



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Propuesta de instalación de contenedores en la recolección de
residuos sólidos municipales usando un SIG del distrito La
Esperanza, 2024

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Cruz Amayo, Juan Carlos (orcid.org/0000-0001-7443-6251)

Quiroz de la Cruz, Jordan Alvaro (orcid.org/0000-0002-7656-916X)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzon, Jose Alfredo (orcid.org/0000-0001-9146-7615)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO - PERÚ

2024



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CRUZ MONZON JOSE ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Propuesta de instalación de contenedores en la recolección de residuos sólidos municipales usando un SIG del distrito La Esperanza, 2024", cuyos autores son CRUZ AMAYO JUAN CARLOS, QUIROZ DE LA CRUZ JORDAN ALVARO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 27 de Junio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CRUZ MONZON JOSE ALFREDO DNI: 18887838 ORCID: 0000-0001-9146-7615	Firmado electrónicamente por: JACRUZM el 08-07- 2024 17:47:29

Código documento Trilce: TRI - 0778319



Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, CRUZ AMAYO JUAN CARLOS, QUIROZ DE LA CRUZ JORDAN ALVARO estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Propuesta de instalación de contenedores en la recolección de residuos sólidos municipales usando un SIG del distrito La Esperanza, 2024", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
JORDAN ALVARO QUIROZ DE LA CRUZ DNI: 75081878 ORCID: 0000-0002-7656-916X	Firmado electrónicamente por: JLACR16 el 27-06-2024 23:42:49
JUAN CARLOS CRUZ AMAYO DNI: 42423185 ORCID: 0000-0001-7443-6251	Firmado electrónicamente por: JCRUZAC el 27-06- 2024 23:52:04

Código documento Trilce: TRI - 0778320

DEDICATORIA

A la población del Distrito de La Esperanza, cuya calidad de vida esperamos mejorar con esta investigación. Este trabajo es para ustedes, con la certeza de contribuir a un entorno más limpio y saludable.

A nuestros padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe inquebrantable en nosotros. Su ejemplo de esfuerzo y dedicación ha sido nuestra mayor inspiración y motivación a lo largo de este proceso.

AGRADECIMIENTO

Primero y ante todo, agradecemos a Dios por permitirnos la oportunidad de elaborar esta investigación. Su guía divina nos ha dado la fuerza y la motivación necesarias para perseverar en cada etapa de este proceso.

A nuestros padres, por su amor incondicional y su apoyo constante. Su fe en nosotros ha sido un pilar fundamental y su ejemplo de esfuerzo y dedicación nos ha inspirado a alcanzar nuestras metas.

A nuestros docentes, quienes con su conocimiento, paciencia y dedicación nos guiaron y orientaron en el desarrollo de esta investigación. Sus enseñanzas y consejos han sido invaluable para la realización de este trabajo.

A nuestro jefe inmediato, por brindarnos las facilidades necesarias para llevar a cabo esta investigación. Su comprensión y apoyo han sido esenciales para poder equilibrar nuestras responsabilidades laborales y académicas.

A todos aquellos que, de una manera u otra, han contribuido a la culminación de esta tesis, les extendemos nuestro más sincero agradecimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
DECLARATORIA DEL AUTENTICIDAD DEL ASESOR.....	ii
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. METODOLOGÍA.....	13
III. RESULTADOS.....	18
IV. DISCUSIÓN.....	37
V. CONCLUSIONES.....	41
VI. RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS.....	43
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Situación operativa de las rutas de recolección de RSM seleccionadas	18
Tabla 2. Otros parámetros operativos de las rutas de recolección	19
Tabla 3. Necesidades de contenedores por ruta.....	20
Tabla 4. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 01.....	23
Tabla 5. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 02.....	24
Tabla 6. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 03.....	26
Tabla 7. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 04.....	28
Tabla 8. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 05.....	30
Tabla 9. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 06.....	33
Tabla 10. Distribución de contenedores y cobertura del servicio brindado.....	34
Tabla 11. Comparación de indicadores económicos y ambientales antes y después de la instalación de contenedores	35
Anexo 01. Tabla de operacionalización de variables.....	49
Anexo 02. Instrumento de recolección de datos	50
Anexo 05. Tabla de ubicación de los contenedores	57
Anexo 06. Tabla comparativa de indicadores económicos y ambientales antes y después de la instalación de contenedores	57
Anexo 09. Guías de observación de las rutas seleccionadas del servicio de recolección de residuos sólidos municipales de La Esperanza.....	62
Anexo 12. Posibles ubicaciones de los contenedores	74
Anexo 13. Cálculo del tiempo requerido para erradicar los puntos críticos.....	77
Anexo 14. Cálculo del costo de personal de recolección de residuos sólidos	79
Anexo 15. Consumo de combustible en estado ralentí.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Método usado en ArcGIS para determinar las mejores ubicaciones	22
Figura 2. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 01	22
Figura 3. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 02.....	24
Figura 4. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 03.....	26
Figura 5. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 04.....	28
Figura 6. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 05.....	30
Figura 7. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 06.....	32
Anexo 03. Evaluación por juicio de expertos.....	51
Anexo 04. Consentimiento o asentimiento informado UCV.....	56
Anexo 07. Mapa de áreas ruteadas de las rutas de recolección de residuos sólidos municipales seleccionadas	58
Anexo 08. Rutas de recolección de residuos sólidos municipales seleccionadas.....	59
Anexo 10. Rutas de recolección generadas por Geo Tracker	71
Anexo 16. Evidencias fotográficas.....	80

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en la propuesta de instalación de contenedores en la recolección de residuos sólidos municipales mediante un SIG en el distrito de La Esperanza, se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11.6, que busca reducir la huella ambiental per cápita de las ciudades, teniendo como objetivo la evaluación del impacto de la instalación de contenedores en las rutas del distrito. La metodología empleada fue de tipo aplicada, enfoque cuantitativo y diseño no experimental, transeccional-descriptivo. La muestra estuvo compuesta por seis rutas de recolección, seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, usando una guía de observación. Además, los resultados indican una mejora en la eficiencia de recolección y reducción de residuos no atendidos, así como un impacto positivo en la reducción de costos operativos y emisiones de CO₂, alrededor del 23% y 23.10% respectivamente. Concluyendo que, la implementación de contenedores en las rutas de recolección, utilizando herramientas SIG, no solo optimiza la gestión de dichos residuos, sino que también contribuye a la sostenibilidad económica y ambiental del distrito. Se recomienda complementar la propuesta con un estudio de optimización de rutas, considerando a la accesibilidad como factor limitante en el recorrido de los vehículos.

Palabras clave: SIG, dióxido de carbono, recolección de residuos, contenedores.

ABSTRACT

The present research focuses on the proposal for the installation of containers for municipal solid waste collection using a GIS in the district of La Esperanza. This aligns with Sustainable Development Goal 11.6, which aims to reduce the per capita environmental footprint of cities. The objective is to evaluate the impact of container installation on the district's collection routes. The methodology employed was applied, with a quantitative approach and a non-experimental, cross-sectional descriptive design. The sample consisted of six collection routes, selected through non-probability convenience sampling, using an observation guide. Additionally, the results indicate an improvement in collection efficiency and a reduction in unattended waste, as well as a positive impact on the reduction of operational costs and CO₂ emissions, by approximately 23% and 23.10% respectively. In conclusion, the implementation of containers in collection routes using GIS tools not only optimizes waste management but also contributes to the economic and environmental sustainability of the district. It is recommended to complement the proposal with a route optimization study, considering accessibility as a limiting factor in the vehicle routes.

Keywords: GIS, carbon dioxide, waste collection, containers.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de la riqueza y el consumo incrementó la generación de residuos, si las tendencias continúan, se espera que europeos y norteamericanos produzcan un 25% más de desechos a mediados de siglo, elevando el total mundial a 3.400 millones de toneladas anuales (World Bank, 2018). Por este motivo, la recolección de residuos sólidos municipales es un proceso necesario en toda municipalidad y tiene un impacto positivo en la calidad de vida, los aspectos económicos y la estructura urbana (Mofid-Nakhaee y Barzinpour, 2018) sin embargo, su inadecuada implementación se ha convertido en un problema global debido a sus efectos adversos en la economía, la sociedad y el medio ambiente (Ayaim et al., 2019). Esto sucede principalmente en los países en desarrollo a causa de los altos costos de operación, la falta de comprensión de las técnicas involucradas en el proceso y un bajo nivel de participación ciudadana (Del Carmen-Niño et al., 2023). Por tanto, países como India, Uganda, Algeria e Irán están haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como una metodología para la planificación y mejora del sistema de recolección de residuos sólidos municipales (Ferronato et al., 2020). Recientemente, también existe una línea de literatura que aborda específicamente la etapa de pre-recolección y la ubicación de puntos de recolección de residuos, evidenciando su potencial para reducir los costos totales del sistema (Vu et al., 2020).

En este sentido, en Perú, una población de 30 millones produce cada día un total aproximado de 21,000 toneladas de desechos municipales, lo que se traduce en un promedio de 0.8 kg de residuos por persona al día (El Peruano, 2024), y aunque se tiene una cobertura de 93,74% de la población urbana con sistema de recolección de residuos sólidos, el gasto incurrido es casi la mitad (48%) del presupuesto asignado para la compra de bienes en la categoría de gestión integral de residuos sólidos, sin contar la contratación de personal para dicha actividad (MEF, 2023).

El distrito de la Esperanza, no es ajeno a este problema, ya que invierte alrededor del 80% de sus recursos financieros para llevar a cabo la recolección de residuos sólidos (SIGERSOL, 2023), por lo que la misma entidad indica que, se necesita

un estudio detallado para asegurar un servicio eficiente sin comprometer el equilibrio presupuestario con el riesgo de colapsos (MDE, 2020). Entonces, dicho distrito aún se encuentra en la etapa de fortalecimiento de capacidades en el manejo de residuos sólidos, y su lento progreso se atribuye en parte, a la falta de un sistema que pueda facilitar la recolección eficaz de residuos sólidos, asegure la participación de la comunidad y demuestre sostenibilidad tanto desde una perspectiva económica como ambiental. Por tanto, al buscar soluciones a esta problemática se estaría contribuyendo al logro de la meta 11.6 del objetivo 11 de la Agenda 2030, en donde se propone disminuir la huella ambiental per cápita de las ciudades, con un enfoque particular en mejorar la calidad del aire y optimizar la gestión de residuos urbanos y otros tipos de desechos (ONU, 2015).

Ante ello, surgió la pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto que traerá la propuesta de instalación de contenedores en la recolección de residuos sólidos municipales usando un SIG del distrito La Esperanza, 2024?

De esta manera, la presente investigación se justifica, ya que aborda un vacío en el conocimiento relacionado con la integración efectiva de las herramientas SIG en la planificación de un sistema de recolección de residuos sólidos municipales usando el método de contenerización. Además, busca solucionar una parte relevante del problema de gestión de residuos en el distrito de La Esperanza, que de ser resuelto podría llevar a una mejora significativa en el desempeño de la recolección y el manejo de estos residuos, trayendo consigo beneficios ambientales (reducción de emisiones GEI) y económicos (reducción de costos). Así también, en el aspecto social puede beneficiar a la comunidad de La Esperanza al reducir la contaminación y promover prácticas más sostenibles; además que, fomenta la participación de la población en la adecuada disposición de residuos, contribuyendo a la mejora de su calidad de vida.

Por esta razón, se estableció como objetivo general evaluar el impacto de la propuesta de instalación de contenedores en la recolección de residuos sólidos municipales usando un SIG del distrito La Esperanza, 2024.

Asimismo, se plantea como objetivos específicos: evaluar la situación operativa de las rutas seleccionadas para la recolección de residuos sólidos municipales en el distrito de La Esperanza, proponer los mejores resultados de la instalación de contenedores usando un SIG en las rutas seleccionadas del servicio de

recolección en el distrito de La Esperanza, y evaluar el efecto económico y ambiental de la instalación de contenedores usando un SIG en relación con el sistema de recolección actual en el distrito de La Esperanza.

A continuación, se hace mención de algunos antecedentes internacionales como Boskovic y Jovicic (2015), quienes desarrollaron una metodología destinada a determinar el número óptimo de contenedores de residuos, así como la ubicación de puntos de recogida. Utilizaron un enfoque no experimental, teniendo como área de estudio a la zona urbana II (convivencia colectiva y zona comercial) de la ciudad de Kragujevac. Los resultados indicaron que, no se reduce la calidad del servicio si existe una reducción del 24% en el número de puntos de recogida y del 33.5% en el número de contenedores de residuos, el uso de los contenedores es más eficiente si los usuarios de los servicios estaban cubiertos dentro de un radio de 75 metros, además que, si se reduce el número de contenedores de residuos, se podría lograr un ahorro total de €26000, de €1700 por año en costos de combustible, y una reducción de 4.5 toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera. Concluyendo que, la propuesta garantiza, por un lado, la calidad del servicio desde el punto de vista de los ciudadanos, y por otro lado, proporciona la capacidad mínima necesaria para dirigir los residuos generados hacia los sitios adecuados.

Por su parte, Nevrlý et al. (2021) quienes formularon una solución para la asignación de puntos de recogida de residuos usando los parámetros: distancia a pie, número de puntos de recogida, precio de compra de contenedores y duración del servicio de recolección, como criterios de decisión. El diseño del estudio fue no experimental, y los resultados demostraron que, los mejores resultados son propuestos por el modelo que minimiza el deterioro respecto a los valores óptimos de todos los criterios, el mejor costo de compra se logra a expensas de la distancia a pie, y con el creciente número de puntos de recogida, las demandas en la recolección de residuos aumentan debido a la asignación de contenedores más pequeños. Por ende, se concluye que, el modelo presentado proporciona una herramienta para la optimización de contenedores de residuos.

Asimismo, Vu et al. (2019), quienes pronosticaron las tasas de generación y las características de materiales reciclables y basura en cuatro subáreas del área de

estudio utilizando una red neuronal artificial (RNA) de series temporales, para lo cual se examinó cómo la cantidad de residuos, su composición, la forma de recolección y la densidad de los materiales afectan las rutas óptimas de los vehículos y las emisiones de los camiones. El diseño del estudio fue no experimental, y la población de estudio abarcó cinco zonas de recolección en la ciudad de Austin. Así pues, para recopilar datos, se utilizó el registro de campo como instrumento, encontrando que, de los 36 escenarios analizados revelaron cambios en la distancia de viaje de hasta un 19.9% en comparación con la composición no modificada. Además, se compararon camiones de doble compartimento con camiones de compartimento único, y se observó que los primeros lograban ahorros de entre un 10.3% y un 16.0% en distancia de viaje, a la vez que reducían ligeramente las emisiones, aunque incrementaban el tiempo de recolección en un 15.7% a 19.8%. En conclusión, la integración del modelo de predicción de la red neuronal artificial con la optimización de GIS, pone de manifiesto las interrelaciones entre la composición de los residuos y las rutas óptimas de GIS.

Así también, Rossit, Toutouh y Nesmachnow (2020) realizaron una investigación con el objeto de estudiar métodos computacionales para el problema de ubicación de contenedores de residuos en Montevideo, Uruguay y Bahía Blanca, Argentina. Empleando un diseño experimental, seleccionaron como muestra tres áreas representativas de cada ciudad, evidenciando que, a través de las soluciones multiobjetivo seleccionadas, se compararon con simulaciones realizadas con la distribución actual de contenedores de residuos en Montevideo, obteniendo mejoras de hasta el 51.14% en términos de costo, hasta el 37.76% en términos de accesibilidad al sistema y hasta el 12.15% en términos de frecuencia de recolección. Por tanto, se concluye que, este es un enfoque valioso en países en desarrollo donde el sistema formal de manejo de residuos sólidos municipales suele competir con la recolección informal.

Asimismo, Vu, Ng y Bolingbroke (2018) elaboraron una investigación con el propósito de desarrollar un enfoque basado en SIG (Sistemas de Información Geográfica) para minimizar los costos del sistema de gestión de residuos en una ciudad vietnamita, teniendo en cuenta tanto las etapas de pre-recolección como de recolección. Además, examinaron cómo las interrelaciones entre el número de

puntos de recolección temporales (TCP) y la distancia máxima desde la fuente hasta el TCP afectaban los costos del sistema de gestión de residuos. Se clasificó como no experimental, y la muestra se centró en el distrito de Hong Bang en la ciudad de Hai Phong. Se obtuvo que, un solo punto de recolección temporal en el estudio podría atender a aproximadamente 2,590 personas en un área de 0.11 km². En comparación con la situación actual, el modelo propuesto permitió lograr una reducción del 13.76% en las distancias de viaje de los camiones de recolección. En conclusión, se observó que la cantidad y la distribución de los puntos de recolección temporales tenían un impacto significativo en la eficiencia de costos tanto en las fases de pre-recolección como de recolección en el sistema de gestión de residuos.

En igual medida, se presentan precedentes a nivel nacional, como lo menciona Morales (2020), quien formuló una investigación no experimental con la finalidad de desarrollar una propuesta destinada a mejorar la eficiencia de las microrutas y, por consiguiente, el recojo de residuos sólidos en los domicilios de La Brea - Negritos. Para ello, la población comprendió los sectores de dicho distrito que contaban con acceso a dicho servicio, basándose en una muestra censal. En cuanto a la recopilación de datos, se utilizaron guías documentales, registros de datos y cuestionarios como herramientas de investigación. Los resultados se centraron en la medición de las distancias óptimas de recorrido y el consumo de combustible resultantes de aplicación del software Solver, lo que derivó en una reducción de los costos operativos. En términos generales, se pudo observar que en la ruta norte, las distancias disminuyeron de 4.7 a 3.484 kilómetros, mientras que en la ruta sur, se redujeron de 3.5 kilómetros a 2.135 kilómetros. En resumen, la propuesta formulada presenta un potencial significativo para optimizar la recolección, lo que resultaría en beneficios para la comunidad y una disminución de los gastos operativos.

Como también, se encuentra el trabajo de Navarro (2021), quien desarrolló una investigación de diseño preexperimental que mejore la eficiencia del servicio convencional de recolección de residuos sólidos mediante la optimización de las rutas utilizadas. La población estudiada comprendió los 5 camiones compactadores empleados por la municipalidad en su sistema de recolección de desechos, y se aplicó un muestreo censal que incluyó la totalidad de esta

población de camiones compactadores disponibles. Para la obtención de datos, se utilizaron formatos de tiempo de ruta, informes de horarios, formularios de distancia recorrida y documentos relativos a las rutas actuales como herramientas de investigación. Los resultados revelaron que antes de implementar el modelo de optimización generado por el software Lingo, la eficiencia del servicio se situaba en un 14%, mientras que después de su aplicación, ésta eficiencia experimentó un aumento notable, alcanzando el 41%. En resumen, se logró optimizar esta operación de manera efectiva, lo que resultó en una mejora significativa de la eficiencia en la utilización de los camiones compactadores municipales.

De acuerdo a la investigación de Antonio y Cashpa (2022), se identificaron mejoras en el sistema de recolección de residuos sólidos en los sectores del distrito de Ancón, utilizando el análisis de redes SIG. Dicho estudio fue no experimental y la población consistió en un total de 194.64 kilómetros de vías distribuidas en siete sectores con rutas de recojo, siendo los sectores 01 y 03 elementos conformantes de la muestra, que comprenden 42.53 kilómetros de recorrido, mediante un muestreo no probabilístico. Los instrumentos de investigación utilizados incluyeron fichas de la ruta actual, modelado de rutas, fichas de evaluación de eficiencia y fichas de frecuencia de recolección. Con ello se evidenciaron mejoras significativas debido a la utilización de la herramienta SIG: se logró un incremento de la eficiencia (13.8%) en la distancia recorrida de 2.13 km, una reducción de 59 minutos (13.7%) en el tiempo de recorrido, y una disminución de 1.87 galones por día (21.7%) en el consumo de diésel. En resumen, el estudio concluyó que el software Network Analyst de ArcGIS resultó efectivo para mejorar la eficiencia de las rutas de recolección de residuos sólidos. Del mismo modo, Alvarado y Cabrera (2020) llevaron a cabo una investigación con el propósito de crear un plan optimizado de rutas para la recolección de residuos sólidos municipales en el distrito de Caleta de Carquín, empleando una herramienta SIG. El diseño del estudio adoptado fue no experimental, y la población y la muestra se concentraron en dos rutas destinadas a la recolección de residuos domiciliarios. Entonces, a través de la creación de rutas optimizadas, se evidenciaron una disminución en los gastos operativos de la recolección y una mejora en el servicio proporcionado a los usuarios al reducir las distancias recorridas por los camiones recolectores desde su punto de partida hasta el

relleno sanitario. En resumen, se concluyó que la herramienta Network Analyst de ArcGIS permitió la concepción de rutas de recolección de residuos sólidos optimizadas, con el objetivo de minimizar el costo total de operación, la distancia recorrida y el tiempo de transporte.

Por otro lado, Bello (2021) en su estudio realizado evaluó el impacto de la implementación de un sistema web en las operaciones de recolección de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de Nuevo Chimbote. Su diseño fue de tipo preexperimental, y la población de estudio abarcó un total de 280 rutas de recolección programadas al mes. Además, la muestra fue seleccionada mediante un muestreo aleatorio simple y comprendió 162 rutas de recolección; mientras que, como herramienta de investigación, se utilizó una ficha de registro. De este modo, los resultados obtenidos indicaron que la introducción del sistema web resultó en un aumento significativo del nivel de servicio en un 49.39% y de la eficiencia en un 60.64%. En resumen, se concluyó que el sistema web contribuyó de manera notable a la mejora del proceso de recolección de residuos sólidos.

En cuanto a las teorías de la presente investigación, Méndez-Lazarte et al. (2023) afirma que, el espacio limitado, el tiempo y la incomodidad deben considerarse como barreras para desarrollar el comportamiento de separación de residuos. Esto podría ser relevante en el contexto de economías emergentes como Lima, considerando que los hogares no suelen contar con instalaciones urbanas para la separación de residuos sólidos. De existir dichas instalaciones, éstas deben ser accesibles y convenientes, es decir, debe compensarse el esfuerzo usado para separar y disponer sus residuos; por lo tanto, las instalaciones pueden ubicarse en centros comerciales, supermercados, estaciones de transporte público o centros comunitarios (O'dwyer, Zaman y Breadsell, 2022).

Para acabar con dichas barreras se implementan instalaciones urbanas como una nueva forma de recolección. Por ejemplo, en la ciudad de Rijeka se instalaron contenedores que, según Traven y Široka (2023), tienen una capacidad de almacenamiento que varía en función de su volumen y la frecuencia de recogida. Respecto a este método, Workentin, De Sousa y Mensink (2022) recomiendan comparar el ciclo de vida de este método con el de las bolsas de reciclaje. Sin embargo, investigaciones en otros contextos, resaltan la incomodidad de los

habitantes con la política de 'cierto tiempo, cierto lugar', donde se estipula horarios y lugares designados para desechar los residuos. Esta disconformidad se debe a que por conflictos en los horarios de trabajo, algunos residentes no pueden desechar sus residuos a la hora indicada; o también porque las distancias a pie se han vuelto mucho mayores en las grandes comunidades residenciales, siendo más desfavorables para las personas de edad avanzada que tienen dificultades para desplazarse. Además que las instalaciones de recolección deben poseer varios tipos de contenedores o estos deben tener compartimentos para la clasificación de residuos (Zhang et al., 2023).

Por otro lado, Grecia, en su iniciativa "La Ciudad Verde", asignó 30 Puntos Verdes Móviles a diversas ubicaciones, como escuelas, estacionamientos al aire libre, parques y supermercados. Para llevar a cabo este proyecto, se tuvieron en cuenta factores como las distancias de todas las rutas remotas de recogida de residuos, el costo anual de combustible de los Puntos Verdes Móviles y las emisiones anuales de dióxido de carbono (CO₂) (Tsimnadis et al., 2023). Desde la perspectiva de Mahdavi, Mansour y Sajadieh (2022), el análisis de emisiones de CO₂ se convierte en un aspecto fundamental para proponer mejoras en el proceso de recolección. En consonancia, Erfani et al. (2017) sugieren que tomar medidas para mejorar la eficiencia del sistema de recolección puede llevar a ahorros significativos en los costos totales del sistema. Esto se debe a que, dentro del gasto total en la gestión de residuos sólidos (que abarca recolección, transporte, procesamiento, reciclaje y disposición), aproximadamente el 50 al 70% se relaciona con las actividades de recolección. Por lo tanto, existe un potencial importante para optimizar los costos en la recolección y el transporte, así como para reducir los gastos de personal y obtener beneficios ambientales. Este objetivo puede lograrse utilizando herramientas SIG en la planificación de rutas de vehículos y la programación de la recolección de residuos basada en la capacidad de llenado de cada contenedor (Slavík, Dolejš y Rybová, 2021).

Para conceptualizar la instalación de los contenedores en las rutas de recolección, el MINAM (2020) indica que es una recolección con contenerización, la cual consiste en la habilitación de espacios en entornos urbanos (llamados puntos limpios) para el acopio temporal de residuos sólidos.

Para que este sistema pueda cumplir su objetivo, la guía elaborada por el MINAM (2019) establece que para la ubicación de los contenedores se debe tener en cuenta factores como: su cantidad, su accesibilidad, la distancia entre estos y las viviendas, y el volumen de residuos generados. De igual forma, Erfani et al. (2017) sugiere considerar las distancias de caminata desde la fuente de generación hasta los puntos de recolección; así también Slavík, Dolejš y Rybová (2021) agregan factores como: el estado de la carretera, tipo de carretera, estacionamiento, lugares públicos, contenedores actuales.

Por otro lado, para la optimización de rutas de recolección Erfani et al. (2017) sugiere tomar en cuenta el tiempo de viaje, la distancia recorrida, el consumo de combustible, las restricciones de vehículos en carreteras específicas, el límite de velocidad, las calles de sentido único, los lugares de disposición, el número de recorridos; aunque también es importante la capacidad de carga del vehículo recolector (Slavík, Dolejš y Rybová, 2021). Respecto al tiempo de viaje Vu, Ng y Bolingbroke (2018) recomiendan considerar el tiempo máximo total, de acuerdo al horario laboral del trabajador, y el tiempo de viaje máximo, de acuerdo al estado en movimiento del vehículo.

Liberta (2007) indica que, el impacto en todos los términos se refiere a cambios en el medio ambiente provocados por un comportamiento particular; mientras que, Hu, An, y Shen (2023), aseguran que, el sistema más deseable de recolección es aquel que impacta positivamente en las dimensiones económicas, medioambientales y sociales, propias de la sostenibilidad. Así pues, el efecto económico se entendería como el costo monetario resultante de la recolección y transporte de residuos, que puede variar de acuerdo al número, volumen, localización y frecuencia de recogida de contenedores (Slavík, Dolejš y Rybová, 2021); mientras que, el efecto ambiental se define como la alteración del medio como consecuencia de las actividades de recolección y transporte de residuos (Tsimnadis et al., 2023). En relación a ello, Erfani et al. (2017) afirma que dicho sistema se denomina óptimo cuando logra una minimización en los costos operativos; mientras que Tsimnadis et al. (2023) incluye el cálculo de las emisiones anuales de CO₂ para enfatizar los beneficios ambientales que supone la adopción de un nuevo sistema. Además Phu, Fujiwara y Dinh (2022) indican

que, los factores sociales son decisivos para asegurar el resultado exitoso de la implementación de un proyecto en una localidad.

II. METODOLOGÍA

Tipo, enfoque y diseño de investigación: La investigación desarrollada fue de tipo aplicada porque permite la resolución de problemas prácticos, mientras que su enfoque fue cuantitativo, dado que se ha descrito un fenómeno medible a través de la utilización de métodos estadísticos para analizar los datos recolectados. Asimismo, fue de diseño no experimental, transeccional-descriptivo, ya que se dedicó a indagar el modo en que las variables se manifiestan dentro de una población delimitada en un momento dado.

La investigación buscó mejorar la recolección de residuos sólidos a través de la instalación de los contenedores para una recolección óptima y eficiente.

Variables: La variable independiente estudiada fue la instalación de contenedores en las rutas de recolección de residuos sólidos municipales, cuyas dimensiones fueron la ubicación y distribución de los contenedores, que a su vez, se mide usando los indicadores distancia promedio entre las manzanas y los contenedores, población beneficiada y potencial de recolección.

Asimismo, la variable dependiente fue el impacto de la propuesta de instalación de contenedores, que se desglosa en la dimensión efecto económico con sus indicadores: costo de personal y costo de transporte; y la dimensión efecto ambiental con su indicador emisiones de CO₂.

Población y muestra: La población estuvo conformada por 19 rutas de recolección de residuos sólidos municipales que atienden a un total de 43,658 predios con una generación de 166,951.4 kg de residuos sólidos. Para delimitarla se consideró como criterio de inclusión a todas las rutas de recolección de residuos sólidos municipales operativas en el distrito de La Esperanza; y como criterio de exclusión a las rutas que estén fuera del alcance geográfico del distrito de La Esperanza y las que no estén relacionadas con la recolección de residuos sólidos municipales.

Por consiguiente, la muestra estuvo conformada por el 30% de la población, es decir, 6 rutas que generan en conjunto 22416.1 kg de residuos sólidos, siendo: Manuel Arévalo III Etapa Zona C (3628.1 kg), Manuel Arévalo III Etapa Zona B (3228.4 kg), Manuel Arévalo II Etapa (2477.3 kg), Central (4169.2 kg), Pueblo Libre (4854.5), Indoamérica-Fraternidad (4058.6 kg), las cuales se determinaron a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que la selección tuvo en cuenta la accesibilidad y la cultura ambiental de la población.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Se usó la técnica de observación no experimental para evaluar la situación operativa de las rutas de recolección de residuos sólidos municipales, lo cual fue registrado en una guía de observación (anexo 02). Este instrumento consideró la siguiente información: nombre de ruta, total de manzanas, residuos sólidos generados, placa de vehículo, tipo de vehículo, fecha de medición, punto inicial y final de la ruta, frecuencia de recolección, residuos recolectados, tiempo de recorrido, número y tiempo de paradas para compactar, consumo de combustible teórico y medido, distancia recorrida, puntos críticos y sus datos asociados.

La guía de observación fue validada mediante una matriz de evaluación por juicio de expertos, la misma que será expuesta en el anexo 03.

Métodos de análisis de datos: Para evaluar la situación operativa de las rutas de recolección seleccionadas, se realizó un monitoreo *in situ* utilizando el aplicativo *Geo Tracker*, que generó las rutas de recolección en formato KMZ, indicando la distancia recorrida y el tiempo transcurrido. Durante el monitoreo, también se registraron la cantidad de paradas para la compactación y para los puntos críticos, así como el tiempo que estos requerían. Asimismo, se midió el combustible consumido y el peso de los residuos recolectados.

Posteriormente, se utilizó *Google Earth* para mapear las manzanas atendidas por cada ruta. Esta información se importó a *ArcGIS* para

calcular el área de cada manzana y los datos asociados, como la población y la generación de residuos.

La densidad poblacional se determinó utilizando datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (MINSA, 2024) y del Programa RECICLA (MDE, 2023), que indica una población de 238,502 personas en 2024 y un área de 15.55 km² respectivamente. Así, la densidad poblacional fue:

$$\text{Densidad poblacional} = \frac{238,502 \text{ personas}}{15,550,000 \text{ m}^2} = 0.0153 \frac{\text{personas}}{\text{m}^2}$$

Para calcular la generación de residuos sólidos por persona, se utilizó el dato de 0.7 kg/hab./día del Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales 2024-2028 (EC-RSM), permitiendo determinar la generación de residuos por manzana en cada ruta.

Previo a la propuesta de las mejores ubicaciones de los contenedores en cada ruta, se usó la siguiente fórmula para determinar la cantidad de contenedores que necesitaba cada ruta de recolección. Este cálculo se realizó bajo el supuesto de que los ciudadanos almacenan los residuos en su domicilio por dos días, por tanto la cantidad de residuos generados se duplicó; además, la capacidad del contenedor (1100 litros) se convirtió a unidades de masa (kg) usando la densidad de residuos 222, 49 kg/m³ del EC-RSM.

$$N^{\circ} \text{ de contenedores} = \frac{\text{RSM generados por ruta (kg)} * 2 - \text{RSM recolectados (kg)}}{\text{Capacidad del contenedor (kg)}}$$

Las propuestas de ubicación para los contenedores fueron las mismas de los puntos críticos, siendo mapeadas en ArcGIS. Además, las redes viales de cada ruta se elaboraron en dicho programa, incluyendo atributos como la dirección, categoría de la ruta (calle, avenida, jirón) y el tiempo de recorrido.

Una vez generada toda la data, se utilizó el Análisis de Redes

Location-Allocation para determinar las mejores ubicaciones para los contenedores, estableciendo como radio máximo de alcance 200 metros. Estas propuestas se escogieron en base a los criterios: distancia de las manzanas a los contenedores, la cantidad de población atendida y el potencial de recolección de residuos, datos que se exportaron a Excel para calcular promedios y totales.

Posteriormente, se calcularon los costos del personal de recolección en función del tiempo invertido para erradicar los puntos críticos, usando la siguiente fórmula para su determinación:

$$C_p = \text{Tasa de pago} \left(\frac{\$/\text{min}}{\text{min}} \right) * \text{Tiempo usado para la erradicación}(\text{min})$$

Así también, se muestra la fórmula para la determinación de la tasa de gasto de combustible por unidad de tiempo (G_c) y la fórmula para el cálculo de los costos del transporte (C_t) en función del tiempo de espera del camión compactador para erradicar los puntos críticos. Cabe resaltar que, la data histórica de consumo de combustible (teórico) es de 5.5 *km/gal*, o dicho de otro modo 0.18 *gal/km*.

$$G_c = \frac{\text{Consumo real (gal)} - \text{Consumo teórico (gal)}}{\text{Tiempo en paradas (min)}} * \text{Precio de combustible} \left(\frac{\$/\text{gal}}{\text{gal}} \right)$$

$$C_t = G_c * \text{Tiempo en puntos críticos}$$

De igual forma, se presenta la fórmula para determinar las emisiones de CO₂:

$$E_i = C * R$$

Donde C es el consumo de combustible (gl) consumido para atender a los puntos críticos, y R es el factor que indica la relación de las emisiones de CO₂ (*kg/gal*) y dicho consumo, el cual es 8.69 (Correa, 2018).

Aspectos éticos: La propuesta se elaboró teniendo en cuenta las políticas y reglamentos de la Municipalidad Distrital de La Esperanza, con el objetivo de beneficiar tanto a la entidad como a su personal y usuarios. Por tanto, durante el proceso de desarrollo de la tesis, se mantuvo un estricto compromiso con la confidencialidad de la información recopilada de dicha institución.

En lo que respecta a los principios éticos de la Universidad César Vallejo, se garantiza la autenticidad y la integridad científica a través del uso de Turnitin, lo cual sustenta que este trabajo de investigación no contiene ninguna porción de contenido, ya sea total o parcial, que haya sido obtenida de forma ilícita de otros autores. Así pues, los autores de este trabajo de investigación asume plena responsabilidad en caso de que se detecte alguna violación a la normativa vigente que regule la elaboración de trabajos conducentes a grados y títulos, quedando esta decisión sujeta a la consideración del Tribunal de Honor de la Universidad.

III. RESULTADOS

Respecto a la situación operativa de las rutas de recolección, el aplicativo *Geo Tracker* generó las rutas mediante la evaluación *in situ* (anexo 10), que fue un complemento útil para el llenado de la guía de observación, con lo cual se elaboraron las siguientes tablas.

Tabla 1. *Situación operativa de las rutas de recolección de RSM seleccionadas*

Ruta	Sector	N° de manzanas	RSM generados (kg)	RSM recolectados (kg)	RSM sin atender (kg)	N° de puntos críticos
01	Manuel Arévalo III Etapa - Zona B	62	7057.4	6030	1027.4	4
02	Central	81	13078.8	10300	2778.8	8
03	Indoamérica - Fraternidad	94	8878.8	6320	2558.8	10
04	Manuel Arévalo III Etapa - Zona C	63	7918.4	3750	4168.4	12
05	Pueblo Libre	63	10637.2	8430	2207.2	14
06	Manuel Arévalo II Etapa	82	9456	5800	3656	17

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 1 se observan variaciones significativas respecto a la cantidad de residuos generados, recolectados y sin atender, así como en el número de puntos críticos en cada ruta.

La Ruta 02 registra el mayor volumen de residuos sólidos municipales (RSM) generados con un total de 13078.8 kg. A pesar de esta alta generación, logra recolectar 10300 kg, dejando sin atender 2778.8 kg, que representa la mayor cantidad de residuos no recolectados entre todas las rutas.

Por otro lado, la Ruta 03 presenta una considerable cantidad de residuos sin atender, sumando 2558.8 kg, lo que indica un notable desafío en la gestión de residuos en esta área. Esta ruta también destaca por tener 10 puntos críticos, lo cual es un indicador de la acumulación de residuos sólidos en puntos específicos.

En comparación, la Ruta 01 genera 7057.4 kg de residuos, de los cuales 6030 kg son recolectados, dejando un margen de 1027.4 kg sin atender. Esta ruta tiene 4 puntos críticos, el menor número registrado en la tabla, lo que sugiere una gestión más eficiente en comparación con otras rutas.

La Ruta 06 presenta una situación preocupante con 3656 kg de residuos sin atender y 17 puntos críticos, lo que la convierte en la ruta con mayor número de áreas problemáticas en términos de acumulación de residuos sólidos.

Asimismo, la siguiente tabla presenta otros parámetros operativos de las rutas de recolección de residuos sólidos municipales (RSM) seleccionadas en el distrito de La Esperanza, destacando la distancia recorrida, el tiempo de recorrido, el número de paradas y el consumo de combustible.

Tabla 2. *Otros parámetros operativos de las rutas de recolección*

<i>Ruta</i>	<i>Distancia recorrida (km)</i>	<i>Tiempo de recorrido (min)</i>	<i>N° de paradas</i>	<i>Consumo de combustible (gal)</i>
<i>01</i>	<i>17.21</i>	<i>334</i>	<i>35</i>	<i>4.7</i>
<i>02</i>	<i>14.59</i>	<i>232</i>	<i>38</i>	<i>4.62</i>
<i>03</i>	<i>11.03</i>	<i>364</i>	<i>45</i>	<i>5.06</i>
<i>04</i>	<i>14.52</i>	<i>240</i>	<i>43</i>	<i>5.16</i>
<i>05</i>	<i>15.21</i>	<i>230</i>	<i>55</i>	<i>6.55</i>
<i>06</i>	<i>17.34</i>	<i>328</i>	<i>70</i>	<i>7.38</i>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2, la Ruta 06 muestra el mayor consumo de combustible con 7.38 galones, lo cual es consistente con el mayor número de paradas (70) y una distancia recorrida significativa de 17.34 km. Este alto consumo podría estar asociado a la elevada cantidad de paradas necesarias para cubrir la ruta, lo que sugiere una posible optimización en el diseño de esta ruta para mejorar la eficiencia.

Por otro lado, la Ruta 05 también registra un consumo considerable de combustible de 6.55 galones, con un número de paradas de 55 y una distancia

recorrida de 15.21 km. Aunque su consumo es menor que el de la Ruta 06, sigue siendo notable y refleja la demanda operativa de esta ruta.

La Ruta 03 presenta el mayor tiempo de recorrido con 364 minutos, a pesar de ser la ruta con la menor distancia recorrida (11.03 km). Este hecho podría indicar que las paradas son más frecuentes o que el proceso de recolección en esta ruta es menos eficiente, lo cual se refuerza con el consumo de combustible de 5.06 galones y el número de paradas (45).

En contraste, la Ruta 02 destaca por tener el menor tiempo de recorrido (232 minutos) y un consumo de combustible relativamente bajo de 4.62 galones, pese a recorrer 14.59 km y realizar 38 paradas. Esto sugiere una mejor eficiencia operativa en comparación con otras rutas.

La Ruta 04 y la Ruta 01 muestran un equilibrio entre sus distancias recorridas, tiempos de recorrido y consumos de combustible. La Ruta 04 recorre 14.52 km en 240 minutos con un consumo de 5.16 galones, mientras que la Ruta 01 recorre 17.21 km en 334 minutos con un consumo de 4.7 galones. Ambos resultados son indicativos de una operación relativamente eficiente, aunque con margen para optimización.

Posteriormente, en la tabla 3, se presentan las necesidades de contenedores por ruta de acuerdo a los residuos sólidos municipales (RSM) sin atender y la proporción de atención basada en la disponibilidad de 50 contenedores para distribuir.

Tabla 3. *Necesidades de contenedores por ruta*

Ruta	RSM sin atender (kg)	Contenedores	Proporción (%)	Atención de acuerdo a la necesidad
01	1027.4	4	6	3
02	2778.8	11	17	8
03	2558.8	10	15	8
04	4168.4	17	26	13
05	2207.2	9	14	7

Fuente: Elaboración propia

La Ruta 04 muestra la mayor necesidad con 4168.4 kg de RSM sin atender, requiriendo idealmente 17 contenedores. Dada la distribución proporcional, esta ruta recibe 13 contenedores, lo que representa el 26% de la atención total. Este alto porcentaje refleja la urgencia de atender esta ruta para mitigar los residuos no recolectados.

La Ruta 06 también destaca con una necesidad significativa, acumulando 3656 kg de RSM sin atender y requiriendo 15 contenedores. Con la distribución proporcional, se asignan 11 contenedores a esta ruta, cubriendo el 23% de las necesidades, lo que subraya la prioridad en su atención.

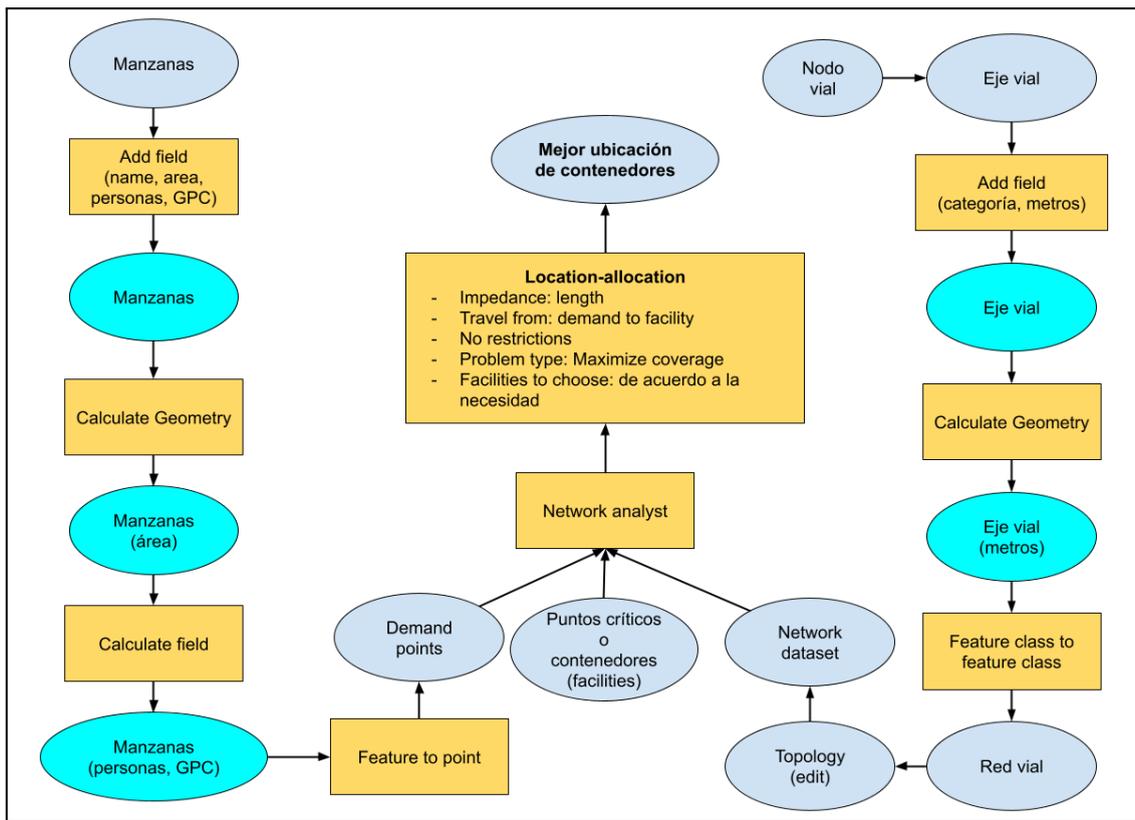
Por otro lado, la Ruta 02 con 2778.8 kg de RSM sin atender requiere 11 contenedores, y se le asignan 8 contenedores, lo que equivale al 17% de la atención proporcional. Similarmente, la Ruta 03 con 2558.8 kg de RSM sin atender y 10 contenedores necesarios, recibe 8 contenedores, cubriendo el 15% de la necesidad total.

En contraste, la Ruta 01 presenta la menor cantidad de RSM sin atender con 1027.4 kg, requiriendo 4 contenedores. Se le asignan 3 contenedores, representando el 6% de la atención proporcional, indicando que esta ruta es la menos prioritaria en comparación con las otras.

La Ruta 05, con 2207.2 kg de RSM sin atender y necesitando 9 contenedores, recibe 7 contenedores, lo que cubre el 14% de la atención total. Esta asignación muestra una distribución equilibrada de los recursos disponibles, aunque todavía se requiere atención adicional para cubrir completamente sus necesidades.

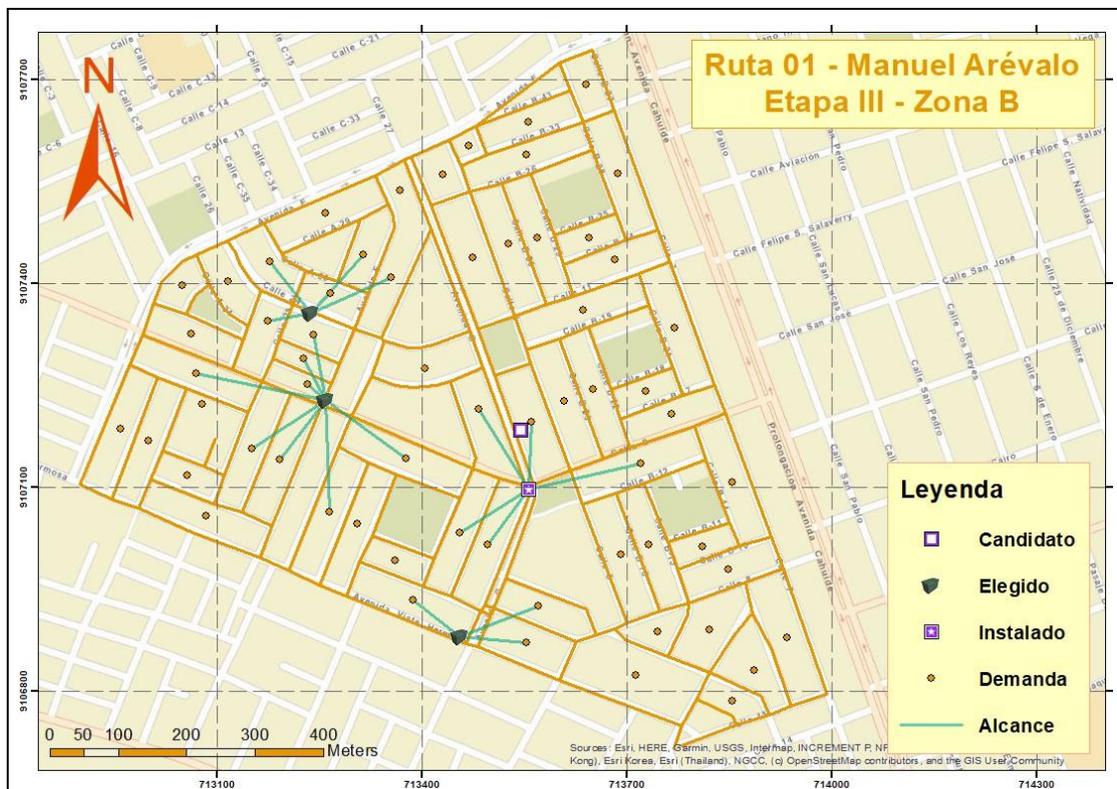
Las propuestas de ubicación de contenedores (siendo las mismas que los puntos críticos identificados) fueron importadas al programa *ArcGIS* y se llevó a cabo el siguiente método.

Figura 1. Método usado en ArcGIS para determinar las mejores ubicaciones



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 01



Fuente: Elaboración obtenida por el programa ArcGIS 10.4

Tabla 4. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 01

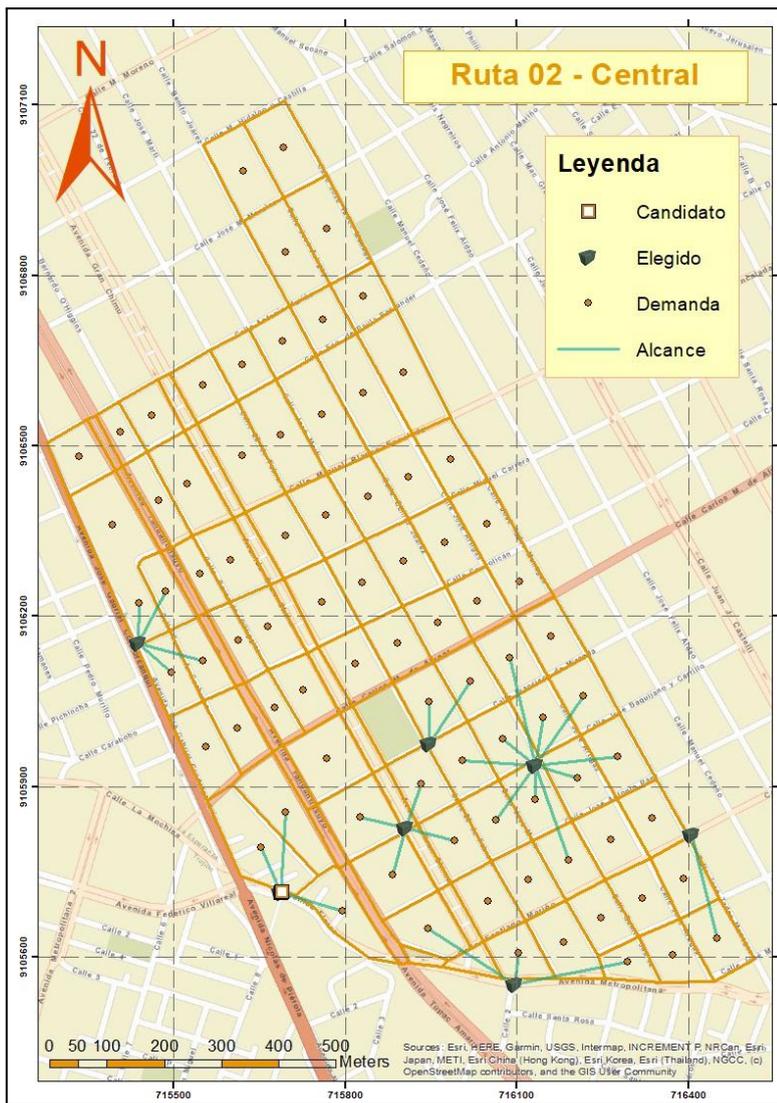
<i>Propuesta de instalación en RUTA 01</i>					
<i>N°</i>	<i>Coord. Este</i>	<i>Coord. Norte</i>	<i>Distancia promedio entre manzanas y contenedores (m)</i>	<i>Población beneficiada</i>	<i>Potencial de recolección (kg)</i>
1	713455	9106880	170.180941	253	177.1
2	713236	9107357	142.65404	267	186.9
3	713259	9107228	141.17566	635	444.5

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se presenta que, de los puntos evaluados en la Ruta 01, el punto 3 destaca por su potencial de recolección de 444.5 kg de residuos sólidos y beneficia a una población de 635 personas, siendo el más eficiente con una distancia promedio de 141.18 metros entre las manzanas atendidas.

El punto 2 también es significativo, con un potencial de recolección de 186.9 kg y beneficiando a 267 personas, con una distancia promedio de 142.65 metros.

Figura 3. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 02



Fuente: Elaboración obtenida por el programa ArcGIS 10.4

Tabla 5. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 02

Propuesta de instalación en RUTA 02					
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Distancia promedio entre manzanas y contenedores (m)	Población beneficiada	Potencial de recolección (kg)
1	716132.5	9105936.9	144.703138	1071	749.7
2	715687.9	9105712.8	189.073346	532	372.4
3	715438.3	9106152.7	140.964227	334	233.8
4	715905.5	9105826.7	124.704547	525	367.5

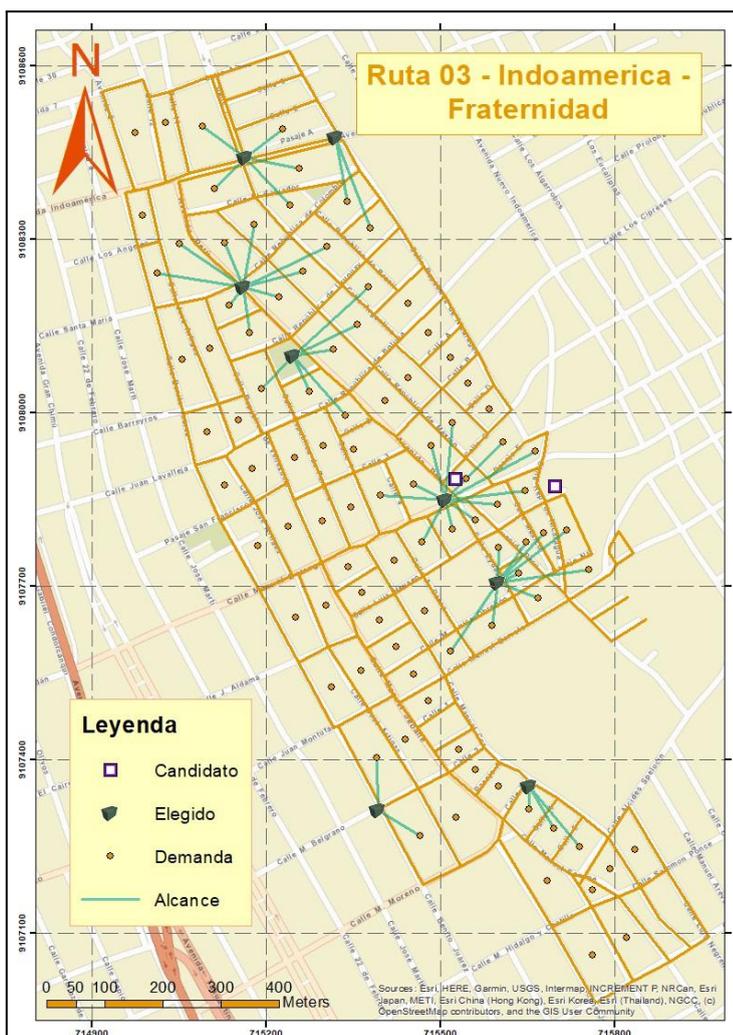
5	716407.2	9105814.7	180.350013	112	78.4
6	716096.1	9105551.8	178.500696	260	182
7	715946.5	9105975.1	102.642021	213	149.1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 se presenta que en la Ruta 02, el punto 1 destaca significativamente con un potencial de recolección de 749.7 kg de residuos sólidos, beneficiando a una población de 1071 personas y una distancia promedio de 144.70 metros entre las manzanas atendidas. Este punto maximiza tanto la eficiencia en términos de recolección como el impacto poblacional.

El punto 4 es también relevante, con un potencial de recolección de 367.5 kg y beneficiando a 525 personas, con una distancia promedio de 124.70 metros. Este punto es eficiente en términos de proximidad y contribución a la recolección de residuos.

Figura 4. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 03



Fuente: Elaboración obtenida por el programa ArcGIS 10.4

Tabla 6. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 03

Propuesta de instalación en RUTA 03					
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Distancia promedio entre manzanas y contenedores (m)	Población beneficiada	Potencial de recolección (kg)
1	715320	9108477	155.355451	125	87.5
2	715164	9108441	105.496464	507	354.9
3	715160	9108217	136.079801	699	489.3
4	715246	9108098	153.143682	432	302.4
5	715509	9107849	144.172923	610	427

6	715600	9107706	130.022966	400	280
7	715653	9107353	116.708908	174	121.8
8	715392.9	9107312.5	77.0259845	245	171.5

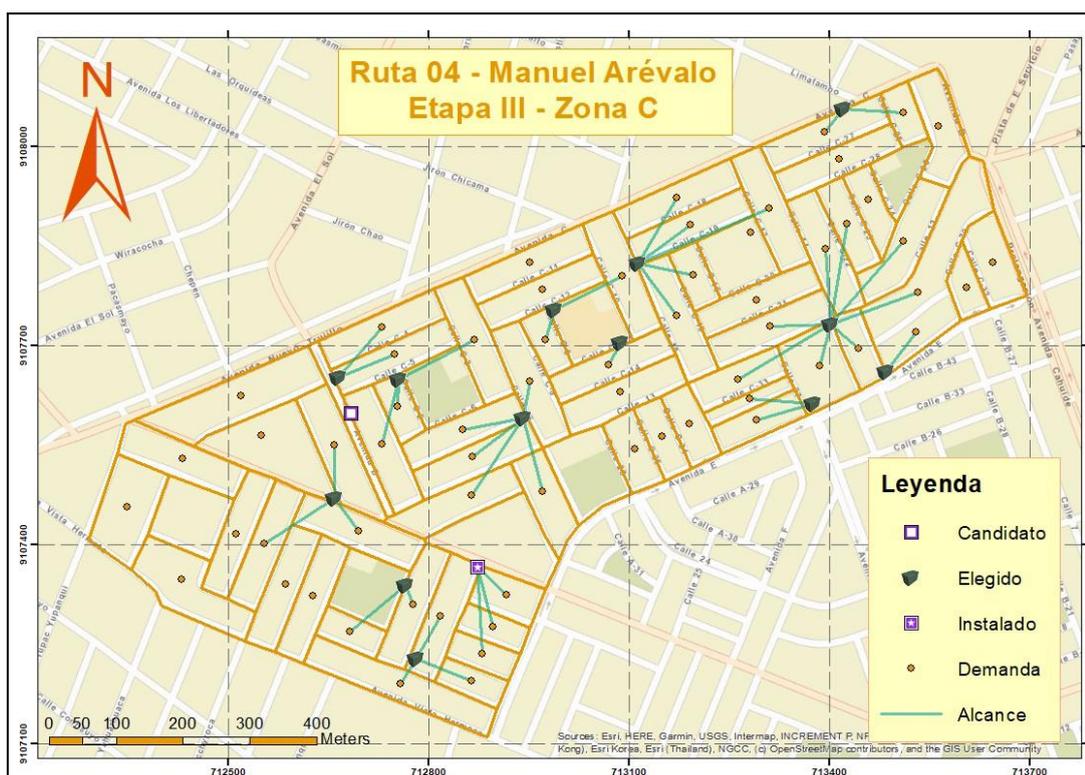
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se presenta la propuesta de instalación de contenedores en la Ruta 03, y se muestra que, el punto 3 sobresale con un potencial de recolección de 489.3 kg de residuos sólidos y beneficia a 699 personas. La distancia promedio entre las manzanas atendidas es de 136.08 metros, lo que indica una buena accesibilidad y eficiencia en la recolección. El punto 2 también es significativo, con un potencial de recolección de 354.9 kg y beneficiando a 507 personas. La distancia promedio es de 105.50 metros, lo que sugiere una excelente proximidad a las áreas atendidas.

El punto 5 presenta un potencial de recolección de 427 kg, beneficiando a 610 personas, con una distancia promedio de 144.17 metros, indicando una buena combinación de capacidad de recolección y accesibilidad. Además, el punto 4 destaca con un potencial de recolección de 302.4 kg y beneficiando a 432 personas, con una distancia promedio de 153.14 metros.

En términos de proximidad, el punto 8 es el más cercano con una distancia promedio de 77.03 metros, beneficiando a 245 personas y un potencial de recolección de 171.5 kg.

Figura 5. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 04



Fuente: Elaboración obtenida por el programa ArcGIS 10.4

Tabla 7. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 04

Propuesta de instalación en RUTA 04					
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Distancia promedio entre manzanas y contenedores (m)	Población beneficiada	Potencial de recolección (kg)
1	712664	9107652	135.168788	204	142.8
2	712754	9107649	105.811156	267	186.9
3	713087	9107704	28.399223	98	68.6
4	712988	9107753	102.842719	161	112.7
5	713113	9107824	150.939674	487	340.9
6	713420	9108056	69.8459975	156	109.2
7	713485	9107660	79.668777	74	51.8
8	713375	9107613	139.307672	111	77.7
9	712658	9107470	113.52311	323	226.1

10	712781	9107228	86.5844853	314	219.8
11	712765	9107339	74.4142985	161	112.7
12	713401.3	9107731.7	138.426813	724	506.8
13	712941.5	9107590.5	128.352629	471	329.7

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 se presenta la propuesta de instalación de contenedores en la Ruta 04, donde varios puntos destacan por su potencial de recolección y la población beneficiada, como el punto 12 es el más relevante con un potencial de recolección de 506.8 kg y beneficiando a 724 personas. La distancia promedio entre las manzanas atendidas es de 138.43 metros, indicando una alta eficiencia en términos de proximidad y capacidad de recolección. Así también, el punto 5 destaca con un potencial de recolección de 340.9 kg, beneficiando a 487 personas, aunque la distancia promedio es de 150.94 metros.

El punto 13 muestra un potencial de recolección de 329.7 kg y beneficia a 471 personas, con una distancia promedio de 128.35 metros. Aunque, otro punto notable es el punto 9 con un potencial de recolección de 226.1 kg, beneficiando a 323 personas y una distancia promedio de 113.52 metros. De igual forma, el punto 10 muestra alta eficiencia con un potencial de recolección de 219.8 kg, beneficiando a 314 personas y una distancia promedio de 86.58 metros.

En términos de proximidad, el punto 3 tiene la menor distancia promedio de 28.40 metros, beneficiando a 98 personas y con un potencial de recolección de 68.6 kg.

Figura 6. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 05



Fuente: Elaboración obtenida por el programa ArcGIS 10.4

Tabla 8. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 05

Propuesta de instalación en RUTA 05						
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Distancia promedio entre manzanas y contenedores (m)	Población beneficiada	Potencial de recolección (kg)	
1	715066.2	9107964.5	144.365374	412	288.4	

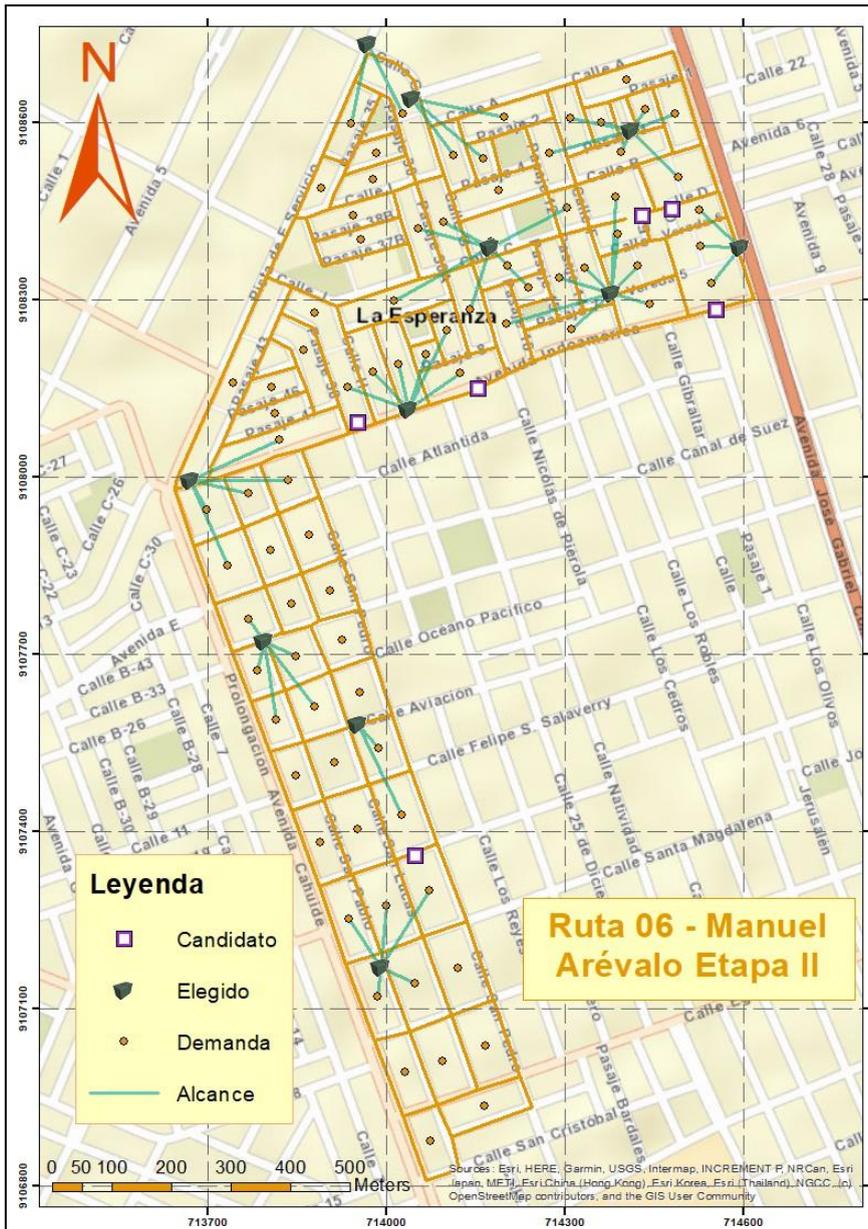
2	715719	9106750	110.621064	460	322
3	714849.1	9107882.4	110.166002	681	476.7
4	715352.6	9106895.1	177.4241	416	291.2
5	715200	9107178.6	157.046615	586	410.2
6	714886.5	9108361.3	132.257754	548	383.6
7	715170.1	9107558.8	133.520171	829	580.3

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 se muestran las propuestas en la Ruta 05, como el punto 7, siendo el más relevante con un potencial de recolección de 580.3 kg y beneficiando a 829 personas. La distancia promedio entre las manzanas atendidas es de 133.52 metros, lo que indica una alta eficiencia en términos de proximidad y capacidad de recolección. De igual forma, el punto 3 también destaca con un potencial de recolección de 476.7 kg, beneficiando a 681 personas, y una distancia promedio de 110.17 metros, lo que sugiere una excelente proximidad a las áreas atendidas.

El Punto 5 presenta un potencial de recolección de 410.2 kg, beneficiando a 586 personas, con una distancia promedio de 157.05 metros. Además, es notable el punto 6 con un potencial de recolección de 383.6 kg, beneficiando a 548 personas y una distancia promedio de 132.26 metros. Asimismo, el punto 2 muestra alta eficiencia con un potencial de recolección de 322 kg, beneficiando a 460 personas y una distancia promedio de 110.62 metros.

Figura 7. Mapa de la mejor ubicación de los contenedores en la Ruta 06



Fuente: Elaboración obtenida por el programa ArcGIS 10.4

Tabla 9. Ubicaciones propuestas y datos asociados para la instalación de contenedores en la Ruta 06

Propuesta de instalación en RUTA 06					
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Distancia promedio entre manzanas y contenedores (m)	Población beneficiada	Potencial de recolección (kg)
1	714379	9108312	127.672527	667	466.9
2	714038	9108115	147.314628	433	303.1
3	713671	9107994	142.303991	471	329.7
4	713970	9108735	133.318272	217	151.9
5	714044	9108641	175.21846	190	133
6	713951.9	9107582.3	124.669832	205	143.5
7	713991.5	9107169.1	90.5367808	547	382.9
8	713795.4	9107722.5	97.4044	366	256.2
9	714413	9108589	94.2081397	471	329.7
10	714595	9108389	134.703496	214	149.8
11	714175	9108389	127.118613	513	359.1

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 se presentan las ubicaciones de contenedores en la Ruta 06, como el punto 1, siendo el más relevante con un potencial de recolección de 466.9 kg y beneficiando a 667 personas. La distancia promedio entre las manzanas atendidas es de 127.67 metros, indicando una alta eficiencia en términos de proximidad y capacidad de recolección. También, el punto 7 destaca con un potencial de recolección de 382.9 kg, beneficiando a 547 personas y una distancia promedio de 90.54 metros, lo que sugiere una excelente proximidad a las áreas atendidas.

El punto 11 presenta un potencial de recolección de 359.1 kg, beneficiando a 513 personas, con una distancia promedio de 127.12 metros. Del mismo modo, el punto 3 es notable por su potencial de recolección de 329.7 kg, beneficiando a 471 personas y una distancia promedio de 142.30 metros. Asimismo, el punto 8

también muestra alta eficiencia con un potencial de recolección de 256.2 kg, beneficiando a 366 personas y una distancia promedio de 97.40 metros.

A continuación, se muestra la tabla 10 que muestra la distribución de contenedores por cada ruta y la ruta que estos brindan, resaltando que la capacidad de almacenamiento de cada uno es 244.74 kg.

Tabla 10. *Distribución de contenedores y cobertura del servicio brindado*

Ruta	Contenedores	RSM sin atender (kg)	RSM atendidos (kg)	Cobertura del servicio (%)
01	3	1027.4	734.22	71.5%
02	7	2778.8	1713.18	61.7%
03	8	2558.8	1957.92	76.5%
04	13	4168.4	3181.62	76.3%
05	7	2207.2	1713.18	77.6%
06	11	3656	2692.14	73.6%

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 10 señala que, la Ruta 05 destaca con la mayor cobertura del servicio al alcanzar el 77.6%, logrando atender 1713.18 kg de residuos sólidos con 7 contenedores. Este alto porcentaje indica una notable eficiencia en la gestión de residuos en esta ruta. Asimismo, la Ruta 03 también muestra una alta eficiencia con una cobertura del 76.5%, utilizando 8 contenedores para atender 1957.92 kg de residuos.

En contraste, la Ruta 02 presenta la menor cobertura del servicio con un 61.7%, atendiendo 1713.18 kg de residuos con 7 contenedores, lo que sugiere la necesidad de optimizar la distribución y gestión en esta área.

Se elaboró la siguiente tabla que muestra los posibles efectos económicos y ambientales resultantes de la instalación de los contenedores. Dichos valores se calcularon en base al tiempo requerido para erradicar los puntos críticos, el cual es 111 *kg/min* (anexo 13), mientras que el costo por el personal de recolección es de 0.45 S/. por minuto (anexo 14). Por otro lado, se consumen 0.03 *gal/min*

cuando la unidad vehicular está en ralentí (anexo 15), con un costo de 17.5 S/. por galón.

Cabe resaltar que, el tiempo promedio que una compactadora necesita para atender a un contenedor es de 1.3 minutos.

Tabla 11. Comparación de indicadores económicos y ambientales antes y después de la instalación de contenedores

Ruta	Indicadores	Sin instalación	Con instalación	Diferencia
01	Costo de personal (S/.)	2.96	1.76	1.21
	Costo de transporte (S/.)	3.49	2.07	1.42
	Emisiones de CO ₂ (kg)	1.72	1.02	0.70
02	Costo de personal (S/.)	6.91	4.10	2.82
	Costo de transporte (S/.)	8.14	4.82	3.32
	Emisiones de CO ₂ (kg)	4.01	2.37	1.63
03	Costo de personal (S/.)	7.90	4.68	3.22
	Costo de transporte (S/.)	9.31	5.51	3.79
	Emisiones de CO ₂ (kg)	4.58	2.71	1.87
04	Costo de personal (S/.)	12.84	7.61	5.24
	Costo de transporte (S/.)	15.12	8.96	6.17
	Emisiones de CO ₂ (kg)	7.44	4.41	3.03
05	Costo de personal (S/.)	6.91	4.10	2.82
	Costo de transporte (S/.)	8.14	4.82	3.32
	Emisiones de CO ₂ (kg)	4.01	2.37	1.63
06	Costo de personal (S/.)	10.87	6.44	4.43
	Costo de transporte (S/.)	12.80	7.58	5.22
	Emisiones de CO ₂ (kg)	6.29	3.73	2.57

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11 se evidencia un impacto positivo en la reducción de costos y emisiones, reflejando mejoras en eficiencia operativa. Por ejemplo, en la Ruta 04

muestra los mayores beneficios. El costo de personal se reduce en S/. 5.24, pasando de S/. 12.84 a S/. 7.61, y el costo de transporte disminuye en S/. 6.17, de S/. 15.12 a S/. 8.96. Las emisiones de CO₂ también bajan significativamente en 3.03 kg, de 7.44 kg a 4.41 kg. Estos valores indican que la instalación de contenedores en esta ruta resulta en una considerable reducción de costos y un impacto ambiental positivo.

En la Ruta 06, se observa una reducción del costo de personal de S/. 4.43, disminuyendo de S/. 10.87 a S/. 6.44, y el costo de transporte se reduce en S/. 5.22, de S/. 12.80 a S/. 7.58. Las emisiones de CO₂ también disminuyen en 2.57 kg, de 6.29 kg a 3.73 kg, reflejando mejoras sustanciales en la eficiencia operativa y una menor huella de carbono.

La Ruta 03 también destaca con una reducción del costo de personal de S/. 3.22, de S/. 7.90 a S/. 4.68, y una disminución del costo de transporte de S/. 3.79, de S/. 9.31 a S/. 5.51. Las emisiones de CO₂ se reducen en 1.87 kg, de 4.58 kg a 2.71 kg, evidenciando mejoras significativas en términos económicos y ambientales.

En general, la implementación de contenedores en todas las rutas estudiadas reduce el tiempo de recolección, lo que se traduce en menores costos de personal y transporte, así como en una reducción de las emisiones de CO₂. Este análisis subraya la importancia de la instalación de contenedores para mejorar la eficiencia de la recolección de residuos sólidos y su impacto positivo tanto económico como ambiental en el distrito de La Esperanza.

IV. DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observa una variación significativa en la cantidad de residuos sólidos municipales (RSM) generados, recolectados y sin atender en las diferentes rutas seleccionadas. La Ruta 02 presenta el mayor volumen de RSM generados con un total de 13,078.8 kg, de los cuales 10,300 kg son recolectados, dejando 2,778.8 kg sin atender. Este alto volumen de residuos no recolectados puede deberse a una insuficiente capacidad de recolección o a problemas logísticos específicos de la ruta. Comparando con Morales (2020), quien también encontró que las áreas con mayor densidad de población generan más residuos y enfrentan mayores desafíos logísticos, se observa una similitud en la relación entre densidad poblacional y eficiencia de recolección. Así también Alvarado y Cabrera (2020) revelan que en Caleta de Carquín, las rutas de recolección también muestran desafíos similares en áreas de alta actividad comercial.

Por otra parte, la Ruta 03, aunque genera menos RSM que la Ruta 02, tiene una considerable cantidad de residuos sin atender (2,558.8 kg) y presenta 10 puntos críticos. Esto sugiere que los puntos críticos son un factor clave que afecta la eficiencia de recolección. Morales (2020) también identificó que los puntos críticos, como áreas de difícil acceso, complican la recolección eficiente, coincidiendo con los hallazgos actuales.

La Tabla 2 resalta la relación entre la distancia recorrida, el tiempo de recorrido, el número de paradas y el consumo de combustible en cada ruta. La Ruta 06 tiene el mayor consumo de combustible (7.38 galones), el mayor número de paradas (70) y una distancia significativa recorrida (17.34 km). Este alto consumo puede estar asociado a la necesidad de cubrir una extensa área con múltiples paradas, sugiriendo una posible optimización en el diseño de esta ruta para mejorar su eficiencia. En comparación, Morales (2020) también encontró que rutas largas con muchas paradas tienden a ser menos eficientes, indicando una concordancia en los hallazgos.

En la Tabla 3, la Ruta 04 muestra la mayor necesidad de contenedores con 4,168.4 kg de RSM sin atender, requiriendo idealmente 17 contenedores.

Esta alta necesidad refleja la urgencia de atención en esta ruta para mitigar los residuos no recolectados. Dada la distribución proporcional, se asignan 13 contenedores, lo que representa el 26% de la atención total. Esto es comparable con los hallazgos de Navarro (2021), quien también identificó rutas con alta necesidad de contenedores debido a la cantidad de residuos sin atender y la densidad poblacional. Además, Morales (2020) también encontró que la distribución de contenedores debe ser proporcional a la generación de residuos para optimizar la recolección, lo que concuerda con los resultados actuales.

Esta distribución proporcional asigna los contenedores de manera que cubra las necesidades prioritarias, sin embargo, aún se observa una necesidad significativa en varias rutas. Boskovic y Jovicic (2015) lograron reducir el número de contenedores necesarios sin comprometer la calidad del servicio, por ende, la implementación de una estrategia de optimización similar en La Esperanza podría mejorar la distribución de contenedores y la eficiencia del sistema de recolección, abordando las necesidades más urgentes y reduciendo los residuos no atendidos en las rutas críticas.

La tabla 4 muestra que el punto 3 de la ruta 01, tiene un potencial de recolección de 444.5 kg de residuos sólidos, beneficiando a 635 personas, con una distancia promedio de 141.18 metros entre manzanas y contenedores. Este punto es el más eficiente en términos de recolección y accesibilidad. Similarmente, en la Ruta 02 (tabla 5), el punto 1 destaca con un potencial de recolección de 749.7 kg, beneficiando a 1071 personas, con una distancia promedio de 144.70 metros. Estos puntos optimizan tanto la capacidad de recolección como el impacto poblacional, sugiriendo una gestión eficaz de residuos en estas áreas.

La tabla 6 también muestra puntos críticos en la Ruta 03, con el punto 3 teniendo un potencial de recolección de 489.3 kg y beneficiando a 699 personas, con una distancia promedio de 136.08 metros. Esta tendencia se observa en la Ruta 04 (tabla 7), donde el punto 12 destaca con un potencial de recolección de 506.8 kg y beneficiando a 724 personas, con

una distancia promedio de 138.43 metros. La proximidad y la capacidad de recolección indican una alta eficiencia operativa en estas rutas.

En la tabla 8, el punto 7 de la Ruta 05 es el más significativo, con un potencial de recolección de 580.3 kg y beneficiando a 829 personas, con una distancia promedio de 133.52 metros. En la Ruta 06 (tabla 9), el punto 1 sobresale con un potencial de recolección de 466.9 kg, beneficiando a 667 personas, con una distancia promedio de 127.67 metros. Estos puntos maximizan la eficiencia de la recolección y la accesibilidad.

De igual modo, Nevrlý et al. (2020) utilizaron herramientas GIS para optimizar la recolección de residuos, encontrando que la proximidad y la accesibilidad de los contenedores son cruciales para maximizar la eficiencia. Mientras que, Rossit, Toutouh y Nesmachnow (2020) enfatizan la importancia de la accesibilidad y proximidad en la eficiencia operativa, coincidiendo en que la minimización de la distancia mejora significativamente la recolección de residuos.

En la tabla 10, se muestran resultados en términos de cobertura del servicio de almacenamiento temporal, donde la Ruta 05 alcanzó la mayor cobertura con un 77.6%, atendiendo 1713.18 kg de residuos con 7 contenedores. Este resultado destaca la notable eficiencia en la gestión de residuos. De manera similar, la Ruta 03 alcanzó una cobertura del 76.5%, y la Ruta 04 mostró una cobertura del 76.3%, reflejando una gestión adecuada de los contenedores. Por otro lado, la Ruta 02 presentó la menor cobertura del servicio con un 61.7%, lo que sugiere la necesidad de optimizar la distribución de los contenedores para mejorar la eficiencia. Vu et al. (2019) encontraron que una cobertura superior al 75% es óptima para la eficiencia operativa, y rutas con menor cobertura requieren una mejor planificación y distribución para alcanzar niveles más altos de eficiencia.

En la tabla 11 se evidencian mejoras significativas producto de la instalación de contenedores en La Esperanza muestra mejoras

significativas. Económicamente, se observó una disminución en los costos operativos totales, reducción del tiempo de recorrido y consumo de combustible, y una menor cantidad de viajes necesarios, lo cual optimiza la eficiencia del sistema de recolección. Ambientalmente, se redujeron las emisiones de CO₂ y la cantidad de residuos no recolectados, mejorando la cobertura del servicio y la calidad ambiental del área.

La instalación de contenedores permitió optimizar las rutas de recolección, reduciendo el tiempo y el consumo de combustible, lo cual disminuye los costos operativos. Esto se debe a que los contenedores aumentan la capacidad de almacenamiento, reduciendo la frecuencia de los viajes necesarios. Esta mejora es similar a lo observado por Traven y Široka (2023) en Rijeka, donde se identificó la importancia de una infraestructura adecuada para mejorar la eficiencia y reducir costos; sin embargo, este mismo encontró una sobrecapacidad en la recolección de papel y vidrio y una subcapacidad en plásticos y metales.

Estos hallazgos coinciden con los resultados de Vu, Ng y Bolingbroke (2018), quienes también reportaron una reducción significativa en los costos de recolección y emisiones tras la optimización del sistema de recolección de residuos. En su estudio, implementaron un modelo de dos fases basado en SIG en Hai Phong, Vietnam, logrando reducir las distancias de viaje de los camiones en un 13.76% y los costos de recolección en aproximadamente USD 9.57 por día. Al igual que en La Esperanza, los beneficios económicos y ambientales en Hai Phong se debieron a una mejor planificación y optimización de los puntos de recolección, aunque también de las rutas de transporte.

V. CONCLUSIONES

La evaluación operativa de las rutas seleccionadas en el distrito de La Esperanza reveló importantes diferencias en términos de eficiencia y cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos municipales. Las rutas mostraron variaciones significativas en la cantidad de residuos generados, recolectados y sin atender, así como en el número de puntos críticos. Estas diferencias indican áreas específicas que requieren optimización para mejorar la eficiencia y la cobertura del servicio.

La propuesta de instalación de contenedores basada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) permitió identificar ubicaciones estratégicas para la colocación de contenedores en las rutas seleccionadas. Utilizando la herramienta Location-Allocation en ArcGIS, se determinó que la distribución de los contenedores mejoraría significativamente la cobertura y la eficiencia de la recolección de residuos. Estos resultados subrayan la efectividad del SIG en la optimización de la gestión de residuos sólidos, permitiendo una recolección más eficiente y equitativa.

La implementación de contenedores mostró un impacto positivo tanto en términos económicos como ambientales. La reducción del tiempo de recolección resultó en menores costos de personal y transporte, además de una disminución significativa de las emisiones de CO₂. Estos beneficios reflejan mejoras sustanciales en la eficiencia operativa y una menor huella de carbono, destacando la importancia de la instalación de contenedores para mejorar la sostenibilidad ambiental y económica del sistema de recolección de residuos sólidos en el distrito de La Esperanza.

VI. RECOMENDACIONES

Implementar un modelo de optimización basado en SIG para determinar la ubicación óptima de los contenedores. Este enfoque debe considerar la densidad poblacional, la producción de residuos y la accesibilidad. Los estudios de Boskovic y Jovicic (2015) y Nevrlý et al. (2020) demuestran que la ubicación estratégica de contenedores puede reducir significativamente los costos operativos y mejorar la eficiencia del sistema de recolección.

Minimizar las distancias entre los puntos de generación de residuos y los contenedores, tal como se sugiere en el estudio de Vu, Ng, y Bolingbroke (2018), puede mejorar la eficiencia del sistema. Establecer distancias promedio óptimas, como las encontradas en el presente estudio, lo que puede facilitar un acceso más fácil y eficiente a los puntos de recolección.

Ajustar la frecuencia de recolección basada en la demanda específica de cada área. Las áreas con alta densidad poblacional y producción de residuos, como se identificaron en las rutas 3 y 4, deben tener una recolección más frecuente para evitar desbordes y mantener la limpieza.

Adoptar herramientas tecnológicas avanzadas, como algoritmos de optimización de rutas basados en SIG y modelos de enrutamiento vehicular, para reducir el tiempo y la distancia de recorrido de los camiones de recolección. Los antecedentes han demostrado que el uso de estas tecnologías puede resultar en reducciones significativas de costos y emisiones de CO₂.

Establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar la eficiencia operativa y ambiental del sistema de recolección de residuos. Esto permitirá ajustar las estrategias de manera oportuna y asegurará que se mantengan los niveles óptimos de servicio y sostenibilidad .

REFERENCIAS

1. ALVARADO, Luis y CABRERA, Jhoshi. Optimización de rutas para la recolección de residuos sólidos municipales utilizando herramienta SIG en el distrito de Caleta de Carquín. Tesis (Ingeniero Ambiental). Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14067/4206>
2. ANTONIO, Omar y CASHPA, Omar. Mejora de la eficiencia de rutas de recolección de residuos sólidos empleando análisis de redes SIG en los sectores 01 y 03 del distrito de Ancón. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2022. 112 pp. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/106570>
3. AYAIM, Michael et al. Potential sites for landfill development in a developing country: A case study of Ga South Municipality, Ghana. Heliyon [en línea]. 2019, 5(10), e02537 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 2405-8440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02537>
4. BELLO, Renson. Sistema web para el proceso de recolección de residuos sólidos en la Municipalidad Distrital de Nuevo Chimbote. Tesis (Ingeniero de Sistemas). Lima Norte: Universidad César Vallejo, 2021. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/81148>
5. BOSKOVIC, Goran y JOVICIC, Nebojsa. Fast methodology to design the optimal collection point locations and number of waste bins: A case study. Waste Management & Research [en línea]. 2015, 33(12), 1094–1102 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 1096-3669. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242x15607426>
6. CORREA, Jhanmarco. Propuesta de mejora del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el distrito de Chiclayo para reducir los impactos ambientales. Tesis (Ingeniero Industrial). Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12423/1142>
7. DEL CARMEN-NIÑO, Viridiana et al. Municipal Solid Waste Collection: Challenges, Strategies and Perspectives in the Optimization of a Municipal Route in a Southern Mexican Town. Sustainability [en línea]. 2023, 15(2),

- 1083 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 2071-1050. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su15021083>
8. ERFANI, Seyed et al. A novel approach to find and optimize bin locations and collection routes using a geographic information system. *Waste Management & Research* [en línea]. 2017, 35(7), 776–785 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 1096-3669. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0734242X17706753>
 9. FERRONATO, Navarro et al. Assessment of municipal solid waste collection in Bolivia: Perspectives for avoiding uncontrolled disposal and boosting waste recycling options. *Resources, Conservation and Recycling* [en línea]. 2020, 105234 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 0921-3449. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105234>
 10. Global waste to grow by 70 percent by 2050 unless urgent action is taken: World Bank report [en línea]. World Bank. 20 de septiembre de 2018. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>
 11. HU, Shuhan, AN, Li y SHEN, Lei. A multi-objective modeling and optimization approach to municipal solid waste collection for classified treatment in China towards sustainable development. *Sustainable Cities and Society* [en línea]. 2023, 104846 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 2210-6707. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104846>
 12. LIBERTA, Blanca Esther. Impacto, impacto social y evaluación del impacto. *Acimed* [en línea]. 2007, vol. 15, núm. 3. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2024]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352007000300008#cargo
 13. MAHDAVI, Leila, MANSOUR, Saeed y SAJADIEH, Mohsen. Sustainable multi-trip periodic redesign-routing model for municipal solid waste collection network: the case study of Tehran. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 2022 [consultado el 29 de mayo de 2024].

- ISSN 1614-7499. Disponible en:
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-18347-9>
14. MÉNDEZ-LAZARTE, Christiam et al. Attitude Is Not Enough to Separate Solid Waste at Home in Lima. *Recycling* [en línea]. 2023, 8(2), 36 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 2313-4321. Disponible en:
<https://doi.org/10.3390/recycling8020036>
 15. MINSA. Población estimada por año y edad quinquenal. Ministerio de Salud. 2024. Disponible en:
https://www.minsa.gob.pe/reunis/data/poblacion_estimada.asp
 16. MOFID-NAKHAEE, Elham y BARZINPOUR, Farnaz. A multi-compartment capacitated arc routing problem with intermediate facilities for solid waste collection using hybrid adaptive large neighborhood search and whale algorithm. *Waste Management & Research* [en línea]. 2018, 37(1), 38–47 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 1096-3669. Disponible en:
<https://doi.org/10.1177/0734242x18801186>
 17. MORALES, Jonathan. Propuesta de optimización de microrutas para mejorar el servicio de recolección de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de La Brea – Negritos, 2019. Tesis (Ingeniero Industrial). Piura: Universidad César Vallejo, 2020. 118 pp. Disponible en:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/browse?type=author&value=Morales%20Ruiz,%20Jonathan%20Enrique>
 18. MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LA ESPERANZA. Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales del Distrito de La Esperanza 2024-2028. La Esperanza, 2024. 355 pp.
 19. MDE. Plan de Manejo de Residuos Sólidos del distrito de La Esperanza 2020-2024. La Esperanza, 2020. 181 pp. Disponible en:
https://muniesperanza.gob.pe/admin/panel/img/29200514_292520_202011125_n.pdf
 20. MDE. Programa Recicla y formalización de recicladores en el distrito de La Esperanza 2023. La Esperanza, 2023. 92 pp.
 21. NAVARRO, Estefani. Optimización de rutas del sistema de recojo de residuos sólidos para incrementar la eficiencia, Piura – 2021. Tesis (Ingeniero Industrial). Piura: Universidad César Vallejo, 2021. 112 pp.

- Disponible en:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/browse?type=author&value=Navarro%20Carri%20Estefani%20Elizabeth>
22. Navegador de Transparencia Económica. Ministerio de Economía y Finanzas. 2023. Disponible en:
<https://apps5.mineco.gob.pe/transparencia/Navegador/default.aspx?y=2023&ap=ActProy>.
23. NEVRLÝ, Vlastimír et al. Location of municipal waste containers: Trade-off between criteria. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2021, 278, 123445 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 0959-6526. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123445>
24. O'DWYER, Ciara, ZAMAN, Atiq y BREADSELL, Jessica. The Uptake of Container Deposit Schemes: A Case Study in Perth, Western Australia. *Sustainability* [en línea]. 2022, 14(19), 11863 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 2071-1050. Disponible en:
<https://doi.org/10.3390/su141911863>
25. ONU. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. 2015 [consultado el 15 de septiembre de 2023].
Disponible en:
<https://www.fundacioncarolina.es/wp-content/uploads/2019/06/ONU-Agenda-2030.pdf>
26. ¿Peruanos generamos 21 mil toneladas diarias de basura? [en línea]. *El Peruano*. 27 de mayo de 2024. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2024].
Disponible en:
<https://elperuano.pe/noticia/120825-peruanos-generamos-21-mil-toneladas-diarias-debasura>
27. PHU, Song, FUJIWARA, Takeshi y DINH, Cuong. Oriented-planning solid waste management system in Vietnam toward sustainability - minimalism or optimization. *Environmental Engineering and Management Journal* [en línea]. 2022, 21(9), 1533–1543 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 1843-3707. Disponible en: <http://doi.org/10.30638/eemj.2022.136>
28. ROSSIT, Diego, TOUTOUH, Jamal y NESMACHNOW, Sergio. Exact and heuristic approaches for multi-objective garbage accumulation points

- location in real scenarios. *Waste Management* [en línea]. 2020, 105, 467–481 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.016>
29. SIGERSOL. Reporte resumen general: Municipalidad distrital de La Esperanza. 2019-2022 [Consultado el 15 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://sistemas.minam.gob.pe/SigersolMunicipal/#/accesoLibre/resumenes>
30. SLAVÍK, Jan, DOLEJŠ, Martin y RYBOVÁ, Kristýna. Mixed-method approach incorporating Geographic information system (GIS) tools for optimizing collection costs and convenience of the biowaste separate collection. *Waste Management* [en línea]. 2021, 134, 177–186 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.018>
31. TAM, Jorge, Vera, Giovanna y Oliveros, Ricardo. Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Revista de la Escuela de Posgrado* [en línea]. [Fecha de consulta: 18 de octubre de 2023]. Disponible en: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_m odela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf
32. TSIMNADIS, Konstantinos et al. An Innovative and Alternative Waste Collection Recycling Program Based on Source Separation of Municipal Solid Wastes (MSW) and Operating with Mobile Green Points (MGPs). *Sustainability* [en línea]. 2023, 15(4), 3106 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 2071-1050. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su15043106>
33. TRAVEN, Luka y Matija ŠIROKA. Collection of recyclable waste in the city of Rijeka: Current status and perspectives. *Cleaner Waste Systems* [en línea]. 2023, 5, 100093 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 2772-9125. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100093>
34. VU, Hoang Lan et al. Assessment of waste characteristics and their impact on GIS vehicle collection route optimization using ANN waste forecasts. *Waste Management* [en línea]. 2019, 88, 118–130 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.037>

35. VU, Hoang Lan et al. Interactions of residential waste composition and collection truck compartment design on GIS route optimization. *Waste Management* [en línea]. 2020, 102, 613–623 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.028>
36. VU, Hoang, NG, Kelvin y BOLINGBROKE, Damien. Parameter interrelationships in a dual phase GIS-based municipal solid waste collection model. *Waste Management* [en línea]. 2018, 78, 258–270 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.050>
37. WORKENTIN, Joseph, DE SOUSA, Joseph y MENSINK, Paul. The use of recycling bags: An overview of collection policies and a spatial assessment of bag use. *Environmental Challenges* [en línea]. 2022, 100535 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 2667-0100. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100535>
38. ZHANG, Abraham et al. Barriers to compulsory waste sorting for a circular economy in China. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 2023, 342, 118180 [consultado el 29 de mayo de 2024]. ISSN 0301-4797. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118180>

ANEXOS

Anexo 01. Tabla de operacionalización de variables

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Propuesta de instalación de los contenedores en las rutas de recolección	Una recolección con contenerización que consiste en la habilitación de espacios en entornos urbanos (llamados puntos limpios) para el acopio temporal de residuos sólidos (MINAM, 2020)	Se operacionaliza mediante la determinación de la ubicación óptima de los contenedores	Ubicación y distribución de los contenedores	Distancia promedio entre las manzanas y los contenedores	de razón
				Población beneficiada	de razón
				Potencial de recolección	de razón
Impacto de la propuesta de instalación de contenedores	Aquel efecto que integra las dimensiones económicas, medioambientales y sociales, propias de la sostenibilidad (Hu, An, y Shen, 2023)	Se operacionaliza mediante la medición de cambios concretos en los costos y en el entorno que puedan surgir como resultado de la instalación de los contenedores.	Efecto económico	Costos de personal	de razón
				Costos de transporte	de razón
			Efecto ambiental	Emisiones de CO2	de razón

Anexo 02. Instrumento de recolección de datos

Guía de observación para evaluar la situación operativa de las rutas seleccionadas para la recolección de residuos sólidos municipales en el distrito de La Esperanza.

DATOS GENERALES				
Ruta				
Total de manzanas		Residuos municipales (kg/día)	sólidos generados	
Placa de vehículo		Tipo de vehículo		
Fecha de medición				
RUTA DE RECOLECCIÓN:				
Punto inicial	Dirección:			
	Este		Norte	
Punto final	Dirección:			
	Este		Norte:	
Frecuencia de recolección (días/semana)		Residuos recolectados (kg/día)		
Tiempo de recorrido (min/día)		Distancia recorrida (km/día)		
N° de paradas para compactar		Tiempo por parada (min)		
Consumo de combustible teórico (gal/día)		Consumo de combustible medido (gal/día)		
PUNTOS CRÍTICOS				
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Volumen (m3)	Tiempo (min)

Anexo 03. Evaluación por juicio de expertos

Universidad César Vallejo
Facultad de Ingeniería
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Evaluación por juicio de expertos

Jordan Alvaro Quiroz de la Cruz
Juan Carlos Cruz Amayo
Trujillo, noviembre, 2023

Estimado(a):

Nos dirigimos a usted con el propósito de solicitar su valiosa opinión acerca del contenido del siguiente instrumento, el cual contribuye al cumplimiento del objetivo específico: evaluar la situación operativa de las rutas seleccionadas para la recolección de residuos sólidos municipales en el distrito de La Esperanza.

La relevancia de esta **guía de observación** radica en la recopilación y construcción de datos que servirán de base para evaluar la variable impacto. Esta información es fundamental para desarrollar el proyecto de investigación titulado "Propuesta de instalación de contenedores en la recolección de residuos sólidos municipales mediante un SIG del distrito La Esperanza, 2024", que está orientado a mejorar la calidad en el manejo de residuos sólidos.

Agradeciendo su colaboración en la validación de contenido del presente instrumento de medición, en cuanto a los objetivos, indicadores, tipos de preguntas y alternativas de respuestas, redacción de las mismas, así como cualquier observación y sugerencia que considere pertinente.

Esperando una pronta respuesta.



Jordan Alvaro Quiroz de la Cruz



Juan Carlos Cruz Amayo

INFORMACIÓN SOBRE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

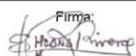
Objetivo general de la investigación: Evaluar el impacto de la instalación de contenedores en las rutas Indoamérica-Fraternidad, Manuel Arévalo II Etapa, Pueblo Libre, Central, Manuel Arévalo II Etapa Zona B, Manuel Arévalo II Zona C, que forman parte del servicio de recolección de residuos sólidos municipales en el distrito de la Esperanza usando una herramienta SIG, 2024					
Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Instalación de los contenedores en las rutas de recolección	Una recolección con contenerización que consiste en la habilitación de espacios en entornos urbanos (llamados puntos limpios) para el acopio temporal de residuos sólidos (MINAM, 2020)	Se operacionaliza mediante la determinación de la ubicación óptima de los contenedores	Ubicación y distribución de los contenedores	Distancia promedio entre las manzanas y los contenedores	de razón
				Población beneficiada	de razón
				Potencial de recolección	de razón
Impacto de la propuesta de instalación de contenedores	Aquel efecto que integra las dimensiones económicas, medioambientales y sociales, propias de la sostenibilidad (Hu, An, y Shen, 2023)	Se operacionaliza mediante la medición de cambios concretos en los costos y en el entorno que puedan surgir como resultado de la implementación de los contenedores.	Efecto económico	Costo de personal	de razón
				Costo de transporte	de razón
			Efecto ambiental	Emisiones de CO2	de razón

Guía de observación para evaluar la situación operativa de las rutas seleccionadas para la recolección de residuos sólidos municipales

DATOS GENERALES				
Ruta				
Total de manzanas		Residuos sólidos municipales generados (kg/día)		
Placa de vehículo		Tipo de vehículo		
Fecha de medición				
RUTA DE RECOLECCIÓN:				
Punto inicial	Dirección:			
	Este		Norte	
Punto final	Dirección:			
	Este		Norte:	
Frecuencia de recolección (días/semana)		Residuos recolectados (kg/día)		
Tiempo de recorrido (min/día)		Distancia recorrida (km/día)		
N° de paradas para compactar		Tiempo por parada (min)		
Consumo de combustible teórico (gal/día)		Consumo de combustible medido (gal/día)		
PUNTOS CRÍTICOS				
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Volumen (m3)	Tiempo (min)

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE	MÍNIMAMENTE ACEPTABLE	ACEPTABLE	OBSERVACIONES
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible			X	
OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y los principios científicos			X	
ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación			X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica			X	
SUFICIENCIA	Toma en cuenta lo aspectos metodológicos esenciales			X	
INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables			X	
CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos			X	
COHERENCIA	Existe coherencia entre los objetivos, variables e indicadores.			X	
METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr los objetivos			X	
PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico			X	

VALIDEZ		
APLICABLE	X	NO APLICABLE
APLICABLE ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES		
Validado por: Jhoana Juliana Rivera Murillo	DNI: 45535268	Fecha: 3 noviembre
Firma: 	Celular: 989944863	Código CIP*: 155893

*Colegio de Ingenieros del Perú

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE	MÍNIMAMENTE ACEPTABLE	ACEPTABLE	OBSERVACIONES
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible			x	
OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y los principios científicos			x	
ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación			x	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica			x	
SUFICIENCIA	Toma en cuenta lo aspectos metodológicos esenciales			x	
INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables			x	
CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos			x	
COHERENCIA	Existe coherencia entre los objetivos, variables e indicadores.			x	
METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr los objetivos			x	
PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico			x	

VALIDEZ		
APLICABLE	x	NO APLICABLE
APLICABLE ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES		
Validado por: VELA AREVALO CINTYA TAMARA	DNI: 46650365	Fecha: 30 NOV 2023
Firma: 	Celular: 907150828	Código CIP*: 210217

*Colegio de Ingenieros del Perú

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE	MÍNIMAMENTE ACEPTABLE	ACEPTABLE	OBSERVACIONES
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible			X	
OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y los principios científicos			X	
ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación			X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica			X	
SUFICIENCIA	Toma en cuenta lo aspectos metodológicos esenciales			X	
INTENCIONALIDAD	Está adecuado para valorar las variables			X	
CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos			X	
COHERENCIA	Existe coherencia entre los objetivos, variables e indicadores.			X	
METODOLOGÍA	La estrategia responde a una metodología y diseño aplicados para lograr los objetivos			X	
PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico			X	

VALIDEZ			
APLICABLE	X	NO APLICABLE	
APLICABLE ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES			
Validado por: YENIFER MARÍA CUEVA ZEGARRA	DNI: 73529982	Fecha: 01/12/2023	
Firma:  YENIFER MARÍA CUEVA ZEGARRA	Celular: 910172895	Código CIP*: 263840	

Colegio de Ingenieros del Perú
CUEVA ZEGARRA
Ingeniera Ambiental
CIP N° 263840

Anexo 04. Consentimiento o asentimiento informado UCV



MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LA ESPERANZA

CREADO EL 29 DE ENERO DE 1965 - LEY N° 15418
Jr. C.M. Alvear N° 999 - Teléfono: 272478 - 483330 - 272345 - 271744
TRUJILLO - PERÚ

“AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA
CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO”

AUTORIZACIÓN

La Esperanza, 01 de abril de 2024.

La Gerencia de Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de La Esperanza,

AUTORIZA:

A los señores Jordan Alvaro Quiroz de la Cruz identificado con DNI N° 75081878 y Juan Carlos Cruz Amayo con DNI N° 42423185, recopilar información sobre la recolección de residuos sólidos municipales del distrito de La Esperanza, como parte de su proyecto de investigación titulado “Propuesta de instalación de contenedores en la recolección de residuos sólidos municipales mediante un SIG del distrito de La Esperanza, 2024”.

Se les expide la presente autorización a los interesados.

Atentamente,


MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LA ESPERANZA
GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL
Ing. José Oswaldo B. Suárez Baffuco
GERENTE

JOESB
C.c.Archivo

Anexo 05. Tabla de ubicación de los contenedores

N°	Coord. Este	Coord. Norte	Distancia promedio entre manzanas y contenedores (m)	Población beneficiada	Potencial de recolección (kg)

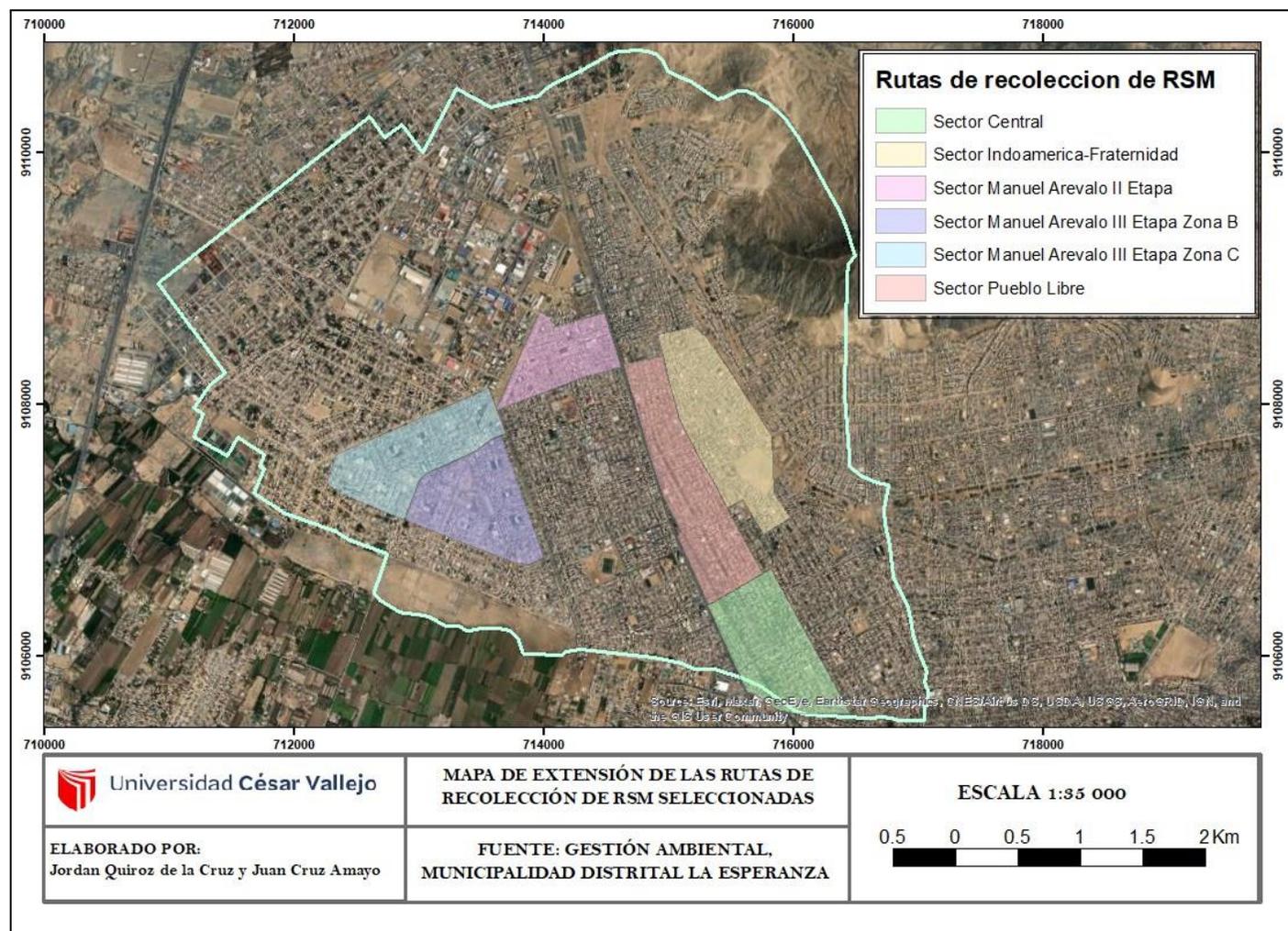
Fuente: Elaboración propia

Anexo 06. Tabla comparativa de indicadores económicos y ambientales antes y después de la instalación de contenedores

RUTA	INDICADORES	SIN INSTALACIÓN	CON INSTALACIÓN	Diferencia
	Costo de personal (S/.)			
	Costo de transporte (S/.)			
	Emisiones de CO ₂ (kg)			

Fuente: elaboración propia

Anexo 07. Mapa de áreas ruteadas de las rutas de recolección de residuos sólidos municipales seleccionadas



Fuente: Elaboración obtenida por el programa ArcGIS

Anexo 08. Rutas de recolección de residuos sólidos municipales seleccionadas



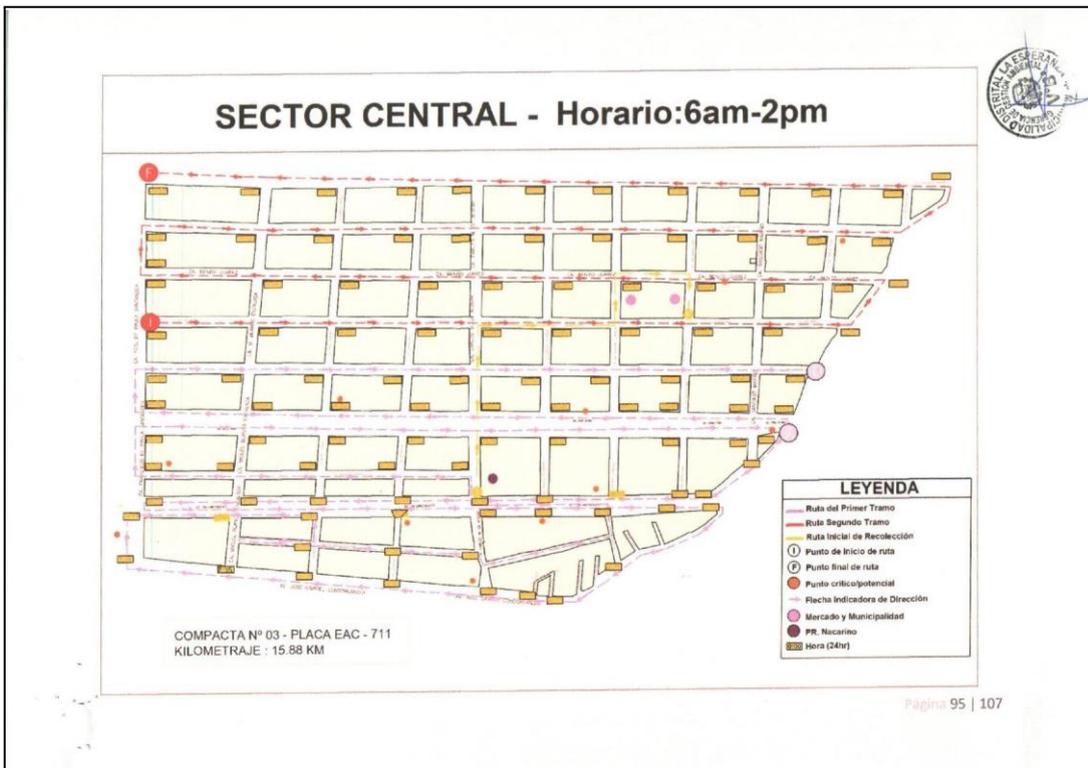
Fuente: Ordenanza Municipal 005-2023 de la Municipalidad Distrital de La Esperanza



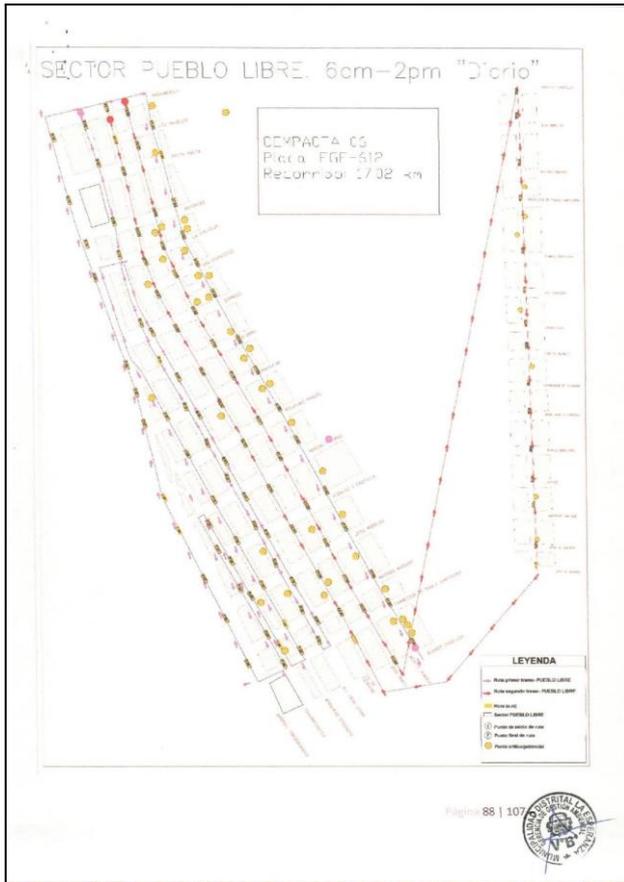
Fuente: Ordenanza Municipal 005-2023 de la Municipalidad Distrital de La Esperanza



Fuente: Ordenanza Municipal 005-2023 de la Municipalidad Distrital de La Esperanza



Fuente: Ordenanza Municipal 005-2023 de la Municipalidad Distrital de La Esperanza



Fuente: Ordenanza Municipal 005-2023 de la Municipalidad de La Esperanza



Fuente: Ordenanza Municipal 005-2023 de la Municipalidad Distrital de La Esperanza

Anexo 09. Guías de observación de las rutas seleccionadas del servicio de recolección de residuos sólidos municipales de La Esperanza.

DATOS GENERALES				
Ruta	MANUEL AREVALO III ETAPA ZONA B			
Total de manzanas	62	Residuos sólidos municipales generados (kg/día)	3528.7	
Placa de vehículo	EAC - 702	Tipo de vehículo	COMPACTADORA	
Fecha de medición	JUEVES 30 DE MAYO DE 2024			
RUTA DE RECOLECCIÓN				
Punto inicial	Dirección: Av. E (Manuel Arevalo)			
	Este	713520.70	Norte	9107650.10
Punto final	Dirección: Villa Hermosa			
	Este	713872.50	Norte:	9106911.00
Frecuencia de recolección (días/semana)	7	Residuos recolectados (kg/día)	6030	
Tiempo de recorrido (min/día)	334	Distancia recorrida (km/día)	17.21	
N° de paradas para compactar	30	Tiempo por parada (min)	1	
Consumo de combustible teórico (gal/día)	3.10	Consumo de combustible medido (gal/día)	4.7	
PUNTOS CRÍTICOS				
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Volumen (m3)	Tiempo (min)
1	713544	9107185	1.14	3.97
2	713455	9106880	3.07	5.07
3	713236	9107357	1.42	4.17
4	713259	9107228	5.51	8.97
5	713556	9107097	CONTENEDOR	1.30

Fuente: Elaboración propia

DATOS GENERALES				
Ruta	ZONA CENTRAL			
Total de manzanas	58	Residuos municipales (kg/día)	sólidos generados	6539.4
Placa de vehículo	EAC - 807	Tipo de vehículo	COMPACTADORA	
Fecha de medición	VIERNES 24 MARZO DE 2024			
RUTA DE RECOLECCIÓN				
Punto inicial	Dirección: CARLOS ALVEAR			
	Este	715723.80	Norte	9105995.70
Punto final	Dirección: AV. LOS LAURELES			
	Este	716309.70	Norte	9105565.80
Frecuencia de recolección (días/semana)	7	Residuos recolectados (kg/día)	10300	
Tiempo de recorrido (min/día)	232 min	Distancia recorrida (km/día)	14.59	
N° de paradas	30	Tiempo por parada (min)	1	
Consumo de combustible teórico (gal/día)	2.62	Consumo de combustible medido (gal/día)	4.62	
PUNTOS CRÍTICOS				
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Volumen (m3)	Tiempo (min)
1	716132.5	9105936.9	2.03	4.97
2	715687.9	9105712.8	1.33	3.83
3	715687.7	9105712.7	1.06	3.00
4	715688.7	9105715.9	0.58	3.05
5	715438.3	9106152.7	2.40	5.92
6	715905.5	9105826.7	2.63	5.97
7	716407.2	9105814.7	1.98	5.08
8	716096.1	9105551.8	1.98	5.02

Fuente: Elaboración propia

DATOS GENERALES				
Ruta	SECTOR INDOAMÉRICA - FRATERNIDAD			
Total de manzanas	94	Residuos municipales (kg/día)	sólidos generados	4439.4
Placa de vehículo	EGN - 599	Tipo de vehículo	COMPACTADORA	
Fecha de medición	MARTES 05 DE MAYO DE 2024			
RUTA DE RECOLECCIÓN				
Punto inicial	Dirección: AV. INDO AMERICA			
	Este	715315.20	Norte	9108478.60
Punto final	Dirección: CARLOS MANUEL COX			
	Este	715837.50	Norte	9107185.30
Frecuencia de recolección (días/semana)	7	Residuos recolectados (kg/día)	6320	
Tiempo de recorrido (min/día)	364	Distancia recorrida (km/día)	11.03	
N° de paradas para compactar	35	Tiempo por parada (min)	1	
Consumo de combustible teórico (gal/día)	1.98	Consumo de combustible medido (gal/día)	5.06	
PUNTOS CRÍTICOS				
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Volumen (m3)	Tiempo (min)
1	715320	9108477	1.15	4.75
2	715164	9108441	3.28	5.63
3	715160	9108217	1.89	5.17
4	715246	9108098	2.18	5.32
5	715527	9107885	1.66	4.50
6	715509	9107849	6.54	10.67
7	715653	9107353	4.69	12.50
8	715600	9107706	3.25	5.60
9	715698.4	9107872.6	4.61	6.90

10	715653	9107353	3.89	6.85
----	--------	---------	------	------

Fuente: Elaboración propia

DATOS GENERALES				
Ruta	MANUEL AREVALO III ETAPA ZONA C			
Total de manzanas	63	Residuos municipales (kg/día)	sólidos generados	3959.2
Placa de vehículo	EAC - 710	Tipo de vehículo	COMPACTADORA	
Fecha de medición	MIÉRCOLES 22 DE MAYO DE 2024			
RUTA DE RECOLECCIÓN				
Punto inicial	Dirección: MANUEL AREVALO C. 13			
	Este	713567.90	Norte	9107918.70
Punto final	Dirección: AV. NUEVO TRUJILLO			
	Este	713464.40	Norte	9108094.90
Frecuencia de recolección (días/semana)	7	Residuos recolectados (kg/día)	3750	
Tiempo de recorrido (min/día)	240	Distancia recorrida (km/día)	14.52	
N° de paradas para compactar	30	Tiempo por parada (min)	1	
Consumo de combustible teórico (gal/día)	2.61	Consumo de combustible medido (gal/día)	5.16	
PUNTOS CRÍTICOS				
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Volumen (m3)	Tiempo (min)
1	712683	9107598	0.37	3.07
2	712664	9107652	0.37	3.05
3	712754	9107649	2.14	4.39
4	713087	9107704	0.60	4.12
5	712988	9107753	5.00	6.92
6	713113	9107824	2.14	4.47
7	713420	9108056	5.11	6.92
8	713485	9107660	0.22	2.83

9	713375	9107613	3.25	5.30
10	712658	9107470	2.14	4.48
11	712781	9107228	1.08	3.84
12	712765	9107339	2.15	4.50
13	712873	9107366	CONTENEDOR	1.30

Fuente: Elaboración propia

DATOS GENERALES				
Ruta	PUEBLO LIBRE			
Total de manzanas	63	Residuos municipales (kg/día)	sólidos generados	5318.6
Placa de vehículo	EAK - 419	Tipo de vehículo	COMPACTADORA	
Fecha de medición	29 DE MAYO DE 2024			
RUTA DE RECOLECCIÓN				
Punto inicial	Dirección: AV. GRAN CHIMU			
	Este	714751.80	Norte	9108295.70
Punto final	Dirección: BENITO JUAREZ			
	Este	715742.40	Norte	9106671.60
Frecuencia de recolección (días/semana)	7	Residuos recolectados (kg/día)	8430	
Tiempo de recorrido (min/día)	230	Distancia recorrida (km/día)	15.21	
N° de paradas para compactar	41	Tiempo por parada (min)	1	
Consumo de combustible teórico (gal/día)	2.73	Consumo de combustible medido (gal/día)	6.55	
PUNTOS CRÍTICOS				
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Volumen (m3)	Tiempo (min)
1	715473	9106651	8.56	11.65
2	715066.2	9107964.5	4.29	8.00
3	714966	9108375	1.42	3.50
4	715719	9106750	2.14	4.13
5	715213	9107637	3.87	6.12
6	714849.1	9107882.4	2.69	5.00
7	715120.2	9107246.5	3.28	5.27
8	715352.6	9106895.1	1.66	4.02
9	715200	9107178.6	6.54	8.17
10	714975.9	9107571.1	4.19	6.17

11	714804.8	9107800.5	5.81	8.17
12	714886.5	9108361.3	3.41	5.33
13	715170.1	9107558.8	2.18	4.77
14	715108.8	9107841.9	3.28	5.92

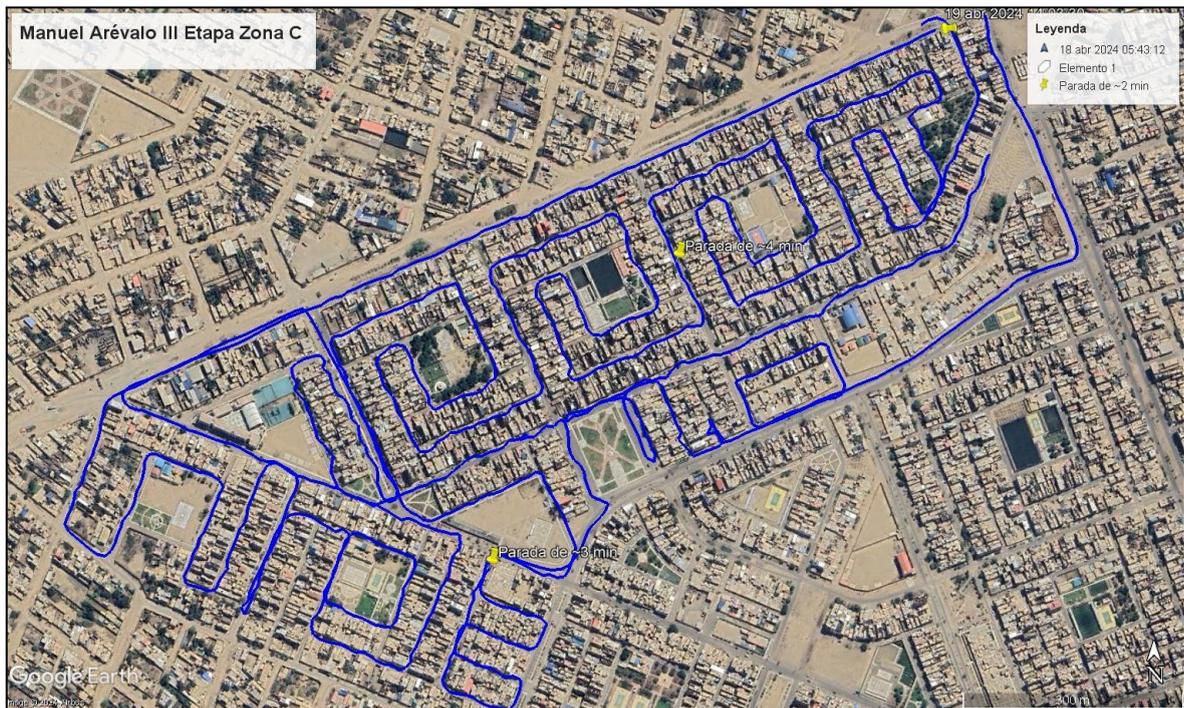
Fuente: Elaboración propia

DATOS GENERALES				
Ruta	SECTOR MANUEL ARÉVALO II ETAPA			
Total de manzanas	82	Residuos municipales (kg/día)	sólidos generados	4728
Placa de vehículo	EAC - 710	Tipo de vehículo	COMPACTADORA	
Fecha de medición	LUNES 27 DE MAYO DE 2024			
RUTA DE RECOLECCIÓN				
Punto inicial	Dirección: AV. INDOAMERICA			
	Este	714706.10	Norte	9108345.10
Punto final	Dirección: AV. INDUSTRIAL			
	Este	712757.90	Norte	9108228.30
Frecuencia de recolección (días/semana)	7	Residuos recolectados (kg/día)	5800	
Tiempo de recorrido (min/día)	328	Distancia recorrida (km/día)	17.34	
N° de paradas para compactar	53	Tiempo por parada (min)	1	
Consumo de combustible teórico (Gal/día)	3.12	Consumo de combustible medido (Gal/día)	7.38	
PUNTOS CRÍTICOS				
N°	Coord. Este	Coord. Norte	Volumen (m3)	Tiempo (min)
1	714555	9108284	1.79	4.47
2	714379	9108312	2.52	4.53
3	714155	9108151	0.37	2.88
4	714038	9108115	2.18	4.95
5	713953	9108093	2.18	5.13
6	713671	9107994	2.69	5.47
7	713970	9108735	1.66	4.90
8	714044	9108641	3.21	5.67
9	713951.9	9107582.2	0.69	3.58
10	713991.5	9107169.1	0.69	4.08

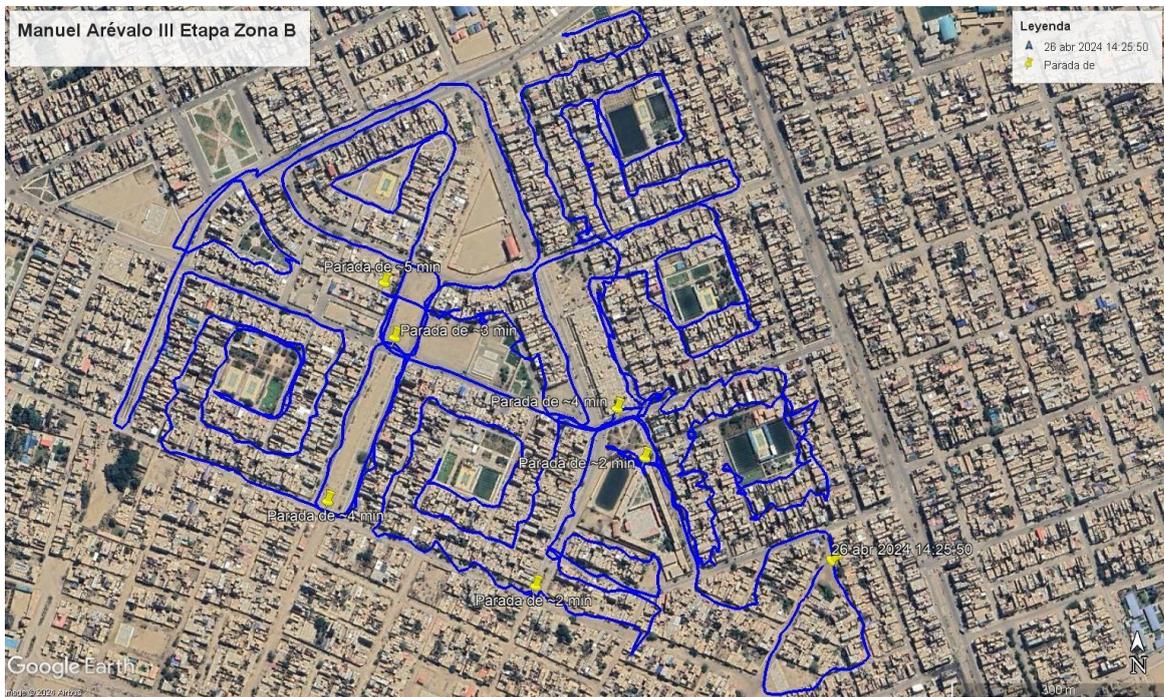
11	714048.1	9107359.2	8.56	12.73
12	713795.3	9107722.4	1.60	4.52
13	714413	9108589	3.21	5.05
14	714480	9108455	3.89	6.26
15	714431	9108444	3.89	6.08
16	714595	9108389	1.05	4.17
17	714175	9108389	2.14	4.65

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10. Rutas de recolección generadas por Geo Tracker



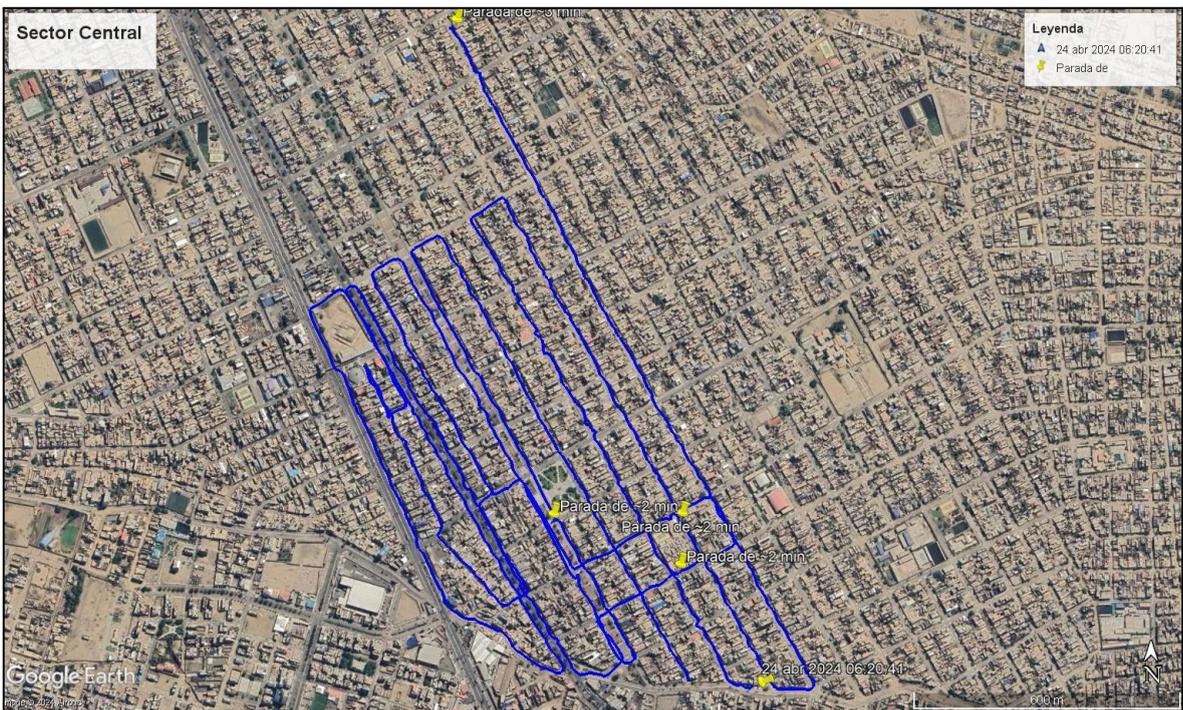
Fuente: Elaboración obtenida por el programa Geo Tracker



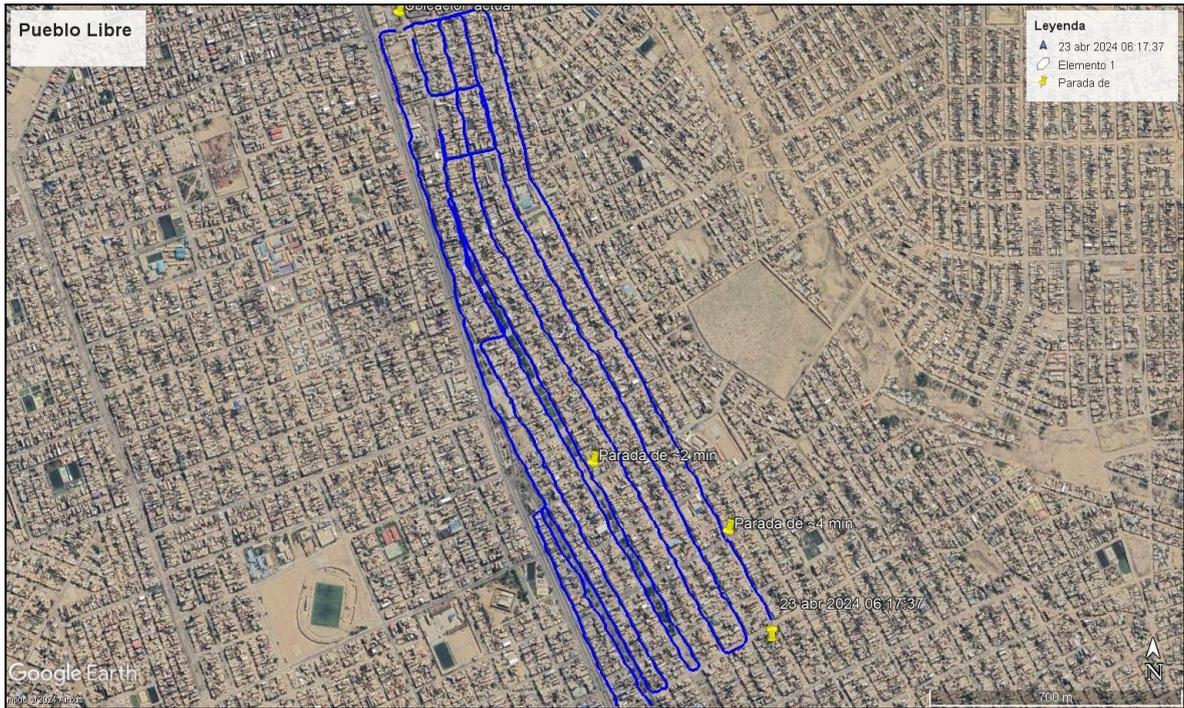
Fuente: Elaboración obtenida por el programa Geo Tracker



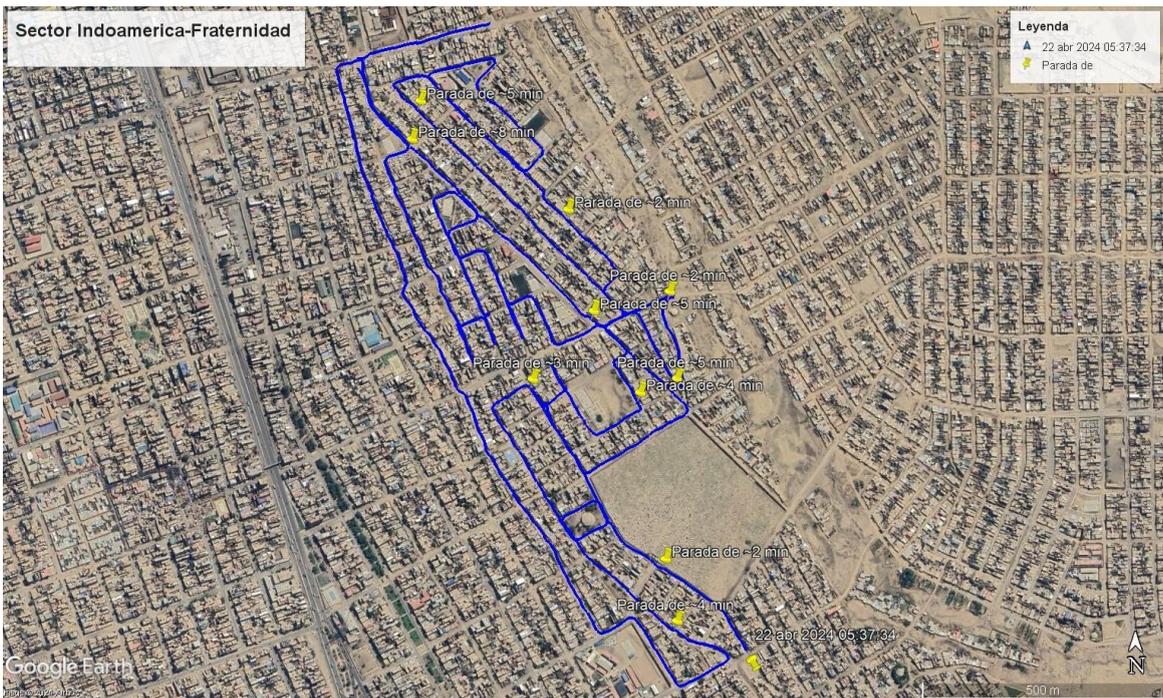
Fuente: Elaboración obtenida por el programa Geo Tracker



Fuente: Elaboración obtenida por el programa Geo Tracker



Fuente: Elaboración obtenida por el programa Geo Tracker



Fuente: Elaboración obtenida por el programa Geo Tracker

Anexo 12. Posibles ubicaciones de los contenedores

RUTA 01 - Manuel Arévalo III Etapa Zona B			
N°	Nombre	Coord. X	Coord. Y
1	PC#1	713544	9107185
2	PC#2	713455	9106880
3	PC#3	713236	9107357
4	PC#4	713259	9107228

Fuente: Elaboración propia

RUTA 02 - Central			
N°	Nombre	Coord. X	Coord. Y
1	PC#1	716132.5	9105936.9
2	PC#2	715687.9	9105712.8
3	PC#3	715687.7	9105712.7
4	PC#4	715688.7	9105715.9
5	PC#5	715438.3	9106152.7
6	PC#6	715905.5	9105826.7
7	PC#7	716407.212	9105814.76
8	PC#8	716096.175	9105551.89
9	PC#9	715946.51	9105975.11

Fuente: Elaboración propia

RUTA 03 - Indoamérica - Fraternidad			
N°	Nombre	Coord. X	Coord. Y
1	PC#1	715320	9108477
2	PC#2	715164	9108441
3	PC#3	715160	9108217
4	PC#4	715246	9108098
5	PC#5	715527	9107885
6	PC#6	715509	9107849
7	PC#7	715600	9107706

8	PC#8	715653	9107353
9	PC#9	715392.907	9107312.51
10	PC#10	715698.494	9107872.67

Fuente: Elaboración propia

RUTA 04 - Manuel Arévalo III Etapa Zona C			
N°	Nombre	Coord. X	Coord. Y
1	PC#1	712683	9107598
2	PC#2	712664	9107652
3	PC#3	712754	9107649
4	PC#4	713087	9107704
5	PC#5	712988	9107753
6	PC#6	713113	9107824
7	PC#7	713420	9108056
8	PC#8	713485	9107660
9	PC#9	713375	9107613
10	PC#10	712658	9107470
11	PC#11	712781	9107228
12	PC#12	712765	9107339
13	PC#13	713401.303	9107731.71
14	PC#14	712941.539	9107590.5

Fuente: Elaboración propia

RUTA 05 - Pueblo Libre			
N°	Nombre	Coord. X	Coord. Y
1	PC#1	715473	9106651
2	PC#2	715066.2	9107964.5
3	PC#3	714966	9108375
4	PC#4	715719	9106750
5	PC#5	715213	9107637
6	PC#6	714849.1	9107882.4

7	PC#7	715120.2	9107246.5
8	PC#8	715352.6	9106895.1
9	PC#9	715200	9107178.6
10	PC#10	714975.9	9107571.1
11	PC#11	714804.8	9107800.5
12	PC#12	714886.5	9108361.3
13	PC#13	715170.1	9107558.8
14	PC#14	715108.8	9107841.9

Fuente: Elaboración propia

RUTA 05 - Manuel Arévalo Etapa II			
N°	Nombre	Coord. X	Coord. Y
1	PC#1	714555	9108284
2	PC#2	714379	9108312
3	PC#3	714155	9108151
4	PC#4	714038	9108115
5	PC#5	713953	9108093
6	PC#6	713671	9107994
7	PC#7	713970	9108735
8	PC#8	714044	9108641
9	PC#9	713951.949	9107582.3
10	PC#10	713991.549	9107169.15
11	PC#11	714048.15	9107359.29
12	PC#12	713795.4	9107722.5
13	PC#13	714413	9108589
14	PC#14	714480	9108455
15	PC#15	714431	9108444
16	PC#16	714595	9108389
17	PC#17	714175	9108389

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13. Cálculo del tiempo requerido para erradicar los puntos críticos

N°	Volumen (m3)	Peso (Kg)	Tiempo (min)
1	1.14	253.6386	3.97
2	3.07	683.0443	5.07
3	1.42	315.9358	4.17
4	5.51	1225.9199	8.97
5	2.03	451.6547	4.97
6	1.33	295.9117	3.83
7	1.06	235.8394	3
8	0.58	129.0442	3.05
9	2.4	533.976	5.92
10	2.63	585.1487	5.97
11	1.98	440.5302	5.08
12	1.98	440.5302	5.02
13	1.15	255.8635	4.75
14	3.28	729.7672	5.63
15	1.89	420.5061	5.17
16	2.18	485.0282	5.32
17	1.66	369.3334	4.5
18	6.54	1455.0846	10.67
19	4.69	1043.4781	12.5
20	3.25	723.0925	5.6
21	4.61	1025.6789	6.9
22	3.89	865.4861	6.85
23	0.37	82.3213	3.07
24	0.37	82.3213	3.05
25	2.14	476.1286	4.39
26	0.6	133.494	4.12
27	5	1112.45	6.92
28	2.14	476.1286	4.47
29	5.11	1136.9239	6.92
30	0.22	48.9478	2.83
31	3.25	723.0925	5.3
32	2.14	476.1286	4.48
33	1.08	240.2892	3.84
34	2.15	478.3535	4.5
35	8.56	1904.5144	11.65
36	4.29	954.4821	8

37	1.42	315.9358	3.5
38	2.14	476.1286	4.13
39	3.87	861.0363	6.12
40	2.69	598.4981	5
41	3.28	729.7672	5.27
42	1.66	369.3334	4.02
43	6.54	1455.0846	8.17
44	4.19	932.2331	6.17
45	5.81	1292.6669	8.17
46	3.41	758.6909	5.33
47	2.18	485.0282	4.77
48	3.28	729.7672	5.92
49	1.79	398.2571	4.47
50	2.52	560.6748	4.53
51	0.37	82.3213	2.88
52	2.18	485.0282	4.95
53	2.18	485.0282	5.13
54	2.69	598.4981	5.47
55	1.66	369.3334	4.9
56	3.21	714.1929	5.67
57	0.69	153.5181	3.58
58	0.69	153.5181	4.08
59	8.56	1904.5144	12.73
60	1.6	355.984	4.52
61	3.21	714.1929	5.05
62	3.89	865.4861	6.26
63	3.89	865.4861	6.08
64	1.05	233.6145	4.17
65	2.14	476.1286	4.65
TOTAL		39710.0152	356.14
Cantidad de residuos recolectados en función del tiempo (Kg/min)		111.5011378	

Fuente: Elaboración propia obtenida en la ruta del Sector Central

Anexo 14. Cálculo del costo de personal de recolección de residuos sólidos

Personal	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Conductor	S/.2,075.00	1	S/.2,075.00
Auxiliar	S/.1,688.85	2	S/.3,377.70
COSTO DE PERSONAL POR MES (26 días)			S/.5,452.70
COSTO DE PERSONAL POR DÍA (8 horas)			S/.209.72
COSTO DE PERSONAL POR HORA			S/.26.21
COSTO DE PERSONAL POR MINUTO			S/.0.45

Fuente: Informe N°394-2024 de la Sub Gerencia de Limpieza Pública de la Municipalidad Distrital de La Esperanza

Anexo 15. Consumo de combustible en estado ralentí

RUTA EVALUADA	CENTRAL
Paradas	Tiempo (min)
Para compactación	35
Puntos críticos	1.47
	1.33
	1.5
	1.6
	0.66
	1.42
	1.47
	2.18
	4.22
Contenedor	6.28
TOTAL	57.13

Dato	Factor (gal/km)	Recorrido (km)	Consumo (gal)
Teórico	0.18	14.63	2.63
Medido	0.32	14.63	4.63
DIFERENCIA (CONSUMO EN PARADAS)			2.00
CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN PARADAS (gal/min)			0.03

Fuente: Elaboración propia obtenida en la ruta del Sector Central

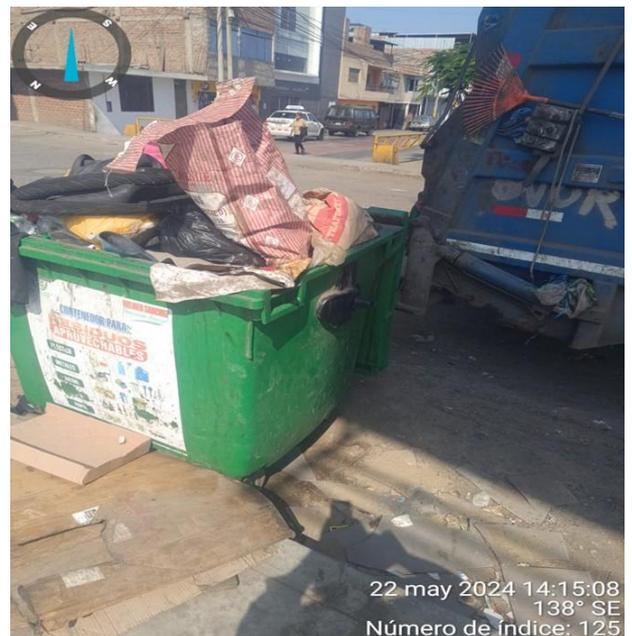
Anexo 16. Evidencias fotográficas

Boletas de pesaje de unidades vehiculares de recolección de RSM





Recolección de residuos sólidos almacenados en contenedores





Identificación de puntos críticos y medición de su volumen





23 may 2024 07:35:49
316° NW
Número de índice: 131



17 abr 2024 17:21:18
-8°4'10.902"S -79°3'6.27"W
306° NW
237 Los Olivos
Pi la Esperanza Sector Jerusalem Barrio 1
La Esperanza
Trujillo
La Libertad
Altitud:111.6m
Velocidad:0.0km/h
Número de índice: 1



17 abr 2024 17:22:36
-8°4'10.626"S -79°3'6.396"W
357° N
340 Pi la Esperanza Sector Jerusalem Barrio 1
La Esperanza
Trujillo
La Libertad
Altitud:104.8m
Velocidad:0.0km/h
Número de índice: 2



Medición de combustible a unidad vehicular

