se concluye que el proceso fue exitoso. Tal como señala Pesántez, la optimización del recorrido de los recolectores es fundamental para mejorar la eficiencia operativa, lo cual se logró plenamente en este estudio.

Además, se obtuvo una base de datos actualizada con los tiempos y distancias de cada trayecto, lo que permitirá a la Administración Zonal Calderón monitorear de manera continua las microrutas y mantener un control preciso sobre la gestión del servicio.

CONCLUSIONES

- Esta investigación demuestra que el uso de SIG, potenciado con datos operativos en tiempo real y estadística poblacional más reciente, es un enlace muy funcional para mejorar la eficiencia y la equidad del servicio de recolección en Calderón. Y además el escalar esta metodología al conjunto de geocercas del DMQ no solo es factible, sino recomendable para consolidar una red de recolección coherente.
- La combinación de cartografía institucional de EMASEO EP, conjuntamente con los datos GPX de ECUATRACKER y datos poblacionales INEC 2022 permitió corregir desalineaciones al eje vial, establecer atributos y generar capas comparables que antes no existían con la misma calidad.
- Aunque se trabajó con cuatro geocercas seleccionadas por perfiles poblacionales, es replicable al resto de las administraciones del DMQ. A medida que se sumen geocercas, la red se vuelve más consistente y disminuyen los “efectos de borde”.
- Toda modificación en una microruta repercute en la contigua, por ello es necesario una implementación eficiente y de esta manera planificar en bloques contiguos y con ventanas operativas coordinadas, de modo que los ajustes no generen cuellos de botella temporales ni pérdida de continuidad del servicio.

BIBLIOGRAFÍA

Briceño Mejía, J. C., & Guiñansaca Rumipulla, J. F. (2022). *Optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos del cantón Calvas* (Bachelor's thesis).

Cantanhede, A. Caycho, C., Monge, G., & Sandoval, L. (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de Residuos Sólidos. (HDT. N° 97). http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/hdt/hdt97/hdt97.pdf

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales CEPIS. (2002): Gerenciamiento del Servicio de Limpieza Pública elaborados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales Lima.

Cerrón, M. (2008): Diseño de rutas óptimas de recolección de residuos sólidos

domésticos mediante el software MARS. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Brasil.

Correa Tineo, J. E. (2018). Propuesta de mejora del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de Chiclayo para reducir los impactos ambientales.

Díaz Checa, D. C. (2013). Sistemas de información geográfica aplicada a la optimización del servicio de recolección de residuos sólidos domiciliarios, el caso de la administración zonal Eloy Alfaro.

Gutiérrez, F. (2008). Análisis del Sistema de recolección de Residuos Sólidos Urbanos en el Centro Histórico de Morelia, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Universidad Nacional Autónoma de México.

Pesántez Castillo & Luna Medina, C. S V. A. (2022). *Propuesta de rediseño para las macro y micro rutas de recolección de residuos sólidos urbanos en el centro cantonal de Paute* (Bachelor's thesis).

Martínez Villarreal, F. B. (2018). *Propuesta de rediseño de macro y micro rutas del sistema de recolección de residuos sólidos de la ciudad de Tulcán* (Bachelor's thesis, Quito, 2018.).

Marquez, j. (2010): macro y micro ruteo de residuos sólidos residenciales. Tesis de Ingeniería. Departamento de Ingeniería. Universidad de Sucre. Colombia.

Olaya, V. (2011). Sistemas de Información Geográfica.

Rada, E. C., Ragazzi, M., & Fedrizzi, P. (2013). Web-GIS orientadas a la viabilidad de los sistemas para la optimización de la recogida selectiva de residuos sólidos municipales en las economías desarrolladas y transitorias. Waste Management, 33(4), 785-792. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.002

Shagui Miranda, D. G. (2022). Optimización de rutas de recolección de los residuos sólidos urbanos del centro cantonal Taisha en la Provincia de Morona Santiago.

Sakurai, K. (1980). Diseño de las Rutas de Recolección de Residuos Sólidos. Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS/OMS, División de Protección de la Salud Ambiental.

SEDESOL, (s.f.). Manual para el Diseño de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Municipales.

SEDESOL. (1997). Manual para el Diseño de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Municipales. Editada por: Human Consultores, S.A. de C.V.México.

Johanna Elizabeth Villavicencio Ordóñez, 2024. Crecimiento urbano y vulnerabilidad al cambio climático de Calderón en el Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador.