

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Diagnóstico y propuestas de optimización del sistema de recolección de los residuos
sólidos ordinarios municipales en el Cantón de Garabito”**

Gema Daniela Arrieta Enríquez

CARTAGO, JUNIO, 2023

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental

“Diagnóstico y propuestas de optimización del sistema de recolección de los residuos sólidos ordinarios municipales en el Cantón de Garabito”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

Lic. Andrea Acuña Piedra
Director

Lic. Kristhell Duarte Sandí
Lector 1

Lic. Macario Pino Gómez
Lector 2

Dra. Ir. Mary Luz Barrios Hernández
Coordinador COTRAFIG

M.G.A. Ricardo Coy Herrera
Director Escuela de Química

MSc. Diana Alejandra Zambrano Piamba
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

A mi mamá, mi papá, mi prometido

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, por ser mi pilar fundamental, por su amor incondicional, por su paciencia y su constante motivación para alcanzar mis metas. Especialmente a mis padres, Isabel Enríquez y Johnny Arrieta, que nunca dejaron de luchar por mi educación, que siempre estuvieron presentes en cada etapa de este proceso y me han dado su amor y apoyo incondicional para cumplir con este proyecto.

A mis amigos y compañeros, por su amistad, su apoyo y sus palabras de aliento que me ayudaron a superar los momentos más difíciles y siempre conseguir una sonrisa de cada aventura.

A mis profesores, por su enseñanza, por su dedicación y por su constante guía en mi camino académico. A la profe Andrea por ser mi tutora en esta tesis, por permitirme aprender de ella y visualizar el tipo de profesional que aspiro ser.

También quiero agradecer de manera especial a, Luis Saborío, por creer en mí y por ser mi soporte y motivación en todo momento.

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica, que como universidad me brindó las herramientas para formarme como profesional en Ingeniería Ambiental y por todas las oportunidades artísticas y sociales que pude disfrutar.

A los colaboradores de la Municipalidad de Garabito por darme la oportunidad de trabajar este proyecto, tener el interés de evaluar sus servicios y buscar la mejora continua de sus procesos y temas ambientales.

Agradezco de todo corazón a las personas que me han apoyado y motivado a lo largo de este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	Objetivo general	2
2.1.1	Objetivos específicos	2
3	REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1	Residuos Sólidos, contexto mundial y latinoamericano	3
3.2	Residuos Sólidos en Costa Rica	4
3.3	Sistema de Recolección de Residuos Sólidos	7
3.3.1	Rutas de Recolección	7
3.3.2	Métodos de Recolección	8
3.3.3	Optimización del servicio de recolección de residuos sólidos	10
3.3.4	Herramientas para la optimización de rutas de recolección de residuos sólidos	13
	Sistema de información geográfica (SIG)	13
	Indicadores de desempeño	13
	Análisis estadístico aplicado a GIRS	14
	Series en el tiempo	14
	Técnicas de caracterización	14
3.4	Cantón de Garabito	15
3.4.1	Características del sistema de recolección de residuos sólidos del cantón de Garabito	15
4	MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1	Zona de estudio	17
4.2	Visita de campo	19
4.3	Análisis estadístico de los tonelajes de residuos sólidos	20
4.4	Entrevistas y encuestas	21
4.5	Revisión de literatura	22
4.6	Indicadores de desempeño	22
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23

5.1	Servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios por la Municipalidad de Garabito.	23
5.1.1	Descripción de las rutas	24
a.	Ruta 1 Jacó Centro Norte y Ruta 2 Jacó Centro Sur	24
b.	Ruta 3 Lagunillas y Bajamar.	28
c.	Ruta 4 Jacó.	29
d.	Ruta 5 Quebrada Amarilla y Playa Hermosa.	30
e.	Ruta 6 Herradura.	31
f.	Ruta 7 Quebrada Ganado, Tárcoles y Playa Azul.	32
a.	Ruta 8 Quebrada Ganado, Tárcoles y Punta Leona.	35
b.	Ruta 9 Herradura.	36
c.	Ruta 10 Bijagual.	37
5.1.1	Desafíos y fortalezas	38
5.2	Entrevistas y encuestas	40
5.2.1	Residentes permanentes	40
5.2.2	Turistas	41
5.2.3	Comercios	42
5.2.4	Entrevista a recolectores y chóferes	43
	Tiempo laborado	43
	Proceso de adaptación y experiencia como recolectores	43
	Desafíos y complicaciones del trabajo	44
	Mejoras al sistema	44
5.3	Análisis estadístico de kilogramos residuos recolectados	45
5.4	Indicadores de desempeño	50
5.5	Oportunidades de mejora del sistema actual	53
1.	Implementación de una estrategia de mantenimiento basada en la condición de los vehículos	54
2.	Adquisición de vehículo	54
3.	Operativas	55
4.	Alcance del sistema de recolección de residuos sólidos	57
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57

7	REFERENCIAS	62
	APÉNDICES	68
	Apéndice 1. Entrevista semi estructurada a recolectores del servicio de residuos sólidos municipales	68
	Apéndice 2. Presentación de encuesta en perfil noticias en la plataforma Facebook de la Municipalidad de Garabito	69
	Apéndice 3: Encuesta Digital Servicio de Recolección de Residuos Sólidos del Cantón de Garabito).	70
	Apéndice 4: Fotos de la ruta	75
	Apéndice 5: Pruebas estadísticas de verificación	82
	Apéndice 6: Resultado de pronóstico en días.	83
	Apéndice 7: Hoja de levantamiento de ruta.	84
	ANEXOS	85
	Anexo 1: Base de datos del departamento de Servicios Ambientales de la Municipalidad de Garabito	85

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1. REPRESENTACIÓN COMPARATIVA DE LA TASA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS Y EL PIB DE 40 PAÍSES (DESARROLLADOS Y EN VÍAS DE DESARROLLO) (KUMAR Y SAMADDER, 2017).	4
FIGURA 3.2. COMPOSICIÓN DE RESIDUOS ORDINARIOS EN CUATRO BARRIOS DEL CANTÓN DE GARABITO. FUENTE: ZUMBADO, 2020.	17
FIGURA 4.1. MAPA DE LA UBICACIÓN DEL CANTÓN DE GARABITO EN LA PROVINCIA DE PUNTARENAS, COSTA RICA. (ELABORACIÓN PROPIA).	18
FIGURA 4.2. MAPA DE LOS PRINCIPALES POBLADOS QUE CONFORMAN EL CANTÓN DE GARABITO, PUNTARENAS, COSTA RICA. (ELABORACIÓN PROPIA).	19
FIGURA 5.1. MAPA GENERAL DEL ALCANCE DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DEL CANTÓN DE GARABITO, PUNTARENAS, COSTA RICA. (ELABORACIÓN PROPIA).	23
FIGURA 5.2. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 1 EN EL SECTOR DE JACÓ CENTRO NORTE. (ELABORACIÓN PROPIA).	27
FIGURA 5.3. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 2 EN EL SECTOR DE JACÓ CENTRO SUR. (ELABORACIÓN PROPIA).	28
FIGURA 5.4. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 3 EN LOS SUBSECTORES DE LAGUNILLAS (1) Y BAJAMAR (2). (ELABORACIÓN PROPIA).....	29
FIGURA 5.5. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 4 EN EL SECTOR DE JACÓ. (ELABORACIÓN PROPIA).	30
FIGURA 5.6. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 5 EN LOS SUBSECTORES DE QUEBRADA AMARILLA (1) Y PLAYA HERMOSA (2). (ELABORACIÓN PROPIA).	31
FIGURA 5.7. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 6 EN EL SECTOR DE HERRADURA. (ELABORACIÓN PROPIA).	32
FIGURA 5.8. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 7 EN EL SUBSECTOR DE QUEBRADA GANADO (1). (ELABORACIÓN PROPIA)..	33
FIGURA 5.9. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 7 EN EL SUBSECTOR DE TÁRCOLES (2). (ELABORACIÓN PROPIA).	34
FIGURA 5.10. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 7 EN EL SUBSECTOR DE CRISTO REY (3). (ELABORACIÓN PROPIA).	35
FIGURA 5.11. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 8 EN LOS SUBSECTORES DE QUEBRADA GANADO (1), TÁRCOLES (2), PLAYA AGUJAS Y RESIDENCIAL OASIS (3) Y PUNTA LEONA (4). (ELABORACIÓN PROPIA).	36
FIGURA 5.12. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 9 EN EL SECTOR DE HERRADURA. (ELABORACIÓN PROPIA).	37
FIGURA 5.13. MAPA DE LA RUTA DE RECOLECCIÓN 10 EN EL SECTOR DE BIJAGUAL. (ELABORACIÓN PROPIA).	38
FIGURA 5.14. COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	41
FIGURA 5.15. GRÁFICA DE SERIES EN EL TIEMPO DE LOS KILOGRAMOS DE RESIDUOS SÓLIDOS RECOLECTADOS ENTRE EL 1 DE ENERO AL 31 DE JULIO DEL 2022 EN ESCALA DE TIEMPO EN NÚMERO DE SEMANAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	45
FIGURA 5.16. COEFICIENTES DE AUTOCORRELACIÓN PARA RETRASOS $k = 1 - 23$ DÍAS. CADA OBSERVACIÓN ES DIARIA POR LO QUE LA AUTOCORRELACIÓN DE RETRASO 7 INDICA UN CICLO DE 7 DÍAS (1 SEMANA). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ..	46
FIGURA 5.17. MODELO ARIMA PARA LOS KILOGRAMOS DE RESIDUOS SÓLIDOS RECOLECTADOS ENTRE EL 1 DE ENERO AL 31 DE JULIO DEL 2022 EN ESCALA DE TIEMPO EN NÚMERO DE SEMANAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	48
FIGURA 5.18. ESTIMACIÓN DE LOS KILOGRAMOS DE RESIDUOS SÓLIDOS RECOLECTADOS DESPUÉS DEL 31 DE JULIO 2022. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	48

LISTA DE CUADROS

CUADRO 3.1. RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS GENERADOS ENTRE EL 2017 AL 2021 EN COSTA RICA EN TONELADAS Y PORCENTAJES CON BASE EN LA GENERACIÓN DE CADA AÑO RESPECTIVAMENTE (MSCR, 2022)	7
CUADRO 3.2. DESCRIPCIÓN DE ASPECTOS BÁSICOS DE OPTIMIZACIÓN EN LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS (SULEMANA ET AL, 2018)	11
CUADRO 3.3. DISTRIBUCIÓN DE PATENTES COMERCIALES EN EL CANTÓN DE GARABITO (ZUMBADO,2020)	16
CUADRO 5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA FLOTILLA VEHICULAR UTILIZADA PARA BRINDAR EL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS EN EL CANTÓN DE GARABITO (ELABORACIÓN PROPIA)	24
CUADRO 5.2. CARACTERÍSTICAS Y ALCANCE DE LAS RUTAS DE RECOLECCIÓN DEL CANTÓN DE GARABITO EVALUADAS (ELABORACIÓN PROPIA)	25
CUADRO 5.3. PERCEPCIÓN DE LOS TURISTAS COMO HABITANTES FLOTANTES DEL CANTÓN DE GARABITO Y SU PAPEL EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	42
CUADRO 5.4. DISTRIBUCIÓN DE MENOR A MAYORES KILOGRAMOS DE RESIDUOS SÓLIDOS RECOLECTADOS SEMANALMENTE EN EL PERÍODO DEL 1 ENERO AL 31 JULIO 2022 (ELABORACIÓN PROPIA)	46
CUADRO 5.5. RESULTADO DE LA PREDICCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN KILOGRAMOS PARA LAS 4 SEMANAS DEL MES DE AGOSTO DEL 2022 Y COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS REALES	49
CUADRO 5.6. PROPUESTA DE INDICADORES DE DESEMPEÑO IDENTIFICADOS PARA EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA MUNICIPALIDAD DE GARABITO	50
CUADRO 5.7. CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS RECOLECTADOS POR CADA VEHÍCULO SEMANALMENTE EN EL PERÍODO DEL 1 ENERO AL 31 JULIO 2022 (ELABORACIÓN PROPIA)	51
CUADRO 5.8. RENDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DIARIO POR KILÓMETROS RECORRIDOS EN CADA RUTA	53
CUADRO 5.9. RENDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DIARIO POR HORAS EN CADA RUTA	53
CUADRO 5.10. DISTRIBUCIÓN DE HORAS Y ESPACIOS DE DESCANSO DE LOS TRABAJADORES DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS MUNICIPALES	56

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

EBI	Empresas Berthier
FMI	Fondo Monetario Internacional
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIRMO	Gestión Integral de Residuos Montero
GIRS	Gestión Integral de Residuos Sólidos
MS	Ministerio de Salud
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PGIRS	Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos
PIB	Producto Interno Bruto
RMS	Residuos Sólidos Municipales
SIG	Sistema de Información Geográfica
SWC, (siglas inglés)	en Modelo Sostenible de recolección de Residuos Sólidos

RESUMEN

En Costa Rica un 91% de las municipalidades ha demarcado rutas del servicio de recolección de residuos sin ningún estudio técnico y esto genera problemas de logística y calidad. En el cantón de Garabito la Municipalidad se hacía cargo de este servicio, pero a partir del 2022 se subcontrata a la empresa GIRMO. Este documento presenta resultados relacionados a un diagnóstico cuantitativo y cualitativo, la identificación de indicadores de desempeño y la proposición de oportunidades de mejora al servicio actual de recolección de residuos sólidos municipales. La observación en campo, la aplicación de encuestas y entrevistas y el uso de herramientas estadísticas permitieron obtener un panorama más completo y actualizado de los desafíos y fortalezas que tiene cada ruta evaluada. A partir del procesamiento de las cantidades de los residuos recolectados, se encontró un patrón de cada 7 días (semanalmente), confirmando además que el mayor aumento de residuos con respecto al promedio ocurre en semanas que abarcan fechas festivas o vacacionales, justo con el ingreso de una mayor población turística. Entre los indicadores de desempeño identificados se encuentran la cantidad de residuos sólidos recolectados por cada vehículo semanalmente, el rendimiento de recolección diario por hora en cada ruta. Con respecto a las oportunidades de mejora éstas se clasifican en flotilla vehicular (mantenimientos y adquisición de equipos), operativas (definición de horarios y espacios de descanso en la jornada laboral y reducciones de maniobras viales) y el alcance del sistema de recolección actual.

Palabras clave: Residuos Sólidos, Rutas de Recolección, Municipalidad, Indicadores, Oportunidades de mejora. Sistema de información geográfica,

ABSTRACT

In Costa Rica, 91% of the municipalities have marked routes for waste collection services without any technical study, which generates logistical and quality problems. In the canton of Garabito, the Municipality used to oversee this service, but starting in 2022, it was subcontracted to the company GIRMO. This document presents results related to a quantitative and qualitative diagnosis, the identification of performance indicators, and the proposition of improvement opportunities for the current municipal solid waste collection service. Field observation, surveys and interviews, and the use of statistical tools allowed for a more comprehensive and updated overview of the challenges and strengths of each evaluated route. Through the processing of the collected waste quantities, a pattern of every 7 days (weekly) was found, further confirming that the highest increase in waste compared to the average occurs in weeks that include holidays or vacations, coinciding with an influx of a larger tourist population. Among the identified performance indicators are the quantity of solid waste collected per vehicle on a weekly basis, the daily collection performance per hour on each route. As for the improvement opportunities, they are classified into vehicle fleet (maintenance and equipment acquisition), operational (definition of schedules and rest areas during working hours, and reduction of traffic maneuvers), and the scope of the current collection system.

Keywords: Solid Waste, Collection Routes, Municipality, Indicators, Improvement Opportunities. Geographic Information System.

1 INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos es un proceso fundamental y global que afecta a todas las personas en el mundo, sin embargo, las tasas de recolección varían considerablemente dependiendo principalmente del nivel de ingresos. Los países de ingresos medios-altos y altos suelen contar con sistemas de recolección de residuos casi universales. En contraste, los países de bajos ingresos solo logran recopilar alrededor del 48 por ciento de los desechos en las áreas urbanas, y esta proporción disminuye drásticamente al 26 por ciento en las zonas rurales (kaza et al, 2018).

Según datos de la Contraloría General de la República, contenidos en el Informe de Auditoría Operativa acerca de la Gestión de las Municipalidades para Garantizar la Prestación Eficaz y Eficiente del Servicio de Recolección de Residuos Ordinarios, publicado en 2016, de los 481 distritos del país, 394 cuentan con servicio de recolección de residuos, mientras 87 distritos carecen del todo de un servicio que les permita disponer correctamente de sus residuos; esto significa que el 81.9% de los distritos reciben el servicio (ProDUS-UCR, 2016). Relacionado a esto, en el cantón de Garabito, se visualiza la problemática que el sistema de recolección ha sido diseñado sin tomar en cuenta a su población flotante de turistas y trabajadores de este sector, por lo que los servicios de recolección se han visto saturados y esto ha generado inconformidades con los trabajadores y la población.

Con este estudio se busca generar propuestas que permitan la optimización del actual servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios en la Municipalidad de Garabito, a partir de un diagnóstico cuantitativo y cualitativo. El diagnóstico contempla el uso de modelos estadísticos, indicadores de desempeño y sistemas de información geográfica (SIG), así como la aplicación de entrevistas y encuestas a partes interesadas prioritarias del servicio. Adicionalmente, se realizó una visita de campo entre el 09 de agosto del 2022 hasta el 19 de agosto del 2022, donde se recopiló la información necesaria para el análisis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Generar propuestas que permitan la optimización del actual servicio de recolección de residuos sólidos municipales del Cantón de Garabito

2.1.1 Objetivos específicos

- Diagnosticar el modelo actual de recolección de residuos sólidos municipales del cantón de Garabito utilizando herramientas de análisis cualitativos y cuantitativos.
- Identificar indicadores para la evaluación del servicio actual de recolección.
- Definir mejoras al modelo de recolección de residuos sólidos existente.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

En esta sección se procede a plantear el conocimiento teórico obtenido a partir de una revisión bibliográfica sobre los temas relacionados con la recolección de residuos sólidos, desde una visión mundial hasta un contexto local.

3.1 Residuos Sólidos, contexto mundial y latinoamericano

La producción de residuos es una consecuencia inevitable de la mayoría de los procesos humanos. A nivel mundial, se producen anualmente entre 7 y 9 mil millones de toneladas de residuos. De estos, los Residuos Sólidos Municipales (RSM), son una categoría específica que proviene de los hogares y pueden incluir residuos comerciales e industriales, según el estándar de información (Wilson y Velis, 2015). Esta categoría representó 2 mil millones de toneladas del total de residuos a nivel mundial en el 2016 (Chen et al, 2020).

A nivel global es difícil realizar estimaciones relacionadas con la generación de residuos sólidos, debido a la falta de datos a escala fina (Chen et al, 2020). Sin embargo, con la poca información disponible se aproxima una producción media de 0,74 kg de residuos per cápita al día (Kaza, 2018). Además, se prevé que la generación de RSM aumente a 3400 millones de toneladas para 2050 (The World Bank, 2020). Del total de RSM que son recolectados por los municipios, cerca del 70% termina en vertederos y rellenos sanitarios, el 19% se recicla y el 11% se utiliza para valorización energética (Nanda y Berruti, 2020).

Según el Fondo Monetario Internacional (FMI) los países desarrollados y en vías de desarrollo se clasifican según su Producto Interno Bruto (PIB) per cápita. Se ha observado un vínculo directo entre el PIB y la tasa de generación de residuos sólidos (Figura 1). Por lo general, la tasa de generación de residuos de países en desarrollo varía entre 2 kg/cápita/día y 0,56 kg/cápita/día (De Miguel et al, 2021).

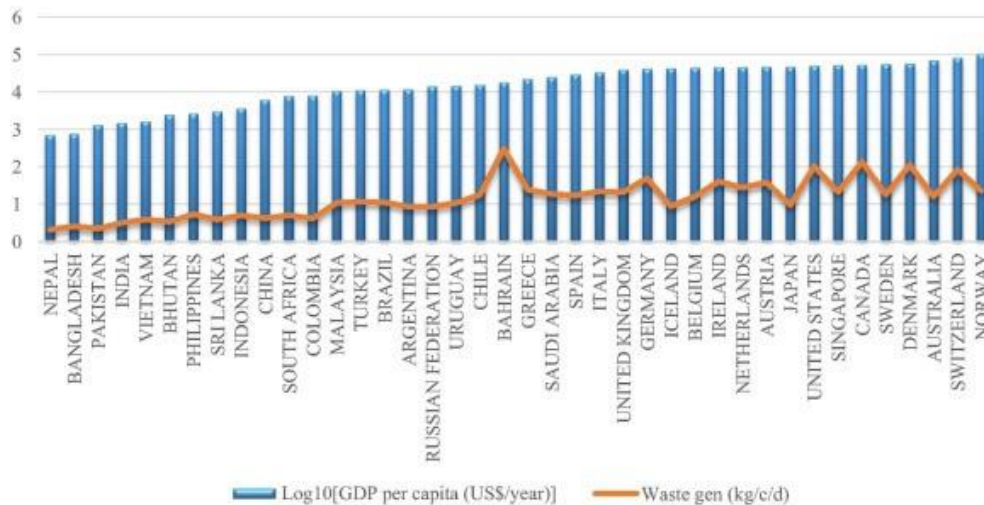


Figura 3.1. Representación comparativa de la tasa de generación de residuos y el PIB de 40 países (desarrollados y en vías de desarrollo) (Kumar y Samadder, 2017).

En América Latina y el Caribe, se ha estimado que la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios llega a un promedio de 0,97 kg/cápita/día, esto implica una generación diaria aproximada de 605 mil toneladas de residuos (De Miguel et al, 2021). La determinación de estos datos varía entre las distintas localidades de acuerdo con una serie de factores que influyen en su determinación, tales como el desarrollo económico, nivel de ingreso, sectores de actividad predominantes, patrones de consumo, cantidad de población de la localidad, grado de urbanización y densidad poblacional, entre otros (Martínez et al, 2010).

3.2 Residuos Sólidos en Costa Rica

La Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (Ley 8839) define a los residuos sólidos ordinarios como aquellos de carácter doméstico generados en domicilios y en cualquier otra fuente, que presentan composiciones similares a los de las viviendas (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica [ALRCR], 2021). Además, asigna como uno de los principales responsables del sistema de gestión integral de residuos a las municipalidades y detalla que estas instituciones tienen las siguientes funciones:

- a) Establecer y aplicar el plan municipal para la gestión integral de residuos en concordancia con la política y el Plan Nacional.

- b) Dictar los reglamentos en el cantón para la clasificación, recolección selectiva y disposición final de residuos, los cuales deberán responder a los objetivos de esta Ley y su Reglamento.
- c) Promover la creación de una unidad de gestión ambiental, bajo cuya responsabilidad se encuentre el proceso de la gestión integral de residuos, con su respectivo presupuesto y personal.
- d) Garantizar que en su territorio se provea del servicio de recolección de residuos en forma selectiva, accesible, periódica y eficiente para todos los habitantes, así como de centros de recuperación de materiales, con especial énfasis en los de pequeña y mediana escala para la posterior valorización.
- e) Proveer de los servicios de limpieza de caños, acequias, alcantarillas, vías, espacios públicos, ríos y playas cuando corresponda, así como del manejo sanitario de animales muertos en la vía pública.
- f) Prevenir y eliminar los vertederos en el cantón y el acopio no autorizado de residuos.
- g) Impulsar sistemas alternativos para la recolección selectiva de residuos valorizables como contenedores o receptores, entre otros.
- h) Fijar las tasas para los servicios de manejo de residuos que incluyan los costos para realizar una gestión integral de estos, de conformidad con el plan municipal para la gestión integral de residuos, esta Ley y su Reglamento, y en proporción con la cantidad y la calidad de los residuos generados, asegurando el fortalecimiento de la infraestructura necesaria para brindar dichos servicios y garantizando su autofinanciamiento.
- i) Coordinar el cumplimiento de esta Ley y su Reglamento, la política y el Plan Nacional y cualquier otro reglamento técnico sobre gestión integral de residuos dentro del municipio.

- j) Promover la capacitación y realizar campañas educativas de sensibilización de los habitantes del cantón respectivo para fomentar la cultura de recolección separada, de limpieza de los espacios públicos y de gestión integral de residuos.
- k) Establecer convenios con microempresas, cooperativas, organizaciones de mujeres y otras organizaciones y/o empresas locales, para que participen en el proceso de gestión de los residuos, especialmente en las comunidades que se ubican lejos de la cabecera del cantón.
- l) Aplicar las sanciones por incumplimiento de los artículos 49 y 50 de la presente ley, así como la recaudación de las multas correspondientes.

Adicionalmente, según estimaciones del Ministerio de Salud (MS), en el país se generan aproximadamente 4000 toneladas diarias de residuos sólidos. Estos corresponden en 55% a residuos orgánicos, 15,5% papel y cartón y 11,5% a plásticos (Ministerio de Salud de Costa Rica [MSCR], 2021). Para el 2021, el MS registró una generación de residuos ordinarios de 1 618 533 toneladas, de los cuales un 88,8% recibe un tratamiento designado de recuperación o disposición final, en el Cuadro 3.1 se identifica que el mayor porcentaje es dispuesto en rellenos sanitarios y vertederos controlados.

Por otro lado, a nivel país el incorrecto manejo de los residuos sólidos se ha visto reflejado en impactos ambientales, tales como: la contaminación visual de las comunidades, la contaminación del aire, del suelo y de aguas superficiales o subterráneas, inundaciones en zonas urbanas, el ruido generado en los procesos de recolección e impactos a nivel económico y social (Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], 2022).

Cuadro 3.1. Residuos sólidos ordinarios generados entre el 2017 al 2021 en Costa Rica en toneladas y porcentajes con base en la generación de cada año respectivamente (MSCR, 2022)

	2021		2020		2019		2018		2017	
Población	5 163 021		5 111 221		5 057 999		5 003 393		4 947 481	
Residuos ordinarios generados	1 618 533	100%	1 459 288	100%	1 343 608	100%	1 462 397	100%	1 266 917	100%
a) Hogares;	1 327 197	82,0%	1 181 662	81,0%	1 071 032	79,7%	1 063 012	72,7%	898 370	70,9%
b) Otros (Comercios, Hospitales, Clínicas, Industrias, Escuelas, Colegios, Universidades, etc.)	291 336	18,0%	277 626	19,0%	272 576	20,3%	399 385	27,3%	368 547	29,1%
Tratamiento designado y disposición final	1 618 533	100%	1 459 288	100,0%	1 343 608	100%	1 462 397	100%	1 266 917	100%
Tratamiento designado:	1 437 988	88,8%	1 314 269	90,1%	1 253 156	93,3%	1 357 572	92,8%	1 147 345	90,6%
(1) Recuperación ;	155 932	9,6%	91 057	6,2%	90 707	6,8%	61 370	4,2%	103 895	8,2%
Reciclaje;	63 917	3,9%	45 511	3,1%	39 827	3,0%	53 473	3,7%	100 207	7,9%
Compostaje;	43 755	2,7%	43 736	3,0%	50 677	3,8%	4 857	0,3%	1 774	0,1%
Co procesamiento;	48 259	3,4%	1 810	0,1%	203	0,0%	3 040	0,2%	1 914	0,2%
Disposición final:	1 462 601	90,4%	1 368 230	93,8%	1 252 901	93,3%	1 401 027	95,8%	1 163 022	91,8%
(2) Rellenos Sanitarios y Vertederos;	1 282 057	79,2%	1 223 212	83,8%	1 162 450	86,5%	1 296 202	88,6%	1 043 450	82,4%
(3) Otra disposición final de residuos en sitios no controlados	180 544	11,2%	145 019	9,9%	90 451	6,7%	104 825	7,2%	119 572	9,4%

3.3 Sistema de Recolección de Residuos Sólidos

3.3.1 Rutas de Recolección

Un modelo sostenible de recolección de residuos sólidos (SWC, por sus siglas en inglés) es esencial teniendo en cuenta los principios de salud pública, así como los impactos

ambientales, legislativos, sociales, económicos y otros (Ramos et al, 2018). El modelo SWC incluye varios elementos funcionales como la recolección, clasificación, separación, tratamiento, transferencia y su disposición final para mantener la conservación estética, de salud, económica, de energía y otras atenciones ambientales (Hoque y Rahman, 2020). Básicamente contiene elementos tales como una flota vehicular, paradas estratégicas, instalaciones de disposición de los residuos (final o transferencia), un plantel y un número determinado de contenedores de residuos o puntos de recogida (Herrera et al, 2018).

La implementación de un sistema SWC óptimo puede contribuir a múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y sus metas relacionadas, ya que, permiten una mejora de la ciudad inteligente/pueblo inteligente, sostenible y amigable a través de la protección del medio ambiente, la protección de la salud pública y la reducción de la pobreza (Hannan et al, 2020).

Además, este modelo permite alcanzar un consumo y producción responsables, la ejecución de la participación de las energías renovables en el entorno energético global, la prevención de la contaminación marina, la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en grandes cantidades, la reducción de residuos químicos y biológicos peligrosos, el desarrollo de ciudades sostenibles, la creación de oportunidades de empleo para el crecimiento económico y la reducción de la pobreza (Hannan et al, 2020).

3.3.2 Métodos de Recolección

Los métodos de recolección se clasifican según los tipos de vehículos recolectores utilizados en la prestación del servicio, entre los que se encuentran los sistemas manuales, semi-mecanizado y mecanizados, teniendo en cuenta que estos dos últimos se utilizan comúnmente en zonas muy urbanizadas, mientras que los métodos manuales son más habituales en áreas de difícil acceso, como las localidades rurales (Flores et al, 2008).

A continuación, se explican los métodos de recolección más utilizados:

a. Método de acera:

En este método el personal operativo del vehículo de recolección recoge los residuos que ha sido depositados en la acera por los usuarios, para que el personal de recolección pueda moverlos y llevarlos hacia el vehículo de recolección. Para cumplir este proceso se requiere que el vehículo recolector viaje a baja velocidad en ambos sentidos de la calle. Este método tiene más probabilidades de ser implementado de manera ordenada en zonas con calles de doble vía (Flores et al, 2008).

b. Método lineal (peine)

Consiste en recoger en ambos lados de la calle al mismo tiempo, solo se recorre una vez en cada ruta. Se recomienda en zonas con baja densidad de población, y por tanto extensas (Guzmán y Arana, 2015).

c. Método de doble peine

Recogida en un lado de las calles, se recorre al menos dos veces en cada ruta. Recomendado para áreas con alta densidad de población y principalmente en áreas comerciales (Guzmán y Arana, 2015).

d. Método intradomiciliario

Los operadores del vehículo de recolección ingresan a las viviendas por los recipientes que contienen residuos y los depositan en el vehículo recolector, una vez realizado este proceso regresan los recipientes al mismo lugar donde fueron sacados, este método es más costoso y se requiere mayor tiempo en la recolección (Flores et al, 2008).

e. Método de contenedores

En este método el vehículo recolector se detiene en puntos predeterminados, donde los contenedores están ubicados de tal manera que el vehículo recolector pueda acceder fácilmente a ellos y maniobrar sin problema. Es el método más adecuado para recolectar en áreas de alta generación de residuos y accesos restringidos como pueden ser hospitales, centros comerciales, hoteles, mercados, tiendas y áreas marginadas (Flores et al, 2008).

3.3.3 Optimización del servicio de recolección de residuos sólidos

La importancia de realizar una optimización de rutas radica en que el proceso de recolección y transporte por sí solo representa aproximadamente del 60% al 80 % del costo total de la gestión de residuos sólidos de una municipalidad (Tavares et al, 2009).

Este panorama sugiere que mejorar la infraestructura, incluyendo los caminos, aumentar el equipo y los recursos humanos, tienen un impacto positivo en la prestación del servicio; sin embargo, se debe considerar que todo representa una mayor carga económica para las municipalidades y por ende un mayor costo del servicio para los usuarios (Abarca-Guerrero et al, 2013).

Los objetivos de optimización más comunes en modelos de recolección son principalmente acciones de minimización y reducción, las cuales abarcan los costos de operación, viajes y rutas, usos y mantenimiento de los vehículos recolectores, tiempo y distancias de recorrido. Además, existen también metas de maximización de la recuperación de residuos en la fuente, de ganancias sociales y ambientales y la compactación de la ruta (Daza et al, 2015).

En el cuadro 3.2 se pueden observar los aspectos básicos a tomar en consideración para la optimización en la recolección de residuos, según Sulemana et al (2018).

Con respecto a mejoras operativas, López et al (2020), analizaron las condiciones laborales de los recolectores de residuos sólidos en América Latina y concluyeron que existen pocos datos de como impactan las condiciones laborales y ambientales a los trabajadores que manipulan residuos en cualquier etapa de la gestión, por lo anterior es importante pero que investigar los riesgos a la salud, las condiciones laborales y la calidad de vida de estos trabajadores, podría contribuir en las elaboración de políticas públicas, promover la adopción de medidas de protección y aumentar la conciencia de los usuarios del servicio en separar, clasificar y empaquetar debidamente la residuos domiciliarios.

Cuadro 3.2. Descripción de aspectos básicos de optimización en la recolección de residuos (Sulemana et al, 2018).

Aspectos Básicos	Descripción
Un financiamiento adecuado	Al no contar con los recursos económicos necesarios se fomenta una recolección parcializada de los residuos generados y el resto termina en vertederos no autorizados en las comunidades.
Compromiso de los usuarios	Históricamente, se ha reconocido como único responsable de la gestión de residuos a las autoridades locales, sin embargo, una eficiente gestión depende de la participación tanto de la agencia municipal como de los ciudadanos, por lo que se requiere ese desarrollo sociocultural para incluir de manera integral a las personas en la toma de decisiones.
Programación operativa y el enrutamiento vehicular	Es importante implementar calendarios de recolección alineados con la realidad de cada área, tener una ruta claramente definida con base a criterios técnicos de sostenibilidad y contar con una infraestructura y recursos de recolección, como contenedores y vehículos, suficiente.
Red vial en buen estado y planificación del desarrollo	La naturaleza de las carreteras puede impactar positiva o negativamente el proceso de recolección y transporte de los residuos sólidos. Un mal acceso a las comunidades representa un desafío para el sistema, pues implica atrasos en el proceso y el deterioro de los equipos de recolección.
Acceso a información técnica actualizada y precisa	En la toma de decisiones y el diseño de cambios del proceso de optimización es importante contar con los datos más recientes y que reflejen las necesidades reales de la población.

Por último, para optimizar este servicio, según Sáez y Urdaneta (2019), es crucial que las empresas que ofrecen servicios públicos prioricen la calidad, ya que esto tiene un impacto directo en la calidad de vida de los ciudadanos. Por lo tanto, es esencial establecer una comunicación efectiva con los usuarios para mejorar la prestación de estos servicios.

3.3.4 Herramientas para la optimización de rutas de recolección de residuos sólidos

Hay muchas herramientas para mejorar la eficiencia en el transporte de los residuos, tales como modelos estadísticos, indicadores de desempeño y sistemas de información geográfica (SIG). Todas estas herramientas pueden ser utilizadas para optimizar las rutas de recolección en función de una serie de limitaciones relacionadas con el proceso logístico (Briceño y Guiñansaca, 2022).

Sistema de información geográfica (SIG)

Las herramientas de SIG son un instrumento adecuado para este tipo de estudios, ya que son capaces de almacenar, recuperar y analizar una gran cantidad de visualización de datos y salidas en un tiempo razonable (Sumiani et al, 2009). En los últimos años el uso de SIG se ha convertido en una herramienta esencial para la creación de rutas para vehículos, permitiendo obtener rutas óptimas y eficientes (Briceño y Guiñansaca, 2022).

Indicadores de desempeño

Estudios referenciales indican que no existe una única forma de evaluar el desempeño, sino que existen diversos enfoques y metodologías que podrían considerarse. Uno de estos enfoques es el orientado a determinar brechas o diferencias entre la realidad con respecto a lo establecido por un modelo de referencia idealizado. De esta manera, se evalúa la eficiencia y eficacia de las actividades realizadas con el propósito fundamental de la satisfacción de los ciudadanos (Arellano-González et al, 2016).

En el caso específico de los gobiernos locales, es indispensable contar con instrumentos para evaluar cuanto se aproximan a lograr cierto grado de desarrollo en sus comunidades o que tan alejados se encuentran de este, lo cual permite también motivar para que se mejoren las prácticas existentes (Martinez-Pellégrini et al, 2008).

Análisis estadístico aplicado a la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Para el diseño de sistemas de gestión de residuos sólidos, es necesario determinar las características estadísticas de las tasas observadas de la generación de residuos (Runfola y Gallardo, 2009).

Series en el tiempo

Se definen dos tipos de comportamiento de series en el tiempo (Berthouex y Brown, 2002):

- Estacionarias: estas se caracterizan porque el promedio y la desviación estándar, de la variable que se evalúa, no cambia significativamente en función del tiempo. Esto ocurre en ausencia de tendencias y comportamiento cíclicos.
- No estacionarias: en este grupo sucede lo contrario, existe una marcada presencia de tendencias y comportamientos cíclicos en función del tiempo.

Técnicas de caracterización

Existen 3 técnicas que permiten analizar y caracterizar una serie en el tiempo (Berthouex y Brown, 2002):

- Descomposición: en este caso se considera posible descomponer la serie en tres componentes definidos, tendencia, cíclico y aleatorio (o ruido).
- Suavizado: esta modelo busca filtrar los comportamientos irregulares que pueda presentar la serie, con el propósito de visualizar la tendencia promedio de los datos. Es posible realizar pronósticos de esta tendencia promedio.
- Modelos autorregresivos (ARIMA): es una técnica de modelaje que se basa en la regresión (ajuste) no lineal del comportamiento de una serie en el tiempo. Es posible aplicarlo tanto en series estacionarias como no estacionarias. Su uso abarca tanto el análisis e interpretación de la serie como para efectos de realizar pronósticos.

Para verificar que el modelo ARIMA sea adecuado, los residuos deben ser independientes (aleatorios), tener un promedio de 0 y una distribución normal. Por esta razón también se puede aplicar la Prueba de Ljung-Box, la cual permite determinar si los residuos se distribuyen de manera independiente.

3.4 Cantón de Garabito

Garabito es un cantón joven, obtuvo su cantonato en el año 1988 debido al crecimiento generado por el auge turístico. Es una zona muy concurrida en parte por su belleza natural, obras básicas de infraestructura (cañería, alumbrado, caminos), la apertura de la Ruta 34 o Costanera Sur y su cercanía al Valle Central (Castellón, 2009).

Garabito es el undécimo cantón de la provincia de Puntarenas, cuenta con los distritos de Jacó, Tárcoles y Lagunillas, este último creado el 15 noviembre de 2021 mediante la ley N°10055 (Instituto Nacional Estadística y Censos [INEC], 2012). Además, tiene con una población de 17311 habitantes, 10096 viviendas, distribuidas de manera irregular en un área de 316 km² (Zumbado, 2020).

3.4.1 Características del sistema de recolección de residuos sólidos del cantón de Garabito

Actualmente, la Municipalidad de Garabito no cuenta con un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) vigente, durante el 2020 se inició la elaboración un nuevo plan, pero no fue finalizado. Sin embargo, la información presentada en el borrador es válida y representa el contexto del cantón de Garabito.

El principal recolector de residuos municipales del cantón es la Municipalidad de Garabito (58%), seguido por recolectores particulares (36%), recolección externa de Playa y hospedajes turísticos (6%). Según datos del 2019, los residuos recolectados por la Municipalidad (por sus distintos servicios) fueron 9982,5 t, la Municipalidad ha recolectado un promedio diario de 28.73 t en el período 2015-2019 (Zumbado, 2020).

De acuerdo con el sistema de cobros están registradas como contribuyentes 7263 viviendas, sin embargo, estos datos son sumamente dinámicos, ya que existe un movimiento poblacional alto, solo entre 2006 y 2011, llegaron a Garabito cerca de 2145 inmigrantes (INEC, 2012). Con respecto al sector comercial en el cuadro 3.3 se observa la distribución total según las patentes comerciales registradas, de estas las actividades económicas que tienen una mayor representación son el comercio al por menor (49%), sodas y restaurantes (11,7%) y servicios varios (13,9%), estos últimos son aquellos que tienen un mayor propósito comercial en sus instalaciones.

Cuadro 3.3. Distribución de patentes comerciales en el cantón de Garabito (Zumbado,2020).

Actividad económica	Total	Porcentaje (%)
Agrícola	5	0.2%
Construcción	17	0.7%
Industrial	18	0.8%
Comercio al por menor	1167	49.0%
Supermercados	131	5.5%
Sodas y restaurantes	278	11.7%
Hoteles y cabinas	135	5.7%
Bares	94	3.9%
Servicios varios	332	13.9%
Servicios profesionales	20	0.8%
Bienes raíces	85	3.6%
Talleres	26	1.1%
Otros	74	3.1%
Total	2382	100%

En el 2020 se realizó un estudio de composición de los residuos sólidos ordinarios, para este análisis se utilizó como muestra los residuos generados en las comunidades de Proyecto Herradura, Barrio Berrocal Herradura, Barrio F y M en Jacó y Urbanización en Quebrada Ganado. En la figura 3.2 se presentan los datos obtenidos de composición de residuos sólidos.

Actualmente, la Municipalidad de Garabito brinda el servicio de recolección y disposición final de los residuos sólidos por medio de una contratación con el consorcio Empresas Berthier (EBI) – Inversiones GIRMO S.A. Este último bajo la supervisión de Deiby Montero Jiménez, encargado de la empresa familiar Gestión Integral de Residuos Montero (GIRMO), registrados como gestores autorizados ante el Ministerio de Salud para la recolección y transporte de residuos sólidos ordinarios, con el código DPAH-UASSAH-RGA-011-2017 (MSCR, 2022).

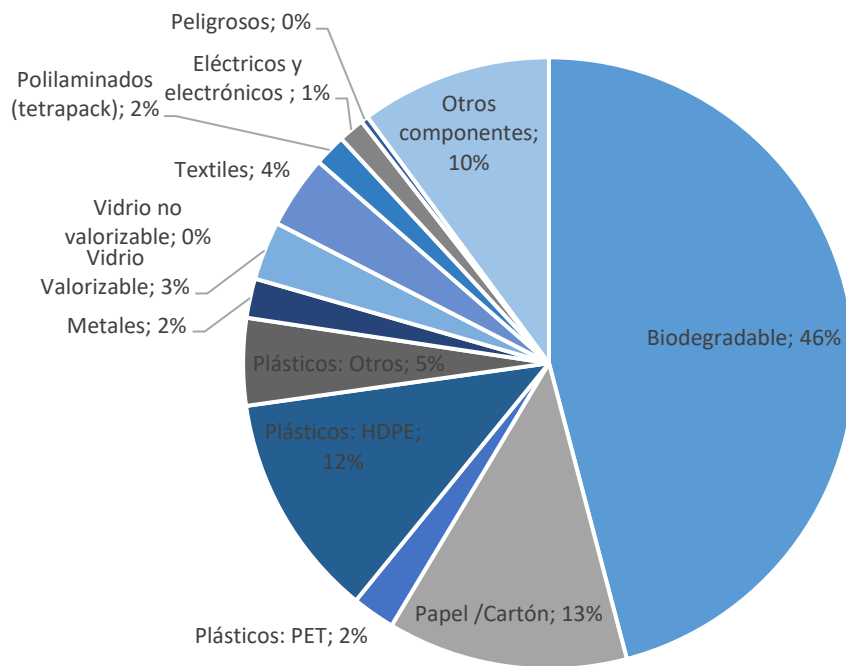


Figura 3.2. Composición de residuos ordinarios en cuatro barrios del cantón de Garabito. Fuente: Zumbado, 2020.

GIRMO es un negocio familiar que nace de la necesidad de trabajo en la zona sur de Costa Rica y como una oportunidad rentable para los involucrados, en los últimos 7 años ha crecido gradualmente y esto les ha permitido aumentar su participación en la gestión pública de los residuos sólidos, donde mantienen contratos directos con la Caja Costarricense del Seguro Social Sucursal Golfito, la Municipalidad de Golfito, Municipalidad de Corredores, Municipalidad de Coto Brus y empresa privada como Palma Tica, además de los servicios brindados a partir del consorcio con EBI, como el caso de la Municipalidad de Garabito (Montero, 2022).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Zona de estudio

El cantón de Garabito es el número 11 de los 12 cantones que conforman la provincia de Puntarenas y ocupa una estrecha llanura litoral en la costa del Pacífico Central Costarricense (Figura 4.1). Su anchura máxima es de 39 kilómetros (km) en la dirección noroeste a sureste,

desde la desembocadura del río Jesús María, en el litoral Pacífico hasta 800 metros aguas arriba de la desembocadura del río Tusubres.

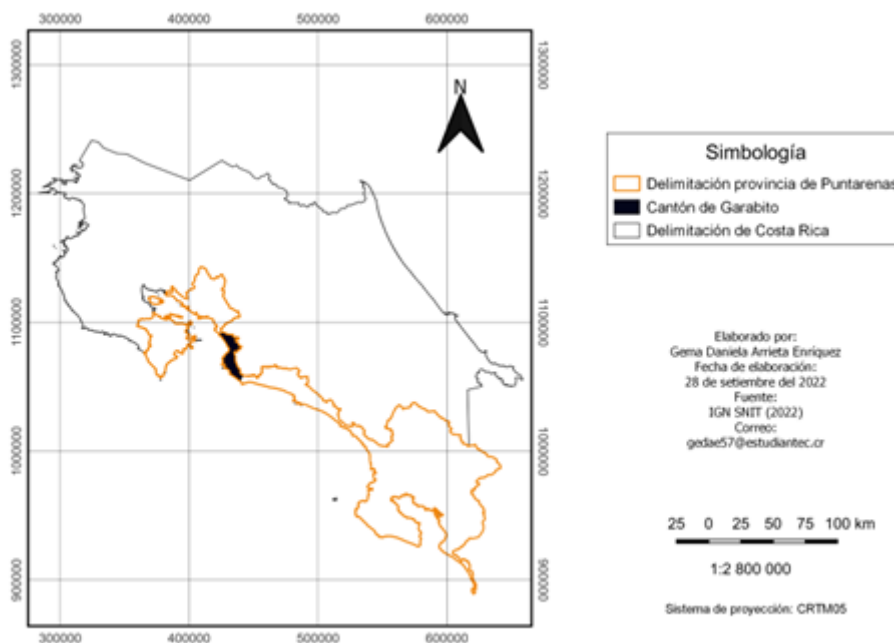


Figura 4.1. Mapa de la ubicación del cantón de Garabito en la provincia de Puntarenas, Costa Rica. (Elaboración propia).

Garabito es un importante punto de inversión extranjera, específicamente por la construcción de hoteles y centro de recreación de playa, por este motivo el cantón ha experimentado un crecimiento exponencial en población, infraestructura, comercio y otros. Además, cuenta con una elevada población flotante conformada por turistas y trabajadores estacionales, quienes utilizan los servicios y recursos del cantón.

Para el Censo 2011 la tasa de crecimiento anual fue de 4,72%. La población de Garabito es de 17 229 y existen un total de 10 061 viviendas con un promedio de ocupantes de 3,2 personas distribuidas en 40 poblados. El cantón se encuentra dividido en 3 distritos conocidos como Jacó, Tárcoles y Lagunillas y los principales poblados son Playa Jacó, Centro de Jacó, Agujas, Bajamar, Caletas, Guacalillo, Herradura, Lagunilla, Lajas, Mantas, Mona, Playa Azul, Playa Hermosa, Playa Herradura, Punta Leona, Quebrada Amarilla, Quebrada Ganado, Tárcoles, Tárcolitos y Bijagual (Figura 4.2).

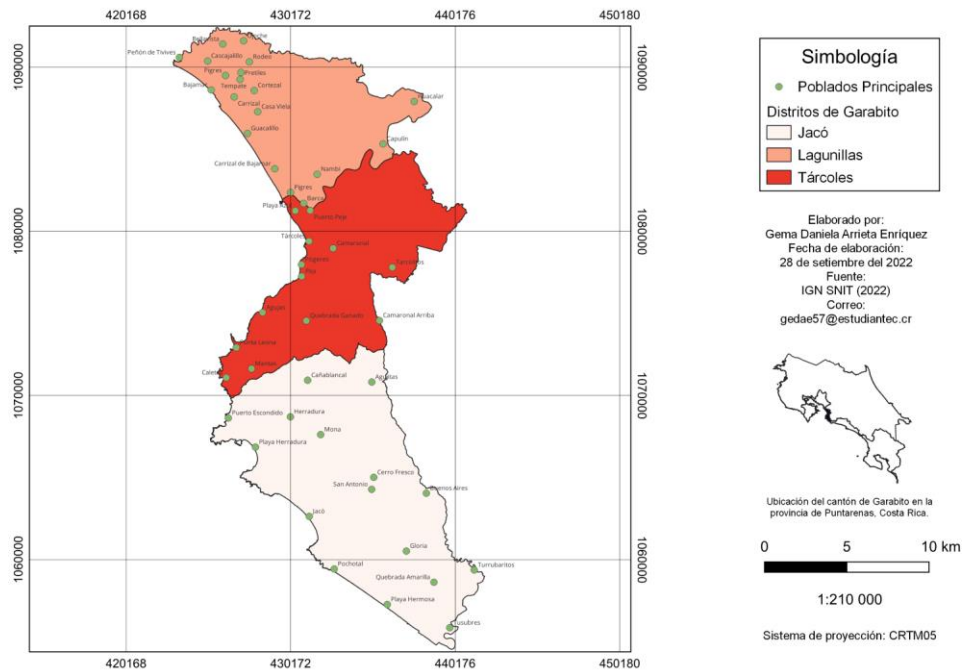


Figura 4.2. Mapa de los principales poblados que conforman el cantón de Garabito, Puntarenas, Costa Rica. (Elaboración propia).

El cantón de Garabito forma parte de los 10 gobiernos locales costarricenses con mayor índice de desarrollo humano, sin embargo, también presenta valores de hacinamiento por encima del promedio nacional, siendo el distrito de Jacó el que presenta los mayores problemas de este tipo con un 15,3% de las viviendas.

4.2 Visita de campo

Se realizó una reunión de planificación con funcionarias del Departamento de Servicios Ambientales de la Municipalidad de Garabito y un representante de la empresa GIRMO, entidad encargada de brindar el servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios, en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos del cantón, con el fin de definir las fechas y las rutas a ser evaluadas cada día, así como la aplicación de una entrevista semi estructurada acerca del servicio de recolección actual.

Según lo acordado en la reunión de planificación, se realizaron visitas de campo durante 9 días no continuos, desde el 09 de agosto del 2022 hasta el 19 de agosto del 2022. Durante este tiempo, las evaluaciones de rutas comenzaron en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos Garabito a las 5 am hasta que el equipo recolector terminará su jornada laboral.

Durante las visitas se procedió a obtener el recorrido real del camión recolector para cada ruta, empleando el GPS de frecuencia L1+ L5 de un dispositivo Xiaomi Redmi Lite 11 a través de la

aplicación móvil Geo Tracker, con la cual se recopiló la distancia y duración total de la ruta. Además, se obtuvo la cantidad de veces que debía detenerse el camión recolector en cada ruta y se tomaron anotaciones sobre maniobras viales peligrosas (reversas, giros no permitidos, calles intransitables, entre otros), técnicas de recolección (método de peine, doble peine, repaso de calles, acumulación estratégica por empleado o vecinos) y la cantidad de transferencia de residuos realizadas. Por otro lado, durante los espacios de descanso de las personas recolectoras, se realizó una entrevista semi estructurada acerca de su experiencia como trabajadores del servicio de recolección de residuos sólidos de este cantón (ver Apéndice 1).

Por último, la información obtenida fue utilizada para la elaboración de mapas geográficos del servicio actual de recolección de residuos sólidos ordinarios usando un software libre y de código abierto de SIG conocido como QGIS en su versión long term release 3.22 Biatowieza.

4.3 Análisis estadístico de los tonelajes de residuos sólidos

Se solicitó al Departamento de Servicios Ambientales información tabulada de los tonelajes diarios que son recolectados en el cantón de Garabito. El documento de Excel que brindaron tenía datos desde el 1 de enero 2022 hasta el 31 de agosto 2022, así como, el número de placa del camión recolector, número de boleta y el tonelaje de residuos. En reuniones posteriores con los representantes del departamento se definieron estas fechas como el alcance del diagnóstico.

Primeramente, se filtraron los datos recolectados en la romana de la municipalidad para identificar los tonelajes de residuos recolectados por los camiones de la empresa subcontratada GIRMO. Después se utilizó la herramienta de tablas dinámicas de Microsoft Excel para obtener el total diario de residuos recolectados y, por último, se trabajó en el programa R para utilizar las herramientas de series en el tiempo, autocorrelación, la prueba de Dickey-Fuller y modelo autorregresivos (ARIMA).

- **Series en el tiempo:** Esta herramienta estadística se utilizó para modelar el comportamiento de los residuos en el tiempo y poder identificar si los residuos recolectados se comportan como una serie estacionaria o no estacionaria.
- **Prueba de Dickey-Fuller:** Esta prueba se utilizó para evaluar la estacionalidad de la serie y poder asegurar el tipo de comportamiento presente en la serie.

Hipótesis nula (H0): no presenta estacionalidad.

Hipótesis alternativa (Ha): estacionalidad.

Si el p-value $< \alpha$, $\alpha=0.05$, se rechaza la H0 y se confirma el comportamiento estacional de la serie (Ha).

- **Autocorrelación:** Seguidamente, se aplicó un análisis de autocorrelación a los datos que permita detectar la presencia de patrones que no fuesen visibles en el análisis de series en el tiempo.
- **Modelo autorregresivo (ARIMA):** Se seleccionó la técnica de ARIMA para caracterizar la serie en el tiempo con el fin de caracterizar los datos y obtener un modelo para realizar pronósticos de la cantidad de residuos que serán recolectados.
- **Prueba de Ljung-Box:** Se aplicó esta prueba para verificar que el modelo de regresión ARIMA fuera el adecuado para la serie, donde:

Hipótesis nula (H0): los residuos tienen un comportamiento independiente.

Hipótesis alternativa (Ha): los residuos no se comportan de manera independiente.

Si el p-value $> \alpha$, $\alpha=0.05$, se acepta la H0 y se rechaza el comportamiento estacional de la serie (Ha).

4.4 Entrevistas y encuestas

Como se mencionó en la sección 4.3 para tener un panorama de la percepción actual del servicio de recolección de los residuos sólidos ordinarios brindado por la Municipalidad de Garabito, fue necesario realizar entrevistas a los recolectores, además aplicar encuestas a la población que recibe el servicio.

Para la recolección de datos de la encuesta se utilizaron, únicamente, espacios de divulgación digital de la Municipalidad de Garabito, como el perfil de noticias en la aplicación social Facebook del gobierno local (ver Apéndice 2). La encuesta fue diseñada en el servicio en línea de Formularios de Google (ver Apéndice 3) y estuvo disponible del 6 de febrero 2023 al 15 de febrero del 2023.

4.5 Revisión de literatura

La revisión de literatura se llevó a cabo con el objetivo de identificar casos de éxito de sistemas de recolección de residuos sólidos y aspectos ambientales relacionados con el servicio, así como, recopilar parámetros de eficiencia en sistemas de recolección. Esta información se comparó con los datos disponibles en la Municipalidad de Garabito, útiles para la identificación de indicadores de desempeño aplicables a la realidad actual.

Se investigó en un contexto internacional, latinoamericano y nacional, por lo que, para realizar la revisión de literatura, se utilizaron diferentes fuentes de información, como bases de datos, revistas, libros y sitios web especializados en el tema de gestión de residuos sólidos y ambiental.

4.6 Indicadores de desempeño

La identificación de los indicadores de desempeño del sistema de recolección de residuos sólidos municipales está basada en el trabajo de Guerrero y Erbiti (2004), observaciones en la visita de campo y recomendaciones brindadas por el Vigésimosegundo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible elaborado por el ProDUS-UCR (2016). Además, se utilizó como variable de interés los kilogramos de residuos sólidos recolectados por cada vehículo recolector disponible en la base de datos del departamento de Servicios Ambientales de la Municipalidad de Garabito (Anexo 1).

Para calcular los límites de control con respecto al rendimiento de recolección se siguieron los siguientes pasos, basados en la metodología planteada por Anderson, Sweeney y Williams (2004):

1. Calcular la media y la desviación estándar de los datos recolectados: se utilizó la herramienta de estadística descriptiva de análisis de datos del software Excel.
2. Calcular los límites de control: Con los valores obtenidos en el paso anterior, se calculó los límites de control utilizando la Ecuación 1. Esta fórmula permite establecer un límite superior ($m+\sigma/\sqrt{n}$) y un límite inferior ($m-\sigma/\sqrt{n}$) para comparar los resultados obtenidos y determinar si hay alguna desviación significativa.

Límite de control

$$= m \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$m = \text{media}$

$\sigma = \text{desviación estándar}$

$n = \text{número de datos}$

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios por la Municipalidad de Garabito.

El sistema actual de recolección tiene establecido 10 rutas, las cuales abarcan los principales poblados de los 3 distritos que conforman el cantón de Garabito (Figura 5.1).

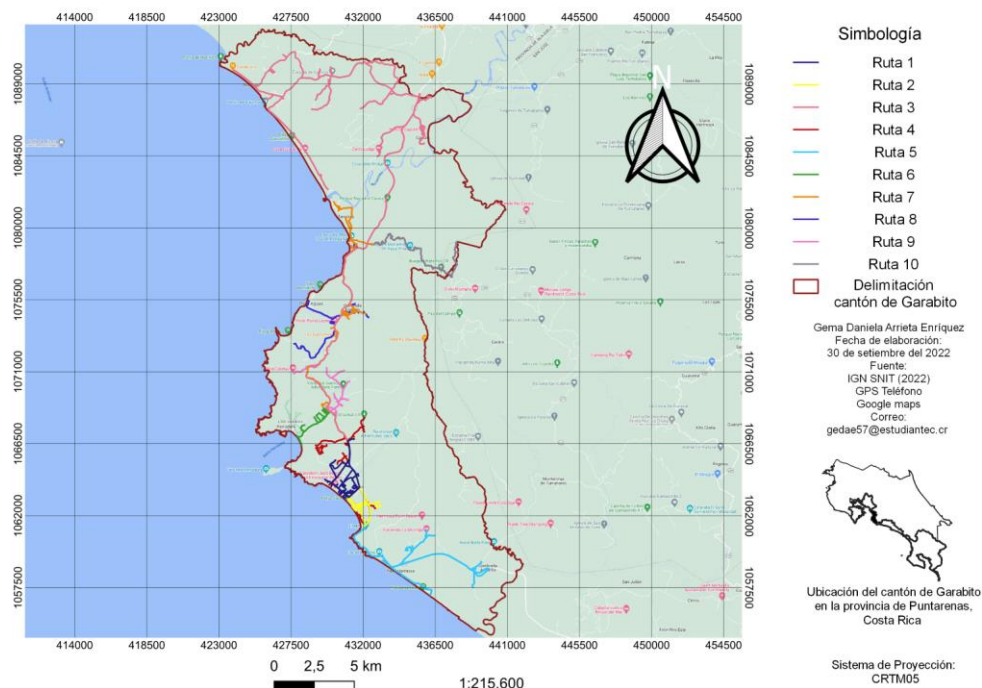


Figura 5.1. Mapa general del alcance de las rutas de recolección del cantón de Garabito, Puntarenas, Costa Rica. (Elaboración propia).

Estos recorridos se distribuyen entre 1 hasta 4 subsectores, según se muestra en el Cuadro 5.2. Cabe destacar que el servicio no cuenta con una distinción por residuos comerciales o residenciales, por lo que ambos son recolectados en conjunto. Por otro lado, tampoco cuenta con una ruta de residuos valorizables y no tradicionales. Por último, existe una ruta especial que se realiza los domingos, está abarca las calles principales del centro de Jacó y el camión recolector varía continuamente según el horario de los chóferes y mantenimientos de los vehículos.

Cuadro 5.1. Características de la flotilla vehicular utilizada para brindar el servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios en el cantón de Garabito (Elaboración propia).

Categoría	Placa	Código Activo	Marca	Año	Capacidad m³	Observaciones
	166210	GR10	PETERBILT PB340	2009		Color Rojo
Carga Pesada Compactadores	171092	GR11	FREIGHTLINER M210652K	2010	19	Color Blanco
	167676	GR09	INTERNATIONAL	2012		Color Blanco
Carga Liviana	188093	GL09	DAIHATSU DELTA	2003	14,55	Color Rojo
	143709	GL07	ISUZU NQR	2007	17,86	Color Blanco

En el Cuadro 5.1 se distribuye la flotilla vehicular del sistema, la cual está compuesta por 3 camiones categorizados como vehículos de carga pesada tipo compactadores y 2 equipos de carga liviana (ver Apéndice 4). En el caso de los equipos de carga pesada no se obtuvo el dato del grado de compactación de los residuos sólidos recolectados dentro de la caja compactadora. Por otro lado, el equipo de trabajo está conformado por 5 chóferes y 9 recolectores.

Todas las rutas inician su jornada de recolección a las 5 am, sin embargo, su hora de finalización varía según el día de la semana y la cantidad de residuos sólidos. Además, al tener que abarcar un área tan extensa, es usual que una cuadrilla termine su recorrido y deba dar soporte a otro sector.

5.1.1 Descripción de las rutas

a. Ruta 1 Jacó Centro Norte y Ruta 2 Jacó Centro Sur

La gestión de residuos en la cabeza del distrito de Jacó se organiza en dos rutas independientes, cada una diseñada teniendo en cuenta la logística, densidad de residuos y la asignación de recolectores. Aunque estas rutas abarcan calles y barrios diferentes en su recorrido, ambas muestran características similares, como tiempos y velocidades de recolección.

Cuadro 5.2. Características y alcance de las rutas de recolección del cantón de Garabito evaluadas (Elaboración propia).

N° Ruta	Frecuencia	Nombre	Detalle de la ruta	Día de recolección en semana	Camión Recolector	Horario Recolección	Número de recolectores	Longitud de las rutas	Horas en la ruta de recolección	Número de viajes por día de recolección*	Toneladas diarias
1	3	Jacó Centro Norte	Ruta 34 – Calle Lapa Verde – Avenida Pastor Díaz Norte – Jacó Sol — Calle Ancha – Boulevard Jacó Princess – Barrio Los Croc’s – Calle Boulevard Jacó – Costa Bella – Hacienda Jacó – Calle Naciones Unidas – Barrio La Nación – Barrio Camboya - Todos los accesos a Playa Jacó Sector Norte.	Lunes, miércoles y viernes	GR10	5:00 am – 12:00 md	3	32	7	2	18
2	3	Jacó Centro Sur	Ruta 34 – Calle Lapa Verde – Avenida Pastor Díaz Sur – Avenida Amapola – Todos los accesos a Playa Jacó Sector Sur – Quebrada Seca 1.	Lunes, miércoles y viernes	GR11	5:00 am – 12:00 md	2	26	7	2	18
3	2	Lagunillas y Bajamar	Subsector 1: Ruta 34 – Tarcolitos – Villa Domelua – Capulín – Lagunillas – Avenida Fernando Castro Cervantes Subsector 2: Cuarros – Guacalillo – Bajamar – Calle Loros – Calle El Sueño Castroma – Hacienda Rafita.	Lunes y viernes	GR09	5:00 am – 12:00 md	2	123	7	1	10
4	3	Jacó	Quebrada Seca 1 y 2 – Accesos a Playa Jacó (Calle Hidalgo, Calle Pedro Mora y Hotel Mirasol) - Vista Guapa – Tucan Calvo – Urbanización FyM – Calle Las Monas – Residencial Quebrada Bonita.	Lunes, miércoles y viernes	GL09	5:00 am – 1:00 pm	2	37	8	2	6

Continuación Cuadro 5.2

5	3	Quebrada amarilla y Playa Hermosa	Subsector 1: Ruta 34 – Mirador Jacó - Quebrada Amarilla – Calle Hermosa – Calle Conga – Residencial Ópera Salvaje Subsector 2: Acceso a Playa Hermosa – Hermosa Wave – Jaco Luxury.	Martes, jueves y sábado	GR11	8:00 am – 3:00 pm	2	46	6	1	10
6	3	Herradura	Ruta 34 – Parcelas – Boulevard Jan Dankers – Calle Principal Herradura – Los Sueños – Playa Herradura.	Martes, jueves y sábado	GR10	9:00 am – 1:00 pm	3	12.5	4	1	8
7	2	Quebrada Ganado, Tárcoles, Playa Azul	Ruta 34 Subsector 1: Pez Vela - Quebrada Ganado. Subsector 2: Tárcoles – Villa Lapas. Subsector 3: Mavericks – Málaga - Cristo Rey.	Martes y jueves	GR09	5:00 am – 5:00 pm	2	30.6 19.32 2.55	6 4 1	2	24
8	2	Quebrada Ganado, Tárcoles, Punta Leona	Subsector 1: Barrios Quebrada Ganado Subsector 2: Barrios Tárcoles Subsector 3: Playa Agujas – Residencial Oasis Subsector 4: Punta Leona.	Martes y jueves	GL07	5:00 am – 1:00 pm	1	39.01	8	2	6
9	2	Herradura	Villa Caletas – Calle La Pipasa – Calle Los Agüero – Calle hacia Red ink tattoo - Barrio El Invu – Proyecto Valle Escondido – Calle Central – Urbanización Campo Mar – Punta de Oro.	Martes y jueves	GL09	5:00 am – 12:00 md	2	31.47	7	1	3
10	1	Bijagual	Ruta 320 – Escuela La Hacienda.	Sábado	GL09	5:00 am – 7:00 am	1	27.16	2		2

* Cantidad de viajes al centro de transferencia ubicada en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos de Garabito.

Estas rutas se caracterizan por recorrer una zona mixta que abarca el sector norte y sur del área comercial más desarrollada del cantón de Garabito y una zona residencial permanente. Las actividades económicas más importante están relacionadas con el turismo y el comercio de bienes. Estos sectores son sustantivamente destacados para la economía local, puesto que soportan en conjunto un 60% de las principales fuentes de trabajo en el cantón (Municipalidad de Garabito, 2020). Además, posee la línea costera de Playa Jacó (Figura 5.2 y Figura 5.3), por lo que es una zona de alto interés de actividades ambientales organizadas por iniciativas turísticas.

En la Figura 5.2 se observa el recorrido de la Ruta 1 Jacó Centro Norte, esta es realizada por el vehículo de carga pesada GR10 marca PETERBILT PB340 (Cuadro 5.2) con una velocidad media de 4,57 km/h, abarca 32 km y toma 7 horas completar el circuito completo.

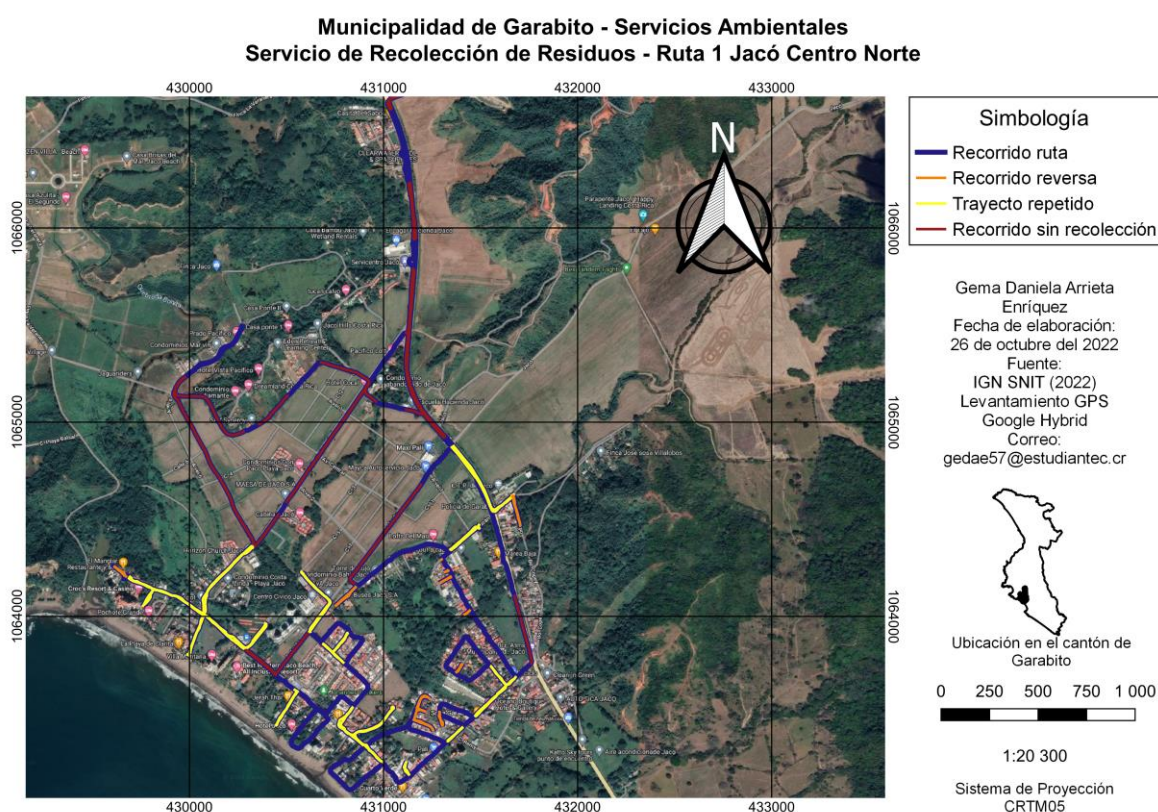


Figura 5.2. Mapa de la ruta de recolección 1 en el sector de Jacó Centro Norte. (Elaboración propia).

En el caso de la Ruta 2 Jacó Centro Sur se observa el recorrido utilizado en la Figura 5.3, este trayecto es realizado por el vehículo de carga pesada GR11 marca FREIGHTLINER (Cuadro 5.2) con una velocidad media de 3,71 km/h, abarca 26 km y toma 7 horas completar el circuito completo.

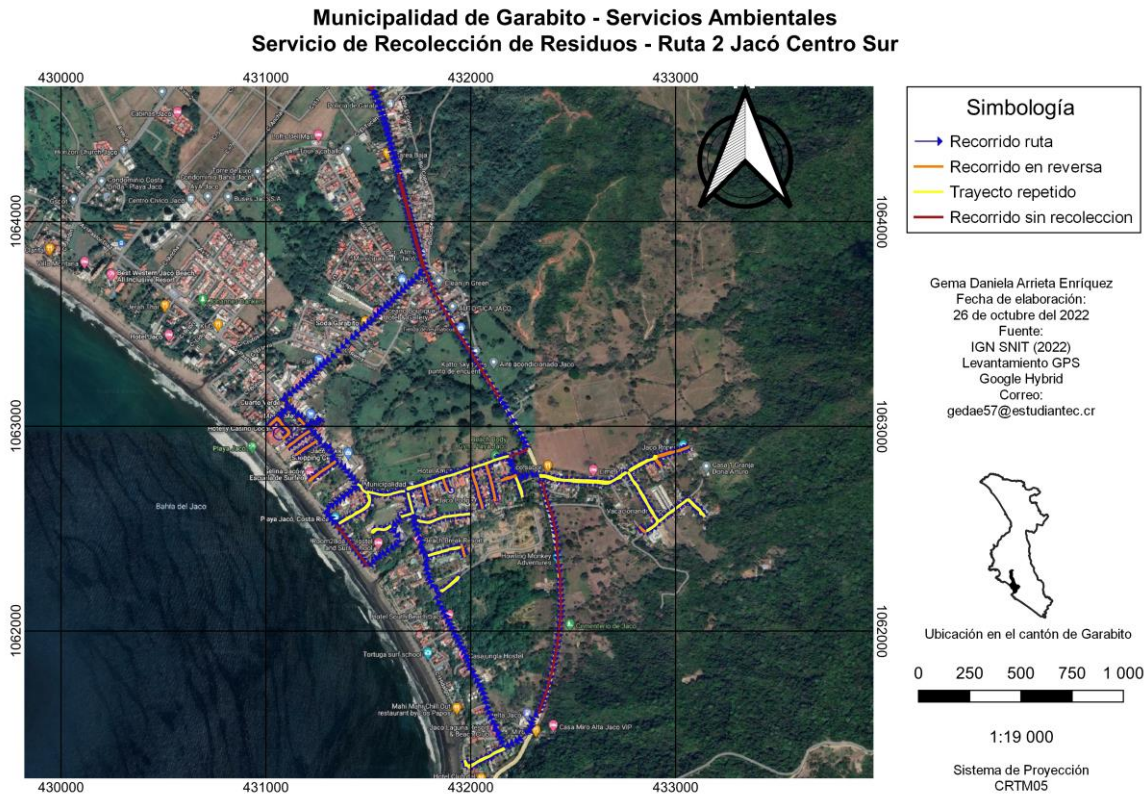


Figura 5.3. Mapa de la ruta de recolección 2 en el sector de Jacó Centro Sur. (Elaboración propia).

En ambas rutas, la recolección de residuos se realiza tres veces por semana: los lunes, miércoles y viernes. Cada ruta recolecta más de 18 toneladas de residuos diarios y debe realizar 2 viajes al centro de transferencia ubicado en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos del cantón.

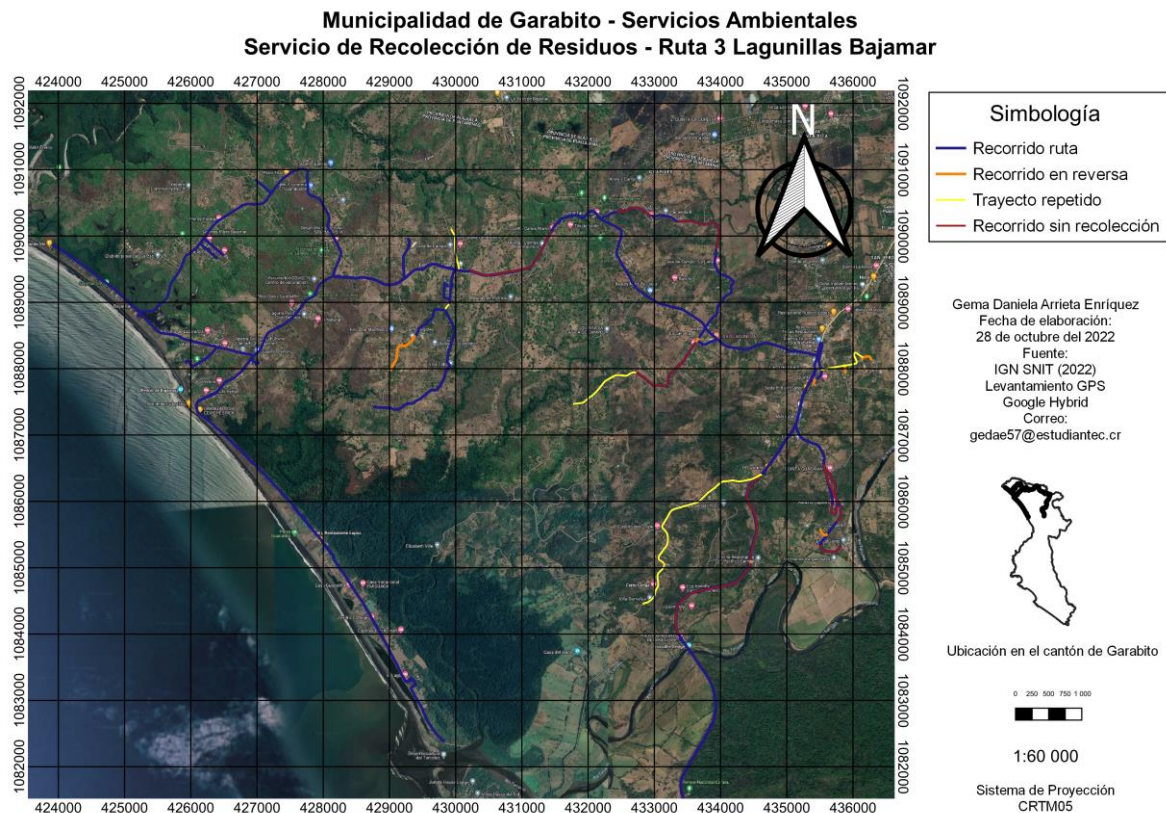
La mayor parte del recorrido se realiza utilizando el método lineal (peine), pero se ha identificado que existen sectores donde se llevan a cabo maniobras viales peligrosas, como giros en U y retrocesos, tal como se puede apreciar en la Figura 5.2 y la Figura 5.3, resaltados en color naranja.

b. Ruta 3 Lagunillas y Bajamar.

Esta ruta se caracteriza por ser una zona enfocada como sector agropecuario con un interés turístico de lento crecimiento por abarcar el Peñón de Guacalillo y el Peñón de Bajamar. La población residencial está focalizada en puntos centrales de comunidades y existen residencias habitadas por población estacional que se encuentran a varios kilómetros de distancia de estos puntos.

La ruta descrita en la Figura 5.4 está compuesta por dos subsectores. El subsector 1, Lagunillas, comprende los comercios que se encuentran especialmente sobre la nacional Ruta 34. El

subsector 2, Bajamar, abarca zonas agropecuarias y residenciales. El servicio en esta zona es realizado por el vehículo de carga pesada GR09 marca INTERNATIONAL (Cuadro 5.2) y el recorrido se realiza a una velocidad media de 17,57 km/h, ya que en estos sectores hay que desplazarse más entre puntos de recolección.



**Figura 5.4. Mapa de la ruta de recolección 3 en los subsectores de Lagunillas (1) y Bajamar (2).
(Elaboración propia)**

La mayor parte de la ruta se realiza con el método lineal (peine), abarca 123 km y toma 7 horas completar el circuito completo. En este recorrido se recolectan más de 10 toneladas diarias y se realiza 2 veces por semana: lunes y viernes. Solo requiere un viaje al final de su jornada en la estación de transferencia ubicada en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos.

c. Ruta 4 Jacó.

La ruta descrita en la Figura 5.5 se caracteriza por abarcar zonas especialmente residenciales por lo que el recorrido se realiza a una velocidad media de 4,63 km/h, en este sector hay que desplazarse menos entre los puntos de recolección.

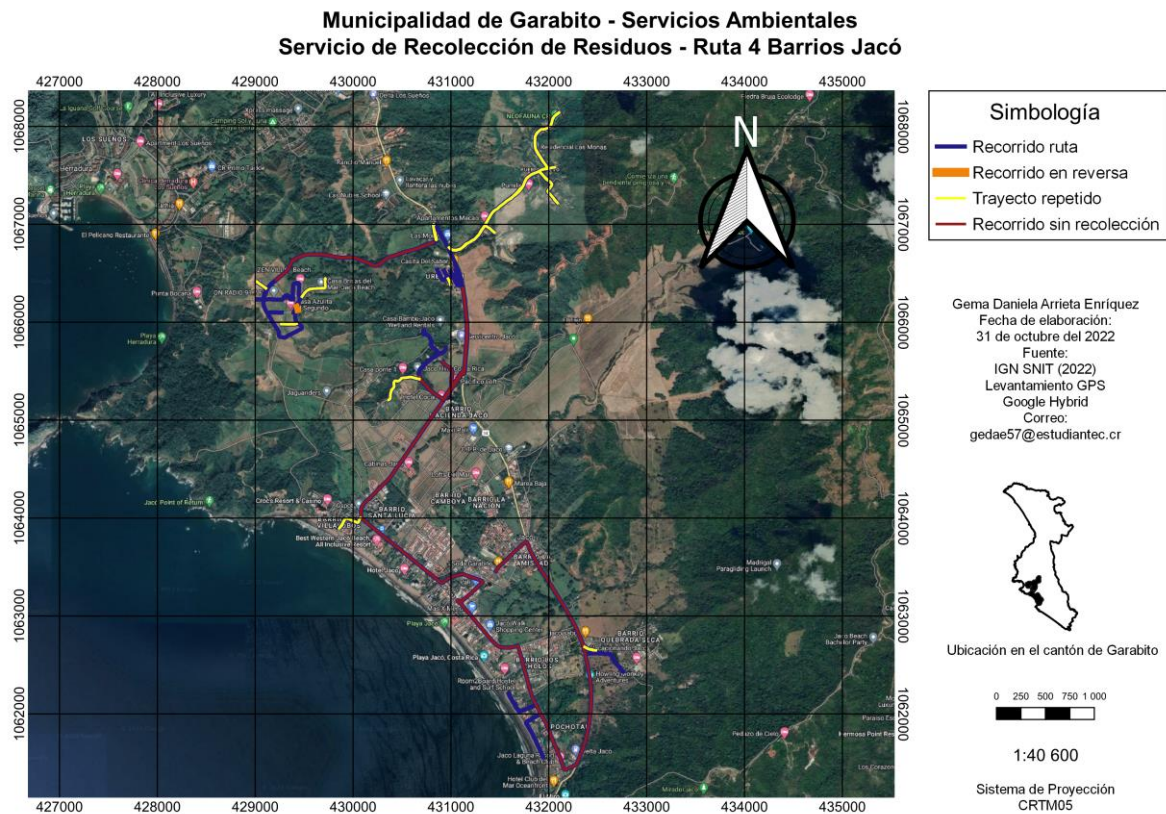


Figura 5.5. Mapa de la ruta de recolección 4 en el sector de Jacó. (Elaboración propia).

Esta ruta fue diseñada como un método de amortiguar la carga laboral de las cuadrillas de las rutas 1 y 2. Por esta razón, se encuentra un gran espacio de kilómetros donde no hay recolección y se enfoca el servicio en los caminos de difícil acceso para un vehículo de carga pesada.

La mayor parte de la ruta se realiza con el método lineal (peine), abarca 37 km y toma 8 horas completar el circuito completo. Este recorrido se realiza 3 veces por semana: los lunes, miércoles y viernes. Se recolecta más de 6 toneladas diarias en el vehículo de carga liviana GL09 marca DAIHATSU DELTA (Cuadro 5.2). Durante su jornada es necesario realizar 2 transferencias de residuos a los camiones de transporte de EBI en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos de Garabito.

d. Ruta 5 Quebrada Amarilla y Playa Hermosa.

La ruta descrita en la Figura 5.6 se caracteriza por abarcar zonas comerciales y en menor medida residenciales, por lo que el recorrido se realiza a una velocidad media de 6,57 km/h con desplazamientos cortos entre cada punto. Los puntos de recolección sobre la Ruta 34 abarcan más actividades comerciales y turísticas como restaurantes, hoteles y sitios de recreo.

Municipalidad de Garabito - Servicios Ambientales
Servicio de Recolección de Residuos - Ruta 5 Playa Hermosa Quebrada Amarilla

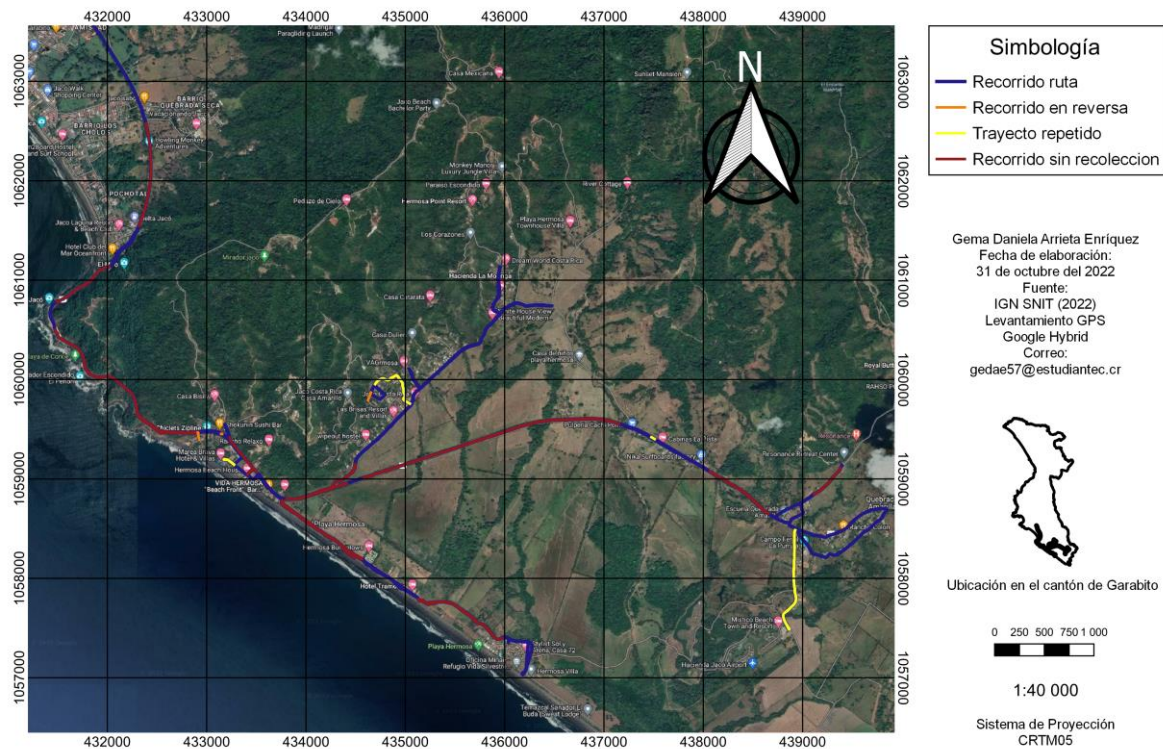


Figura 5.6. Mapa de la ruta de recolección 5 en los subsectores de Quebrada Amarilla (1) y Playa Hermosa (2). (Elaboración propia).

La mayor parte de la ruta se realiza con el método lineal (peine), abarca 46 km y toma 7 horas completar el circuito completo. Este recorrido se recolecta más de 10 toneladas diarias y se realiza 3 veces por semana: martes, jueves y sábado. El servicio es dado por el vehículo de carga pesada GR11 marca FREIGHTLINER, después de realizar un recorrido por la calle principal de Jacó Sur (Ave. Pastor Díaz Sector Sur y Ave. Amapola) y los accesos a Playa Jacó Sur, por esta razón inicia la ruta 5 a las 8 am (Cuadro 5.2). Solo requiere un viaje al final de su jornada en la estación de transferencia ubicada en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos.

e. Ruta 6 Herradura.

La ruta descrita en la Figura 5.7 se caracteriza por abarcar zonas comerciales y residenciales por lo que el recorrido se realiza a una velocidad media de 3,13 km/h, en este sector hay que desplazarse menos entre puntos de recolección. Este sector de Herradura tiene mayor influencia de comercios relacionados al turismo, por su cercanía a Playa Herradura.

Municipalidad de Garabito - Servicios Ambientales
Servicio de Recolección de Residuos - Ruta 6 Herradura

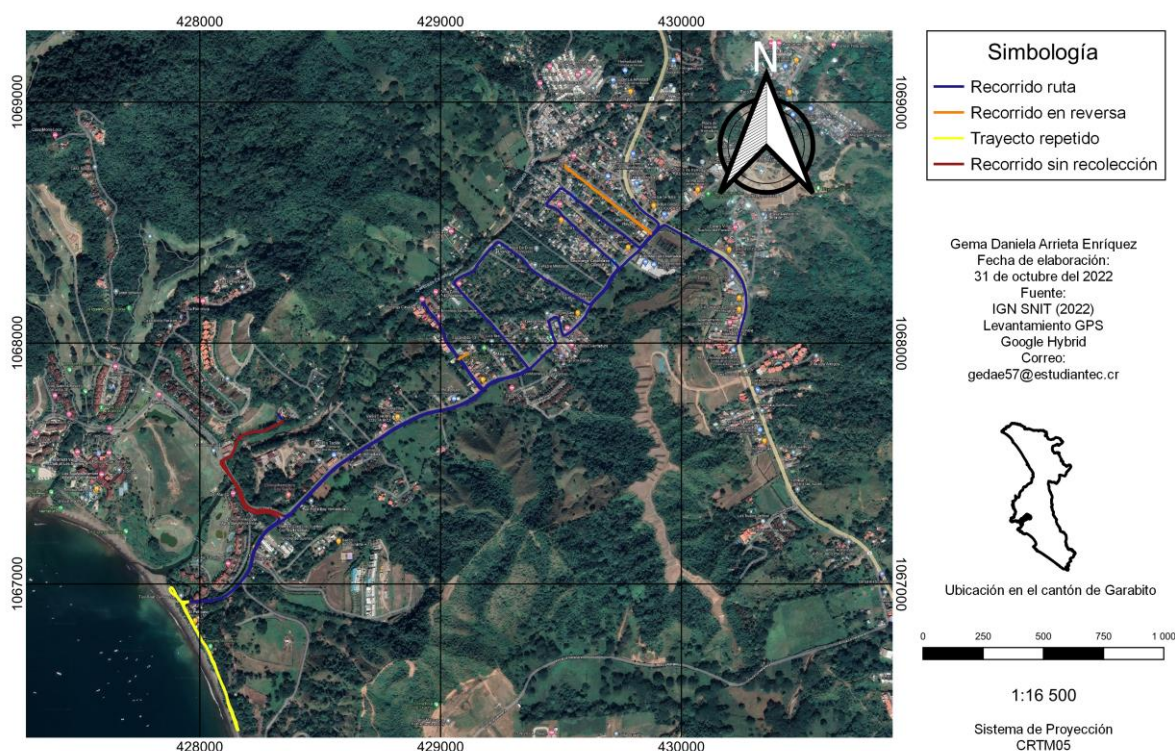


Figura 5.7. Mapa de la ruta de recolección 6 en el sector de Herradura. (Elaboración propia).

La mayor parte de la ruta se realiza con el método lineal (peine), abarca 12,5 km y toma 4 horas completar el circuito completo. En este recorrido se recolecta más de 8 toneladas diarias y se realiza 3 veces por semana: los martes, jueves y sábado. El servicio es dado por el vehículo de carga pesada GR10 marca PETERBILT, los martes y jueves cumple con esta ruta después de recorrer la calle principal de Jacó Norte (Ave. Pastor Díaz Sector Norte, Calle Boulevard Jacó, Calle Ancha y Calle Lapa Verde) y los accesos a Playa Jacó Norte, por esta razón la ruta 6 inicia a las 9 am (Cuadro 5.2). Solo requiere un viaje al final de su jornada en la estación de transferencia ubicada en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos.

f. Ruta 7 Quebrada Ganado, Tárcoles y Playa Azul.

La ruta descrita en la Figura 5.8 se caracteriza por abarcar zonas especialmente residenciales. Este recorrido se recolecta más de 24 toneladas diarias y se realiza 2 veces por semana: los martes y jueves. El servicio es brindado por el vehículo de carga pesada GR09 marca INTERNATIONAL, en la visita de campo se notó que este sector supera la jornada laboral de los trabajadores y requieren apoyo adicional de otros compañeros para cumplir con el servicio,

ya que esta es la ruta que recorre mayor cantidad de kilómetros, 75,35 km, pues debe trasladarse a 3 subsectores diferentes de la siguiente manera:

En el subsector de Quebrada Ganado (Figura 5.8), la mayor parte de la ruta se realiza con el método lineal (peine), abarca 30,6 km y toma 7 horas completar el circuito de este subsector. En términos de maniobras viales peligrosas, en total el camión realiza 2,18 km en reversa. Debido a la cercanía entre los puntos de recolección la velocidad promedio es de 4,37 km/h.

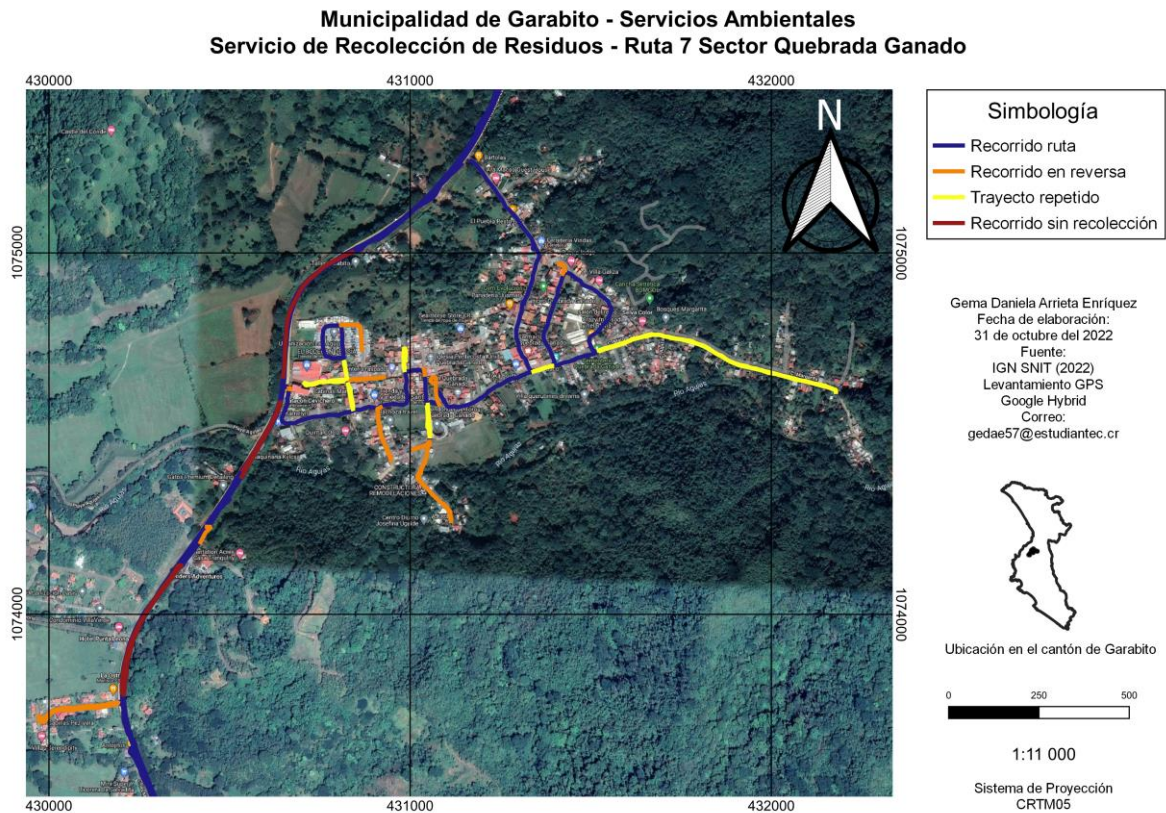


Figura 5.8. Mapa de la ruta de recolección 7 en el subsector de Quebrada Ganado (1). (Elaboración propia).

El subsector Tárcoles (Figura 5.9) se caracteriza por brindar el servicio de recolección a viviendas y comercios ubicados a lo largo de la Ruta 34, abarca 19,32 km y toma 4 horas completar el circuito. Con respecto a la velocidad el camión, tiene una velocidad promedio de 4,83 km/h, sin embargo, en la Ruta 34 consigue velocidades máximas de 67 km/h.

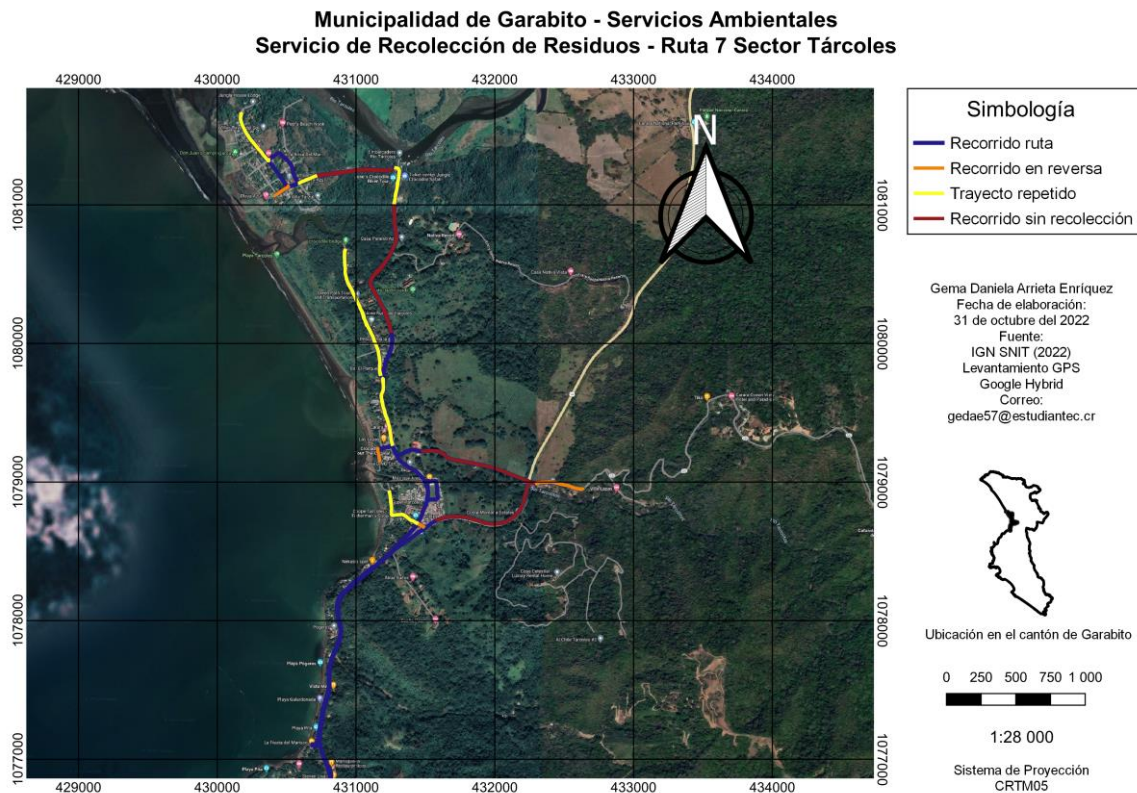


Figura 5.9. Mapa de la ruta de recolección 7 en el subsector de Tárcoles (2). (Elaboración propia).

El tercer sector de esta ruta, subsector Cristo Rey (Figura 5.10), comprende 2,55 km del recorrido total, se realiza en 1 hora. Abarca una zona residencial en su totalidad, donde se visualizaron dos realidades socio económicas diferentes, pues este recorrido recolecta los residuos del residencial Málaga, donde se utiliza un cuarto de residuos alejado de las viviendas de los usuarios y, el barrio de Cristo Rey donde se observó un alto grado de hacinamiento y un difícil acceso en carretera.

Municipalidad de Garabito - Servicios Ambientales
Servicio de Recolección de Residuos - Ruta 7 Sector Cristo Rey

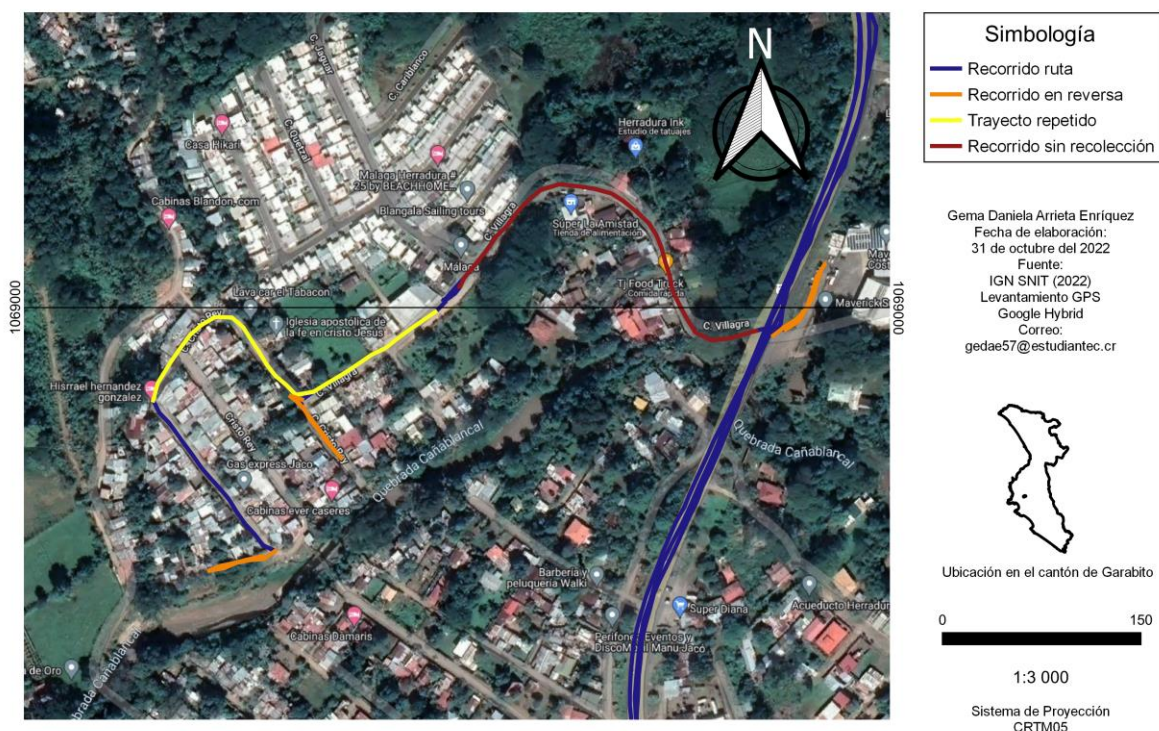


Figura 5.10. Mapa de la ruta de recolección 7 en el subsector de Cristo Rey (3). (Elaboración propia).

Por último, el camión recolector recibe la carga del vehículo de carga liviana GL07 (a la mitad del recorrido de la Ruta 8) y realiza 2 viajes de transferencia de residuos en la estación de transferencia ubicada en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos para entregar la carga a los equipos de transporte de EBI.

Ruta 8 Quebrada Ganado, Tárcoles y Punta Leona.

La Ruta 8 (Figura 5.11) es la segunda más extensa ya que abarca 39,01 km de recorrido total, de los cuales 17,73 km no cuentan con un solo punto de recolección con una velocidad media de 4,88 km/h. Los subsectores se caracterizan por ser principalmente residenciales o con zonas plenamente turísticas y comercios asociados al mismo fin.

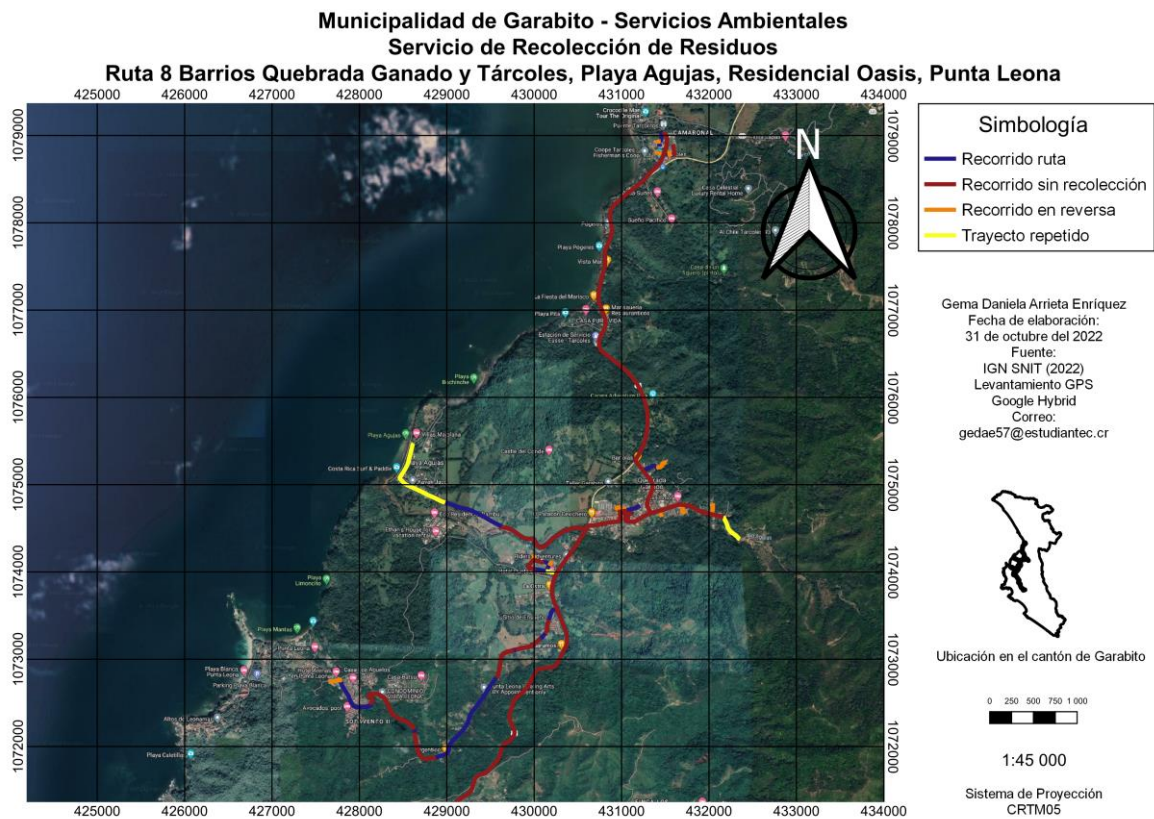


Figura 5.11. Mapa de la ruta de recolección 8 en los subsectores de Quebrada Ganado (1), Tárcoles (2), Playa Agujas y Residencial Oasis (3) y Punta Leona (4). (Elaboración propia).

La mayor parte de la ruta se realiza con el método lineal (peine), toma 8 horas completar el circuito completo. Este recorrido se realiza 2 veces por semana: los martes y jueves. Se recolecta más de 6 toneladas, por lo que el servicio es dado por el vehículo de carga liviana GL07 marca ISUZU NQR y durante el tiempo de trabajo deben realizar dos transferencias de residuos, una al camión recolector GR10 y la otra al regresar a la estación de transferencia ubicada en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos de Garabito.

a. Ruta 9 Herradura.

La ruta descrita en la Figura 5.12 se caracteriza por abarcar zonas comerciales, turísticas y residenciales, tiene 31,47 km de recorrido total, de los cuales en 13,93 km no brindan el servicio a ningún punto de recolección.

Este recorrido tiene dos escenarios ya que abarca 25,44 kilómetros sin paradas con una duración de 3,5 h, por lo que mantiene una velocidad media de 7,27 km/h y una máxima de 20,46 km/h. En los sectores más residenciales la frecuencia de frenado aumenta y su velocidad promedio disminuye entre 2,18 a 1,57 km/h.

Municipalidad de Garabito - Servicios Ambientales
Servicio de Recolección de Residuos - Ruta 9 Villa Caletas Herradura

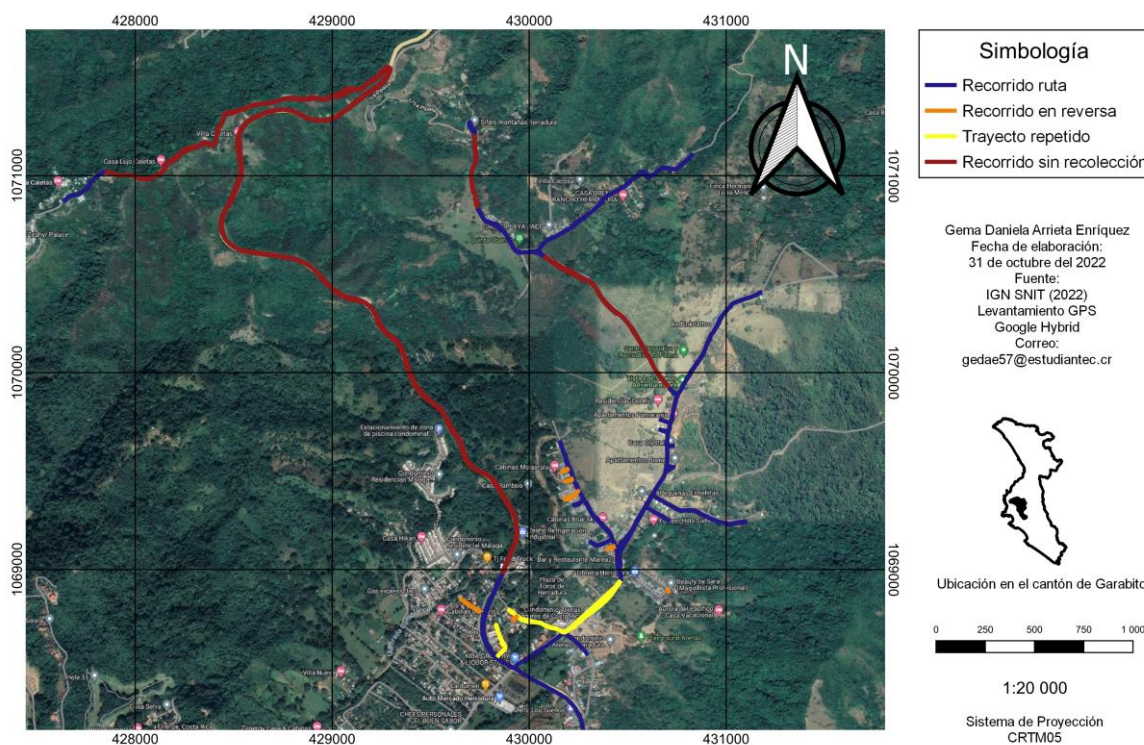


Figura 5.12. Mapa de la ruta de recolección 9 en el sector de Herradura. (Elaboración propia).

La mayor parte de la ruta se realiza con el método lineal (peine) y toma 7 horas completar el circuito completo y en general mantiene una velocidad promedio de 4,50 km/h. Este recorrido se realiza 2 veces por semana: los martes y jueves.

Por último, se recolectan 3 toneladas de residuos por día, este servicio es brindado por el vehículo de carga liviana GL09 marca DAIHATSU DELTA.

b. Ruta 10 Bijagual.

La ruta descrita en la Figura 5.13 se caracteriza por zonas residenciales y pequeños sectores turísticos, por lo que el recorrido se realiza a una velocidad media de 13,58 km/h, esto se debe al desplazamiento extenso entre puntos de recolección.

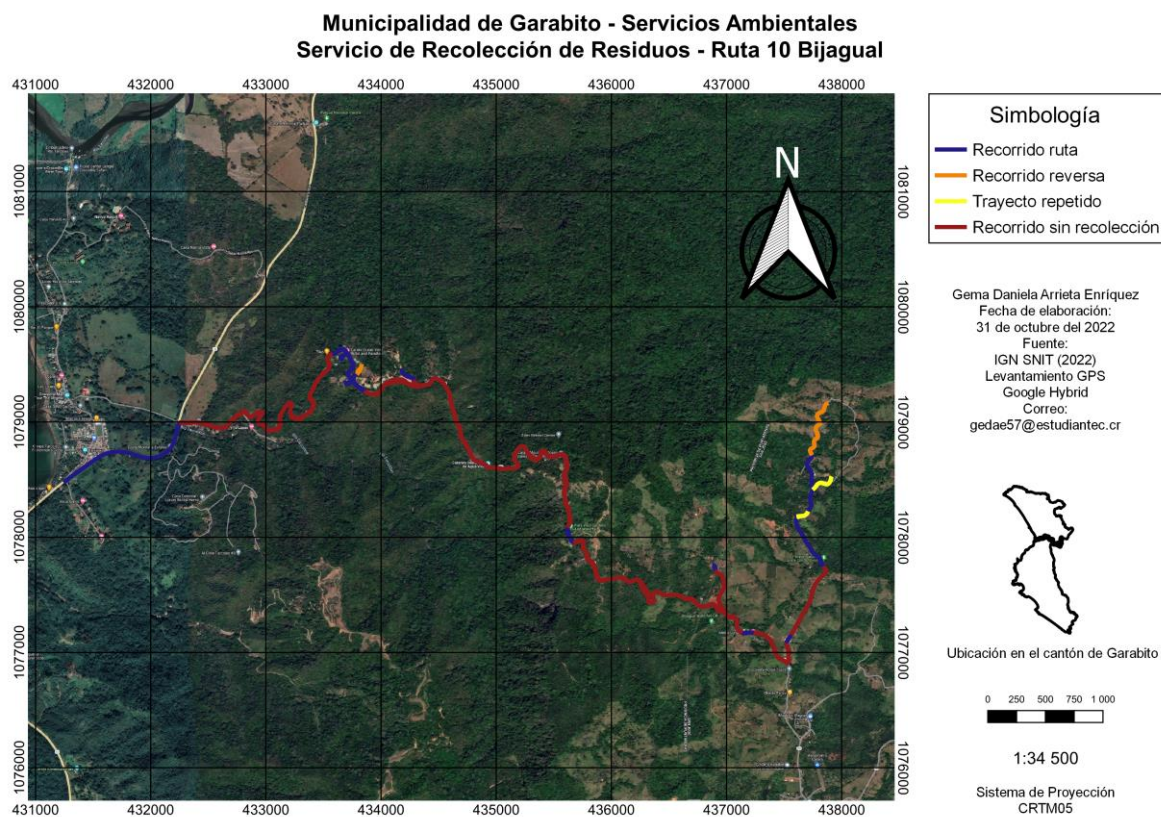


Figura 5.13. Mapa de la ruta de recolección 10 en el sector de Bijagual. (Elaboración propia).

La mayor parte de la ruta se realiza con el método lineal (peine), toma 2 horas completar el circuito completo y abarca 27,16 km, de los cuales 18,92 km no tienen puntos de recolección. Este recorrido se realiza 1 vez por semana, el sábado, y se recolectan alrededor de 2 toneladas, por lo que el servicio es dado por el vehículo de carga liviana GL09 marca DAIHATSU DELTA.

5.1.1 Desafíos y fortalezas

Las 10 rutas de recolección distribuidas por todo el cantón de Garabito enfrentan desafíos logísticos similares. Entre las problemáticas que se visualizaron en las visitas de campo se encuentran:

- En las zonas con una alta densidad poblacional residencial los residuos se acumulan en estañones o canastas de residuos ubicados en áreas verdes expuestas a agentes ambientales externos, provocando la dispersión de los residuos.
- Las velocidades medias obtenidas en las rutas son muy bajas (inferiores a 30 km/h), esto se debe a la cercanía que hay entre los puntos de recolección y a las técnicas de disposición de los usuarios, ya que estos colocan sus residuos en bolsas plásticas

directamente en la acera o calle, colgadas de rejas, en contenedores de metal, en canastas o en estañones plásticos (ver Apéndice 4).

- Se visualizaron puntos de recolección con alta presencia de vectores de enfermedades como ratones y zopilotes, así como animales de granja y anfibios.
- El sistema no mantiene registros definidos de seguimiento como el gasto de combustible, índice de accidentes, reportes de quejas, tiempos de descanso y lugares de descanso.
- Los recorridos abarcan 48 km de la Ruta 34, la cual es una carretera principal con un alto flujo vehicular y esto pone en riesgo la seguridad de los recolectores al tener que cruzar la calle cargando residuos o maniobrando en un patrón en zigzag.
- En las zonas residenciales existe un difícil acceso por la presencia de vehículos particulares estacionados, aumentando el riesgo de accidentes viales y pérdidas de tiempo.
- Existe una cultura de repaso muy presente, en la cual el camión recolector por ruta debe recorrer el mismo camino dos veces en algunas de las rutas y los ciudadanos dejan nuevamente residuos en la vía principal.
- El estado vial de las calles no es óptimo en la totalidad, el servicio se enfrenta a sectores con deslizamientos, calles en lastre, grandes pendientes y espacios estrechos (ver Apéndice 4).
- Conflictos con ciudadanos que buscan materiales reciclables entre los residuos destinados como no valorizables, dado que no se les permite recolectar residuos.

Por otro lado, fue posible determinar fortalezas del sistema durante la visita de campo, entre ellas:

- El nivel de capacitación en seguridad de los recolectores y conductores, tienen alta consciencia en prevención de accidentes laborales.
- Los colaboradores (conductores y recolectores) tienen como objetivo proporcionar un servicio integral y completo de recolección, utilizando herramientas como rastrillos y palas cuando sea necesario para asegurar la limpieza minuciosa del área y eliminar cualquier acumulación de residuos sólidos.
- Se visualiza una buena relación entre los recolectores y los ciudadanos del cantón, quienes les ofrecen obsequios, alimentos o bebidas refrescantes como muestra de

reconocimiento por su trabajo. Esta actitud positiva refleja el valor que la comunidad le otorga a su labor de limpieza y mantenimiento de la ciudad.

- En las zonas con mayor actividad turística los comercios y hoteles mantienen sus residuos en cuartos para residuos cerrados y esto mejora las condiciones de acumulación y recolección.

5.2 Entrevistas y encuestas

Con respecto a la encuesta aplicada en ambientes digitales se utilizaron cuatro perfiles de cuestionario: residente permanente, trabajador estacional, turista y representantes de comercios (ver Apéndice 3).

La participación fue de 20 respuestas totales, de las cuales 11 son representantes de residentes permanentes del cantón, 8 turistas, 1 representante comercial y ninguna persona como trabajadora estacional.

5.2.1 Residentes permanentes

Las familias encuestadas viven en las comunidades de Quebrada Seca, Jacó, Barrio Las Monas, Tárcoles, Punta Leona, Quebrada Ganado, Barrio Nuevo y Calle Sorayda Vásquez.

El promedio de habitantes por vivienda es de 3,8 personas, el 27,3% de los encuestados vive en unidades familiares de 3 o 4 personas.

Con respecto a la composición de los residuos sólidos reportados por los residentes se visualiza en la Figura 5.14 que, el 14,49% de los hogares descartan principalmente papel, plásticos y materia orgánica.

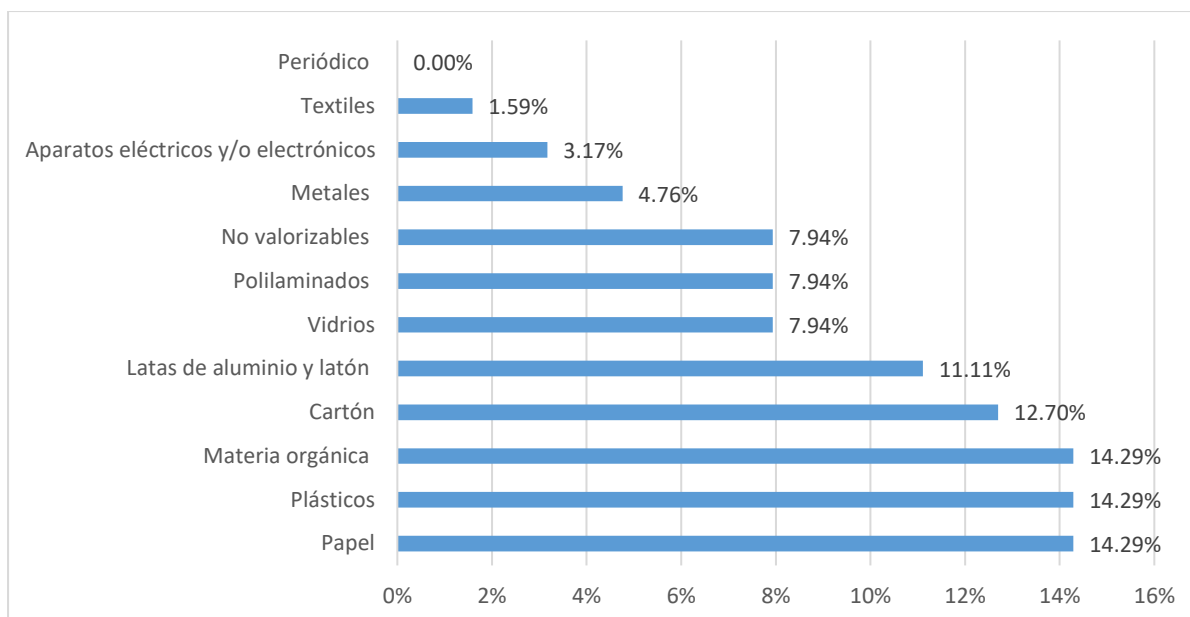


Figura 5.14. Composición de los residuos sólidos domiciliarios. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, 9 encuestados reportan que en sus comunidades reciben el servicio 2 veces por semana, pero solo 8 lo utilizan ambos días. Además, 2 mencionan que la frecuencia es de 3 veces por semana, pero solo 1 persona usa el servicio los 3 días.

Los usuarios han visualizado los siguientes desafíos en el servicio de recolección:

- Falta de frecuencia de recolección y un buen sistema de reciclado municipal.
- Ausencia de contenedores para separación de material reciclable.
- Irregularidades en el servicio.
- No se recolectan residuos de jardín como hojas.
- Falta de conciencia social ante el servicio.
- Ausencia de ruta de recolección para residuos orgánicos.

Con respecto al reciclaje de residuos valorizables 6 personas reportaron separar estos materiales en sus viviendas y utilizan el centro de acopio, campañas de reciclaje y al sector informal para disponer de estos residuos. El 63,6% de los residentes permanentes encuestados realizan compostaje en su vivienda.

5.2.2 Turistas

Los turistas encuestados se han hospedado en las comunidades de Jacó, Tárcoles, Playa Hermosa y Herradura. Entre los establecimientos donde se han alojado se encuentran Los

Sueños, Best Western Jacó, Apartamentos Costa Linda, Hotel Amapola, Selina Jacó y en casas particulares.

De las 8 respuestas obtenidas, 7 personas indican haber permanecido por un período entre 1 a 5 días en el cantón, solo el 50% pudo reconocer aspectos relacionados al servicio de recolección de residuos sólidos. Entre las principales percepciones se encuentran que:

- Las playas no se mantienen limpias
- Mal olor en las calles
- Los residuos permanecen mucho tiempo en las calles
- Presencia de animales (roedores, zopilotes, mapaches, entre otros)

Sin embargo, 2 de 8 turistas indican que las playas sí se mantienen limpias.

Según las respuestas de los encuestados, se destacan dos escenarios con respecto al papel de los turistas como habitantes flotantes del cantón, se desglosan en el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.3. Percepción de los turistas como habitantes flotantes del cantón de Garabito y su papel en la gestión de residuos sólidos.

No afecta	Sí afecta
<ul style="list-style-type: none">• Porque como turistas descartan los residuos en los contenedores asignados.• Porque debería existir un protocolo de recolección en cada distrito que los tome en cuenta.• Su estancia no altera la cantidad de abonados del servicio.	<ul style="list-style-type: none">• Porque el turismo representa una actividad importante en la zona y eleva la generación de residuos.• Porque aumenta la cantidad de residuos que deben ser gestionados en el cantón.

5.2.3 Comercios

Con respecto a los comercios solo 1 representante del sector respondió a la encuesta, este se dedica al hospedaje y recreación y se ubica en la comunidad de Jacó. La persona encuestada es el administrador y trabaja con 8 colaboradores.

Sus residuos están compuestos por papel, cartón, vidrio, aluminio, plástico, materia orgánica, metales, aparatos eléctricos y electrónicos, polilaminados y no valorizables. De los cuales se separan los materiales reciclables y se entregan al centro de acopio o recicladores informales, en el caso de la materia orgánica también se realiza compostaje.

Con respecto al servicio de recolección de residuos ordinarios lo utilizan 3 veces por semana. Entre los cuidados de preparación de los residuos el comercio aplica los siguientes:

- Disponer los residuos de vidrio envueltos en cartón.
- Utilizar canastas para colocación de los residuos
- Disponer los residuos en 2 o más bolsas plásticas.
- Separar el aluminio y vidrio, se lo entregan a recicladores informales.

Por último, el representante considera que el servicio en general es bueno, sin embargo, indica afectaciones por ineficiencias administrativas por parte de la Municipalidad y esto genera problemas de control y seguimiento, haciendo mención del período de 2 meses en el que no se brindó el servicio debido a falta de pago a la empresa GIRMO por parte del gobierno local.

5.2.4 Entrevista a recolectores y chóferes

En el caso de los trabajadores la totalidad de la planilla (5 chóferes y 9 recolectores) respondieron las preguntas semi estructuradas (Apéndice 1) y se obtuvo las siguientes respuestas:

Tiempo laborado

2 recolectores han trabajado con la empresa GIRMO en otras municipalidades y servicios, por lo que tienen entre 4 y 2 años de formar parte de este servicio. Por otro lado, el resto han laborado entre 8 meses y 15 días, únicamente en la Municipalidad de Garabito.

Proceso de adaptación y experiencia como recolectores

Todos indicaron que lo más difícil de adaptarse a este tipo de trabajo es la exposición a los malos olores, especialmente durante el primer mes. Además, mencionan que es complicado superar el desgaste físico y la sensación de suciedad permanente en el cuerpo. Por último, mencionaron que otro proceso de adaptación es el desarrollar una conciencia de prevenir accidentes laborales.

Desafíos y complicaciones del trabajo

Entre los principales desafíos que se encuentran en sus rutas es el poco cuidado de los ciudadanos con los residuos que descartan, entre las situaciones que se han topado están:

- Animales.
- Bolsas sueltas.
- Agujas o vidrios mal gestionados.
- Piedras que rompen las bolsas y aumentan el peso.
- Residuos dispersos alrededor de las canastas de acumulación.
- La presencia de automóviles y camiones estacionados en zonas de recolección.
- Problemáticas con las personas que buscan materiales valorizables en las bolsas de residuos.

Todos consideran que los estañones de plástico resuelven varias problemáticas de acumulación de residuos, sin embargo, también aumentan el tiempo de recolección en un solo punto. Otras dificultades presentes en su trabajo inician en la época lluviosa, ya que trabajan sin capas, el agua aumenta el peso de las bolsas e inunda los contenedores.

Los colaborados que usan el vehículo de carga liviana GL07 indican que la estructura del camión les genera dificultades en la recolección de residuos sólidos, ya que llega un momento donde deben lanzar las bolsas o subirse al techo del equipo para acomodar el espacio.

Ellos comentaban que los guantes no son de la mejor calidad y tienen una vida útil de aproximadamente 1 mes. Por otro lado, tampoco utilizan los zapatos de seguridad que la empresa GIRMO les ofrece, ya que estos son muy pesados y dificultan la movilidad en su trabajo y genera un mayor cansancio.

Mejoras al sistema

A nivel de salud ocupacional el tener un mayor acceso a agua potable al largo del día y mejores herramientas de seguridad (especialmente los guantes). Recibir un proceso de formación más integral e informativo del tipo de trabajo y los cuidados que deben tener. Brindar educación a los usuarios para mejorar la actitud de la ciudadanía de los recolectores.

Colocar más basureros tipo estañones, contenedores o cuartos de residuos en sitios estratégicos que minimicen el ingreso a barrios de difícil acceso o con alta densidad poblacional. Identificar los puntos de recolección más afectados por la presencia de automóviles.

5.3 Análisis estadístico de kilogramos residuos recolectados

En esta sección se procede a describir los resultados obtenidos del análisis estadístico de los tonelajes diarios del sistema de recolección de residuos sólidos ordinarios del cantón de Garabito.

En la Figura 5.15 se visualiza el resultado de modelar el comportamiento de los residuos en el tiempo. En un análisis visual se identifica una tendencia a una serie no estacionaria, por la presencia de un componente cíclico estacional, ya que se visualiza una repetición en el tiempo de los niveles máximos y mínimos.

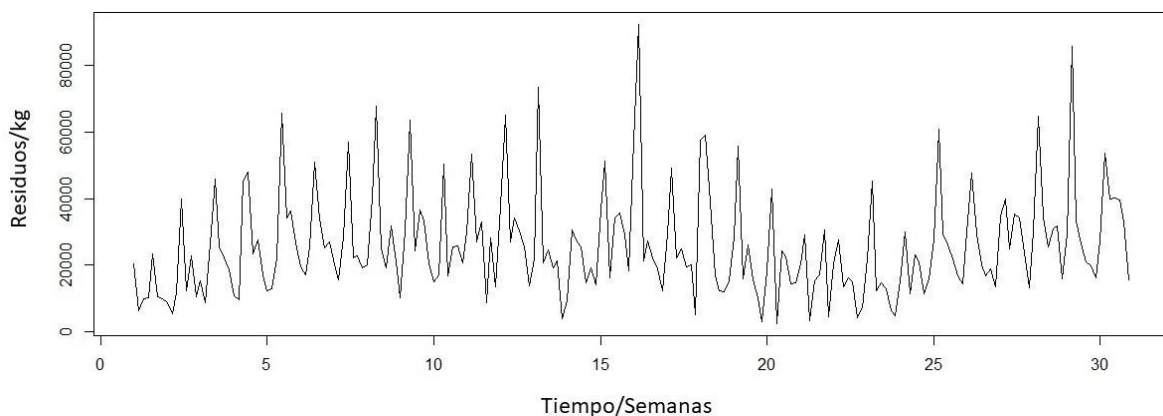


Figura 5.15. Gráfica de series en el tiempo de los kilogramos de residuos sólidos recolectados entre el 1 de enero al 31 de julio del 2022 en escala de tiempo en número de semanas. Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar la estacionalidad de la serie se aplicó la prueba de Dickey-Fuller, con la cual se acepta la hipótesis alternativa de “estacionalidad” con un p-value $< \alpha$, $\alpha=0,05$):

Augmented Dickey-Fuller Test

data: tonelaje_ts

Dickey-Fuller = -5.1129, Lag order = 5, p-value = 0.01

alternative hypothesis: stationary

Esto permite determinar que la cantidad de residuos sólidos recolectados por la municipalidad no cambia significativamente en el tiempo y tiene la ausencia de tendencia o comportamientos cíclicos completamente definidos.

Sin embargo, el ajuste anterior no generaba un ajuste ideal, por lo que se aplicó un análisis de autocorrelación y se detectó la presencia de un patrón sistemático a intervalos de 7 días

aproximadamente (Figura 5.16). Esto significa que cada semana se recolecta una cantidad promedio similar de residuos sólidos municipales totales, la cual es aproximadamente de 174,81 t, con un máximo de 268,04 t.

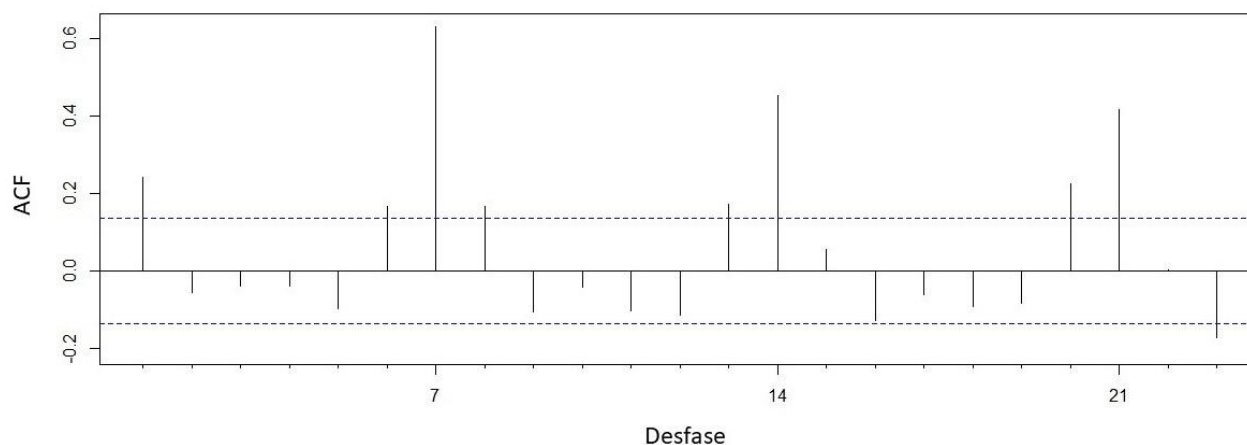


Figura 5.16. Coeficientes de autocorrelación para retrasos $k = 1 - 23$ días. Cada observación es diaria por lo que la autocorrelación de retraso 7 indica un ciclo de 7 días (1 semana). Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 5.4 se presentan la distribución semanal de los residuos sólidos recolectados y se puede identificar que las semanas que tienen una recolección inferior al promedio están localizadas en meses donde no se presenta alguna festividad o vacaciones.

Cuadro 5.4. Distribución de menor a mayores kilogramos de residuos sólidos recolectados semanalmente en el período del 1 enero al 31 julio 2022 (Elaboración propia).

Inicio	Final	Total
30/07/2022	31/07/2022	48 430
01/01/2022	07/01/2022	90 490
08/01/2022	14/01/2022	110 820
11/06/2022	17/06/2022	111 320
21/05/2022	27/05/2022	113 830
04/06/2022	10/06/2022	118 130
14/05/2022	20/05/2022	123 550
28/05/2022	03/06/2022	127 510
02/04/2022	08/04/2022	131 880
15/01/2022	21/01/2022	162 300
07/05/2022	13/05/2022	169 390
05/03/2022	11/03/2022	170 760
12/03/2022	18/03/2022	172 780
25/06/2022	01/07/2022	175 180
23/04/2022	29/04/2022	176 220

Continuación Cuadro 5.4

Inicio	Final	Total (t)
22/01/2022	28/01/2022	181 200
12/02/2022	18/02/2022	186 850
18/06/2022	24/06/2022	192 867
26/03/2022	01/04/2022	198 870
05/02/2022	11/02/2022	198 990
02/07/2022	08/07/2022	201 130
19/02/2022	25/02/2022	203 770
09/04/2022	15/04/2022	207 380
30/04/2022	06/05/2022	209 600
29/01/2022	04/02/2022	210 270
26/02/2022	04/03/2022	219 410
09/07/2022	15/07/2022	222 520
19/03/2022	25/03/2022	236 120
23/07/2022	29/07/2022	236 160
16/07/2022	22/07/2022	243 590
16/04/2022	22/04/2022	268 040
30/07/2022	31/07/2022	48 430
01/01/2022	07/01/2022	90 490
08/01/2022	14/01/2022	110 820
11/06/2022	17/06/2022	111 320
Total		6 591 827

Por otro lado, en el Cuadro 5.4 se visualiza que las semanas que recolectan una cantidad de residuos mayor al promedio fueron las fechas intercaladas con feriados y vacaciones del sector público, como, la semana santa desde el 09 abril al 17 de abril del 2022 y las vacaciones del Ministerio de Educación Pública del 02 julio hasta el 15 julio del 2022.

Por último, en la Figura 5.17 se presenta la caracterización de la serie en el tiempo para los residuos recolectados.

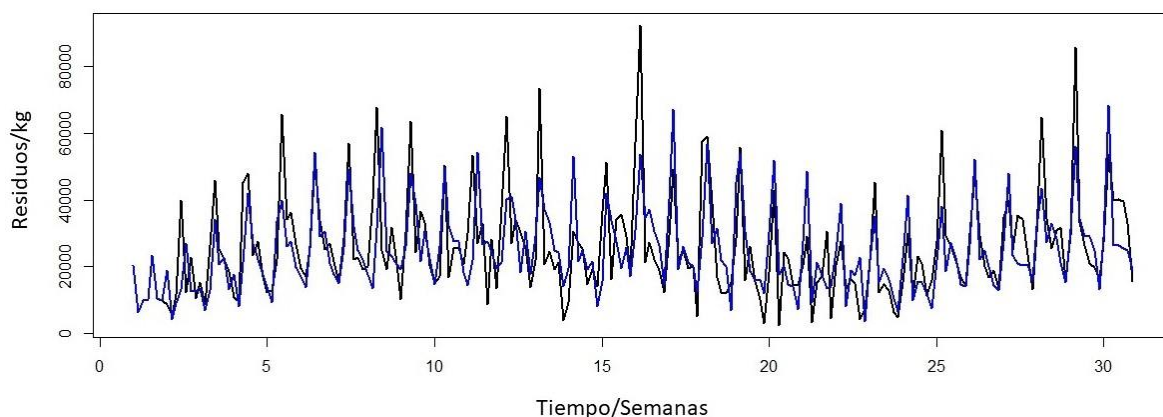


Figura 5.17. Modelo ARIMA para los kilogramos de residuos sólidos recolectados entre el 1 de enero al 31 de julio del 2022 en escala de tiempo en número de semanas. Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas de verificación determinaron que el modelo de regresión ARIMA es adecuado para la variable, pues los residuos estadísticos son independientes (aleatorios), tienen un promedio de 0 y cumplen con una distribución normal (ver Apéndice 5). Por lo que, se afirma que la línea de ajuste (Figura 5.17) se adapta correctamente a los datos originales y se obtiene un modelo apto para realizar pronósticos de las variables (Figura 5.18).

Esto significa que los resultados obtenidos en la Figura 5.16 estadísticamente son confiables y que el patrón semanal puede ser representado por el modelo ARIMA y nos permite aprovechar las herramientas de pronósticos para evaluar el comportamiento de los residuos recolectados en un período de tiempo semanal.

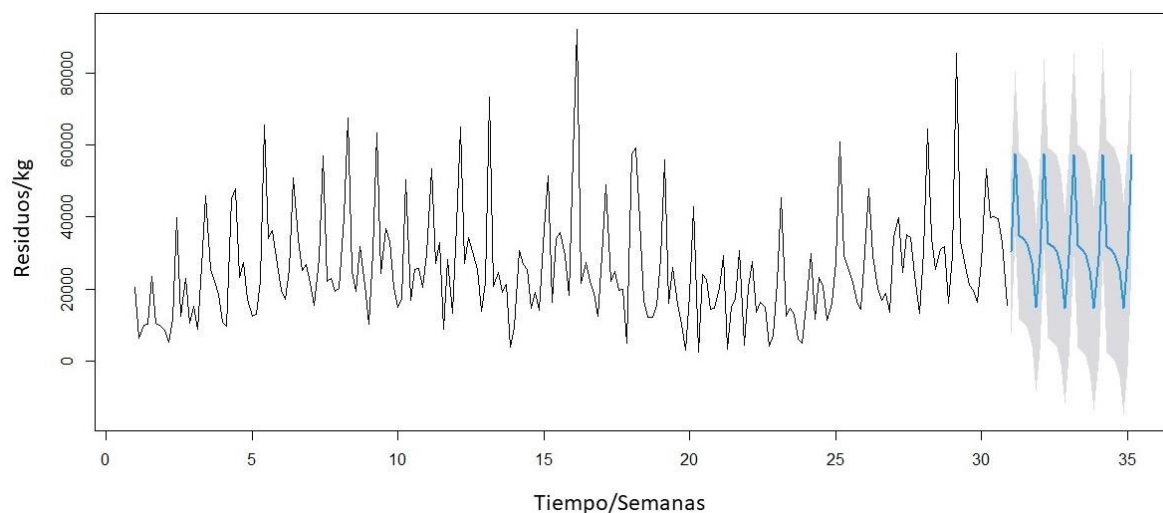


Figura 5.18. Estimación de los kilogramos de residuos sólidos recolectados después del 31 de julio 2022. Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar la funcionalidad de la herramienta, se realizó un pronóstico de recolección de residuos de 4 semanas (31 días) del 01 al 31 de agosto 2022. En la Figura 5.18 se observa el ámbito de predicción al 95% de confianza. En el Cuadro 5.5 se encuentran los resultados con

las fechas y un porcentaje de error con respecto a los kilogramos reales recolectados (datos obtenidos de las visitas de campo realizadas). Se observa en este mismo cuadro que las predicciones tienen un porcentaje de error promedio de 16%. Los intervalos de confianza se encuentran en el Apéndice 5.

Cuadro 5.5. Resultado de la predicción de los residuos sólidos en kilogramos para las 4 semanas del mes de agosto del 2022 y comparación con los resultados reales.

Fecha	kg real	kg predicciones	Diferencia	% error
01/08/2022	53 310	30 283,3	83 593,30	43%
02/08/2022	73 840	57 511,47	131 351,47	22%
03/08/2022	24 100	34 856,26	58 956,26	-45%
04/08/2022	41 100	33 909,79	75 009,79	17%
05/08/2022	32 900	32 619,6	65 519,60	1%
06/08/2022	30 370	27 490,69	57 860,69	9%
07/08/2022	20 400	14 931,95	35 331,95	27%
08/08/2022	41 130	29 512,48	70 642,48	28%
09/08/2022	75 940	57 513,91	133 453,91	24%
10/08/2022	27 260	32 742,28	60 002,28	-20%
11/08/2022	46 210	3 1697,2	77 907,20	31%
12/08/2022	38 640	30 326,63	68 966,63	22%
13/08/2022	32 690	25 751,4	58 441,40	21%
14/08/2022	16 310	14 625	30 935,00	10%
15/08/2022	40 080	29 195,9	69 275,90	27%
16/08/2022	80 600	57 445,52	138 045,52	29%
17/08/2022	29 270	32 108,38	61 378,38	-10%
18/08/2022	43 630	31 051,06	74 681,06	29%
19/08/2022	32 280	29 668,39	61 948,39	8%
20/08/2022	30 050	25 253,88	55 303,88	16%
21/08/2022	15 910	14 530,1	30 440,10	9%
22/08/2022	36 450	29 101,45	65 551,45	20%
23/08/2022	83 670	57 422,15	141 092,15	31%
24/08/2022	23 920	31 929,31	55 849,31	-33%
25/08/2022	34 200	30 869,55	65 069,55	10%
26/08/2022	28 830	29 484,17	58 314,17	-2%
29/08/2022	39 890	25 114,75	65 004,75	37%
30/08/2022	67 480	14 503,12	81 983,12	79%
31/08/2022	38 990	29 074,79	68 064,79	25%
Total	1 179 450	920 524,48		

5.4 Indicadores de desempeño

Se realizó un diagnóstico al sistema de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad de Garabito en un período de tiempo definido entre el 01 de enero del 2022 hasta el 31 de julio del 2022 y con base a estas observaciones, experiencias y resultados obtenidos en la Sección 5.1 de este documento se definieron los siguientes indicadores que permitirán evaluar el servicio continuamente, es decir será la línea base para futuros análisis (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.6. Propuesta de indicadores de desempeño identificados para el sistema de recolección de residuos sólidos de la Municipalidad de Garabito.

Indicador	Unidades
Cantidad de residuos sólidos recolectados por cada vehículo semanalmente.	kg residuos / semanal / vehículo
Rendimiento de recolección diario por kilómetro recorridos en cada ruta.	kg residuos / diario / km
Rendimiento de recolección diario por hora en cada ruta.	kg residuos / diario / duración (Horas)

Para poder calcular el indicador de la cantidad de residuos recolectada por cada vehículo a la semana, se utilizó como variable independiente el total de residuos pesados por cada unidad en la estación de pesaje ubicada en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos de la Municipalidad de Garabito (Cuadro 5.7). Se seleccionó mantener esta metodología, ya que, a nivel operativo las unidades pequeñas, en ocasiones, hacen transferencia de residuos a las unidades compactadoras sin pesar los residuos previamente, lo que dificulta el seguimiento por ruta establecida.

Con los datos obtenidos en el diagnóstico, se calcularon los siguientes resultados al aplicar los indicadores propuestos para el periodo base entre el 01 enero 2022 al 31 de julio 2022.

Cuadro 5.7. Cantidad de residuos sólidos recolectados por cada vehículo semanalmente en el período del 1 enero al 31 julio 2022 (Elaboración propia).

Fecha		kg/semana					Total
Inicio	Final	GL07	GR10	GR09	GR11	GL09	
01/01/2022	07/01/2022		33 060	14 070	43 360		90 490
08/01/2022	14/01/2022	9 700	60 370	18 300	22 450		110 820
15/01/2022	21/01/2022	5 480	66 930	83 140	6 750		162 300
22/01/2022	28/01/2022	20 360	56 800	63 820	40 220		181 200
29/01/2022	04/02/2022	24 940	74 630	73 220	37 480		210 270
05/02/2022	11/02/2022	25 110	67 960	64 610	41 310		198 990
12/02/2022	18/02/2022	20 530	80 930	85 390			186 850
19/02/2022	25/02/2022	18 970	74 560	54 470	55 770		203 770
26/02/2022	04/03/2022	18 270	65 520	67 910	60 740	6 970	219 410
05/03/2022	11/03/2022	17 710	18 390	67 570	53 130	13 960	170 760
12/03/2022	18/03/2022	17 320	14 360	73 770	50 730	16 600	172 780
19/03/2022	25/03/2022	11 510	70 660	66 900	74 360	12 690	236 120
26/03/2022	01/04/2022	13 540	80 740	32 810	59 070	12 710	198 870
02/04/2022	08/04/2022	16 290	56 120		46 720	12 750	131 880
09/04/2022	15/04/2022	20 730	57 590	46 880	68 100	14 080	207 380
16/04/2022	22/04/2022	20 630	77 080	77 280	76 690	16 360	268 040
23/04/2022	29/04/2022	21 170	70 160		72 970	11 920	176 220
30/04/2022	06/05/2022	25 750	65 940		101 180	16 730	209 600
07/05/2022	13/05/2022	23 010	54 820		74 740	16 820	169 390
14/05/2022	20/05/2022	22 140	32 140		55 140	14 130	123 550
21/05/2022	27/05/2022	17 660	4 420		71 230	20 520	113 830
28/05/2022	03/06/2022	22 510	10 250		79 070	15 680	127 510
04/06/2022	10/06/2022	26 010	33 290		48 630	10 200	118 130
11/06/2022	17/06/2022	26 400	72 780		6 420	5 720	111 320
18/06/2022	24/06/2022	17 917	32 760	59 760	60 860	21 570	192 867

Continuación Cuadro 5.7

Inicio	Final	GL07	GR10	GR09	GR11	GL09	Total
25/06/2022	01/07/2022	29 510	79 030	22 840	34 800	9 000	175 180
02/07/2022	08/07/2022	27 680	81 780	5 750	64 430	21 490	201 130
09/07/2022	15/07/2022	21 770	89 010	3 300	90 970	17 470	222 520
16/07/2022	22/07/2022	21 850	93 120	82 790	26 440	19 390	243 590
23/07/2022	29/07/2022	22 090	81 480	80 990	22 540	29 060	236 160
30/07/2022	31/07/2022	5 030	10 170	11 900	19 900	1 430	48 430
Total		591 587	1 766 850	1 157 470	1 566 200	337 250	5 419 357
límite inferior		16445,55	43091,03	34711,79	39271,51	10964,74	
límite superior		22993,58	70899,29	70512,76	65141,83	18361,35	

Los datos tabulados en el Cuadro 5.7 se utilizaron como línea base para calcular límites de control para los kilogramos recolectados semanalmente por cada vehículo recolector y obtener un límite inferior y superior para esta variable.

Para los indicadores propuestos de rendimiento diario por kilómetro (Cuadro 5.8) y rendimiento diario por hora (Cuadro 5.9), se consideraron los residuos recolectados por cada vehículo en cada ruta, sin embargo, de los datos semestrales brindados por la Municipalidad de Garabito no es posible identificar y asegurar que ruta realizó cada camión en este período de tiempo. Debido a que existe un alto grado de incertidumbre, los datos del peso utilizados para estos cálculos son los obtenidos en las visitas de campo realizadas entre el 09 de agosto 2022 al 19 de agosto de 2022 (ver Apéndice 6).

Igualmente, se utilizan estos datos como línea base para el cálculo de límites de control de estos indicadores, es importante realizar un seguimiento constante de estos rendimientos de recolección y recalculer los límites de control si es necesario. Esto permitirá detectar rápidamente cualquier desviación significativa y tomar medidas para corregirlas.

Cuadro 5.8. Rendimiento de recolección diario por kilómetros recorridos en cada ruta.

Fecha	Ruta	kg recolectados	Km recorridos	Rendimiento (kg/km)	Superior (kg/km)	Inferior (kg/km)
09/08/2022	Ruta 7	25 230	75,35	334,84		
10/08/2022	Ruta 1	11 360	32	355,00		
11/08/2022	Ruta 8	6 670	17,73	376,20		
12/08/2022	Ruta 2	16 770	26	645,00		
13/08/2022	Ruta 10	1 740	21,16	82,23	470,32	97,36
16/08/2022	Ruta 9	11 480	31,47	364,79		
17/08/2022	Ruta 4	4 220	37	114,05		
18/08/2022	Ruta 5	10 460	46	227,39		
19/08/2022	Ruta 3	6 770	123	55,04		

Cuadro 5.9. Rendimiento de recolección diario por horas en cada ruta.

Fecha	Ruta	kg recolectados	Horas	Indicador kg/horas	Límites de control Superior	Inferior
09/08/2022	Ruta 7	25 230	11	2 293,64		
10/08/2022	Ruta 1	11 360	7	1 622,86		
11/08/2022	Ruta 8	6 670	8	833,75		
12/08/2022	Ruta 2	16 770	5	3 354,00		
13/08/2022	Ruta 10	1 740	2	870,00	2 420,73	657,53
16/08/2022	Ruta 9	11 480	7	1 640,00		
17/08/2022	Ruta 4	4 220	8	527,50		
18/08/2022	Ruta 5	10 460	6	1 743,33		
19/08/2022	Ruta 3	6 770	7	967,14		

Por último, Guerrero y Erbiti (2004), plantean el uso de indicadores de riesgo e incertidumbre como el riesgo de accidentes de recolectores. También, ProDUS-UCR (2016) recomienda mantener registros del consumo de combustibles para utilizarlo como un indicador de referencia. Actualmente tanto la Municipalidad como la empresa GIRMO no cuentan con herramientas de registro que permitan administrar esta información, por esta razón no fue posible aplicar estas propuestas.

5.5 Oportunidades de mejora del sistema actual

En este capítulo se presentarán las propuestas de mejora a partir del análisis del diagnóstico y evaluación de las secciones anteriores.

5.5.1 Flotilla vehicular

El mantenimiento de la flotilla vehicular es imprescindible a la hora de garantizar que durante su uso el equipo no falle y se pueda mantener su disponibilidad (Trujillo, 2022).

Según los resultados del diagnóstico, todas las unidades de la flotilla vehicular que pertenece a la empresa subcontratada GIRMO superan la vida útil recomendada, ya que estos vehículos bien operados y con un mantenimiento adecuado alcanzan una vida útil entre 5 a 7 años (Empresa Pública Municipal Gestión Integral de Desechos Sólidos [EPM-GIDSA], 2014), por lo que se sugiere añadir un criterio de evaluación en la Municipalidad donde se tome en cuenta este rubro en futuras contrataciones.

Además, recomiendan las siguientes medidas:

1. Implementación de una estrategia de mantenimiento basada en la condición de los vehículos

Desarrollar e implementar una estrategia de mantenimiento dependiente de la disponibilidad, fiabilidad, costo, mantenimiento, vida útil y seguridad de los equipos (Trujillo, 2022). Esto, ya que, en la visita de campo, se observó que las unidades de recolección se encuentran muy limitadas y el fallo mecánico de alguna de ellas provoca atrasos en el servicio de recolección, la necesidad de trabajar más horas extras y aumenta la posibilidad de reducir el alcance del servicio de recolección en el cantón de Garabito.

Jesús (2020) comenta que una estrategia condicional (proactiva) permite intervenir en los equipos por periodos de tiempo naturales o un contador (horas de funcionamiento, kilómetros recorridos, piezas o unidades producidas) para lograr anticiparse al fallo, lo que significa sustituir determinados elementos antes de que su degradación sea máxima.

2. Adquisición de vehículo

Debido al amplio alcance en kilómetros que abarca el sistema de recolección y a la cantidad de horas laboradas cada día se recomienda la adquisición o incorporación en el sistema, por parte de la empresa GIRMO, de un vehículo compactador adicional a la flotilla vehicular

actual. Con el fin de que se encuentre disponible para dar soporte durante los martes y jueves, especialmente a la Ruta 7. En caso de no ser posible debido a los términos del contrato existente con la Municipalidad, se recomienda tomar en cuenta esta consideración para futuras contrataciones.

3. Operativas

Entre los desafíos encontrados en el diagnóstico, se obtuvo que el sistema no mantiene parámetros de seguimiento definidos, entre ellos los relacionados a los espacios físicos y tiempo de descansos de los equipos recolectores. Los colaboradores tienen contemplado 15 minutos (min) de desayuno, 30 min de almuerzo y 15 min de espacio de café. Por esta razón, en el Cuadro 5.10, se sugiere una distribución de las horas y sitios elaborado con base a lo observado en las visitas de campo. Por esta razón, en el Cuadro 5.10, se sugiere una distribución de las horas y sitios elaborado con base a lo observado en la visita de campo.

Por otro lado, con respecto a los espacios y horarios de descanso, los colaboradores tienen contemplado 15 minutos (min) de desayuno, 30 min de almuerzo y 15 min de espacio de café.

Otro desafío identificado fue que las velocidades medias son muy bajas debido a la cercanía entre los puntos de recolección, recorridos en reversa y la cultura de repaso en vías. Por lo que, se recomiendan las siguientes acciones para disminuir estos aspectos:

- En las Rutas 1 y 2, que abarcan la cabecera del distrito de Jacó, se recorren 20 calles en reversa, por lo que se recomienda la instalación de contenedores de residuos para las residencias alrededor de Calle el Invu y los comercios ubicados en Calle Cocal. Esto permitiría reducir el número de calles a 16 recorridos en reversa.
- En la mayoría de las rutas se obtienen un alto rango de kilómetros donde no se realiza recolección de residuos sólidos, por esta razón se propone la realización de capacitaciones de conducción eficiente y sostenible a los chóferes. Con el fin de brindarles herramientas para obtener el mejor rendimiento en esos kilómetros.

Cuadro 5.10. Distribución de horas y espacios de descanso de los trabajadores del servicio de recolección de residuos municipales.

Ruta	Horas de Trabajo	Cantidad de personas por cuadrilla*	Sitios recomendados
1	5:00 am – 12:00 md	4	1.Avenida Pastor Díaz al final de la calle, después del restaurante El Manglar las 7:00 am, receso 30 min 2. Calle Camboya 12:00 md, Horse Back Ridding Jacó, 30 min almuerzo.
2	5:00 am – 12:00 md	3	1.Parque Ambiental de Residuos Sólidos, 9:30 am, 30 min descanso 2. Parque Ambiental de Residuos Sólidos, 12:00 md, 30 min almuerzo.
3	5:00 am – 12:00 md	3	1.espacio el río, Rancho Flor de Liz, 30 min, 8:30 am. 2. Almuerzo, escuela de Bajamar, 11:30, 1 hora descanso
4	5:00 am – 2:00 pm	3	1.Residencial F&M, 9:30 am, 30 min 2. Parque Ambiental de Residuos, 30 min,1:30 pm
5	8:00 am – 3:00 pm	3	1.Receso, 1 h en Playa Hermosa, punto final, 12:00 md
6	9:00 am – 1:00 pm	4	1.Parque Ambiental de Residuos, 1 h, receso. Punto final de la ruta
7	5:00 am – 5:00 pm	3	1.Receso, 15 min. Ruta 34, entrada a Quebrada Ganado, parada de bus. 2.Almuerzo, playa Tárcoles, parque de la rotonda, 30 min,12:00 md 3. Receso, 15 min, ruta 34, playa pógeres,3:00 pm
8	5:00 am – 1:00 pm	2	1.Receso, playa agujas, 30 min, 9:00 am 2. almuerzo, parque ambiental residuos sólidos, 12:30 md,
9	5:00 am – 5:00 pm	3	1.Receso, parque por el supermercado la amistad, herradura, 8:30 am, 30 min... reinicio a las 9:00 am 2.proyecto valle escondido, 2:30 pm, almuerzo 30 min
10	5:00 am – 7:00 am	2	N/A

*Esto incluye al conductor y los recolectores.

4. Alcance del sistema de recolección de residuos sólidos

Se sugiere implementar un sistema de recolección diferenciada de residuos sólidos que incluya una categoría para los residuos ordinarios comerciales y otra para los residuos valorizables comerciales y residenciales, en cumplimiento de las funciones municipales indicadas en la Ley N° 8839 (ALRCR, 2021).

No se sugiere una ruta específica para los residuos orgánicos debido al surgimiento de una cultura en desarrollo que promueve el tratamiento in situ de este tipo de residuo, como se observó en la Sección 5.2.1. Además, en caso de que se recolectaran estos residuos de forma diferenciada, no se cuenta con un espacio apto dentro del Parque Ambiental de Residuos Sólidos para su tratamiento. Por lo tanto, se recomienda la implementación de proyectos para gestión de residuos orgánicos de forma descentralizada.

Los primeros sectores donde se puede implementar el nuevo horario de residuos ordinarios comerciales son los locales turísticos y negocios ubicados en la cabecera del distrito, Jacó Centro, Herradura y sobre la Ruta 34. Ya que se visualizó que estas zonas forman parte de las rutas más largas tanto en kilómetros como en tiempo, por lo que separación inicial brindaría resultados prontamente.

Por último, para la propuesta de residuos valorizables se requiere actualizar el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Municipalidad de Garabito y un análisis de composición de residuos ordinarios reciente que permita identificar los sectores que generan mayor cantidad de materiales valorizables.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La gira realizada en las rutas de recolección generó las siguientes conclusiones:

- El uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la creación de mapas revela y cuantifica visualmente las irregularidades viales, como recorridos en reversa y repaso, además de identificar puntos clave de recolección.

- De la totalidad de kilómetros abarcados por el sistema de recolección (450 km) el 27% no contiene ningún punto de recolección establecido, es decir el vehículo circula por estas zonas sin realizar ninguna parada.
- Por otro lado, el mayor porcentaje sin recolección lo contiene la Ruta 10 (70%), seguido por la Ruta 8 (45%), en tercer lugar, la Ruta 9 y 4 (44%).
- Los sectores que poseen menos kilómetros sin recolección son la Ruta 3 y 7 con un 9%.
- Se identificaron diversas problemáticas relacionadas con la gestión de residuos sólidos por parte de los usuarios, incluyendo la exposición de las bolsas a agentes ambientales externos como animales y lluvia, la falta de registros de seguimiento de elementos claves en el mantenimiento de los camiones, la presencia de automóviles en zonas de difícil acceso y el estado de las carreteras nacionales.
- La principal fortaleza del sistema actual radica en la conciencia laboral de los recolectores, quienes se esfuerzan por ofrecer un servicio de calidad a los usuarios.

En cuanto a la aplicación de encuestas, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Según los resultados de la encuesta, el promedio de habitantes por vivienda es de 3,8 personas.
- Los tres tipos de residuos más generados y desechados como basura común por los usuarios residentes son papel, plástico y materia orgánica, especialmente en las zonas de Jacó (Ruta 1 y 2), Barrios Jacó (Ruta 4), Quebrada Ganado y Tárcoles (Ruta 7 y 6) y Punta Leona (Ruta 3).
- Se observó que el 63,6% de las viviendas participan en técnicas de compostaje in situ.
- De los ocho usuarios del sector turístico entrevistados, dos indicaron que las playas se mantienen limpias, mientras que los demás percibieron deficiencias en el servicio.

- Existen percepciones contradictorias entre los turistas encuestados, ya que el 50% afirma que, como habitante temporal del cantón, sus acciones y generación de residuos no afectan el servicio, mientras que el otro 50% argumenta que su presencia sí afecta el sistema.
- En el sector comercial, se observa un buen servicio, pero con deficiencias administrativas por parte de la Municipalidad.

Por otro lado, las entrevistas realizadas a los recolectores y conductores revelaron lo siguiente:

- Los recolectores requieren al menos un mes para adaptarse al tipo de trabajo y se observa una alta rotación de personal.
- El trabajo de recolección presenta riesgos graves para la salud ocupacional, y los empleados consideran que se pueden reducir al generar mayor conciencia entre la población usuaria.

Con relación al análisis estadístico de los kilogramos de residuos recolectados, se encontró lo siguiente:

- Durante los primeros seis meses de implementación del servicio, se observó un patrón de recolección cada siete días, con un promedio de 174,81 toneladas recolectadas. Este valor se ve superado especialmente en semanas que incluyen festividades o períodos vacacionales, lo que confirma estadísticamente el impacto que tiene el sector turístico en el cantón.
- Además, se desarrolló un modelo de predicción de datos de recolección confiable al 95% y se comprobó que su margen de error promedio no supera el 25%.

Por otro lado, en el tema de los indicadores de desempeño, a pesar de que la Municipalidad no cuenta con registros actualizados de las características de las rutas, se pudo calcular 3 indicadores clave para iniciar un proceso de evaluación y seguimiento continuo al sistema, los cuales son:

- La cantidad de residuos sólidos recolectados por cada vehículo semanalmente (kg/semanal/vehículo) con límites de control definidos para cada equipo recolector.
 - GL07: Límite inferior, 16445,55 kg/semana y Límite Superior, 22993,58 kg/semana
 - GR10: Límite inferior, 43091,03 kg/semana y Límite Superior, 70899,29 kg/semana
 - GR09: Límite inferior, 34711,78 kg/semana y Límite Superior, 70512,75 kg/semana
 - GR11: Límite inferior, 39271,50 kg/semana y Límite Superior, 65141,82 kg/semana
 - GL09: Límite inferior, 10964,74 kg/semana y Límite Superior, 18361,34 kg/semana
- El rendimiento de recolección diario por hora en cada ruta, cuyos límites de control son: Inferior, 97,36 kg/km y Superior, 470,32 kg/km.
- El rendimiento de recolección diario por hora en cada ruta, cuyos límites de control son: Inferior, 657,53 kg/h y Superior, 2420,73 kg/h.

Por último, el diseño actual del sistema de recolección de residuos sólidos presenta una base sólida de trabajo, para la fecha de diagnóstico el servicio llevaba 6 meses de trabajo continuo y con los resultados obtenidos del diagnóstico fue posible proponer de corto plazo al sistema como:

- Implementación de una estrategia de mantenimiento basada en la condición de los vehículos
- La adquisición o incorporación en el sistema, por parte de la empresa GIRMO, de un vehículo compactador adicional a la flotilla vehicular

- Mejoramiento de espacios y horarios de descanso en relación con lo contemplado por la empresa GIRMO.
- Reducción de las irregularidades viales en los recorridos de las dos rutas que abarcan la cabecera del distrito de Jacó y otra acción para mejorar el rendimiento en kilómetros sin recolección.
- Creación de una ruta diferenciada de residuos sólidos ordinarios comerciales inicialmente aplicable para los sectores de Jacó Centro, Herradura y sobre la Ruta 34, como negocios cercanos al Parque Ambiental de Residuos Sólidos y que es viable que formen parte de un plan piloto.

Algunas recomendaciones son:

- Por la falta de registros relacionados con el consumo de combustible, accidentes, reportes de quejas, tiempos de descanso y seguimiento de las rutas, no fue posible identificar y aplicar otro tipo de indicadores, por lo que es importante que para futuros trabajos la municipalidad mantenga registros actualizados y confiables de esta información.
- Iniciar con propuestas de separación de residuos valorizables y orgánicos entre ellas la inclusión de rutas diferenciadas que permitan reducir los costos operativos del departamento de servicios ambientales.
- Utilizar el modelo de predicción estructurado en fechas tempranas al ingreso de turistas al cantón y así elaborar un plan de acción para cumplir con el servicio de recolección sin afectar su desempeño.
- Se recomienda mantener un seguimiento anual del servicio de recolección, donde se apliquen nuevas encuestas y se tomen acciones de mejora continua.
- Queda pendiente la actualización del PGIRS y la información que pueda brindar relacionada a la composición de residuos sólidos municipales.

7 REFERENCIAS

- Abarca-Guerrero, L., Maas, G., & Hoglando, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management Journal*, 33(1), 220-232. doi: 10.1016/j.wasman.2012.09.008.
- Anderson, D. Dennis, S. Thomas, W. (2008). Estadística para administración y economía, 10a. ed. ISBN-13: 978-607-481-319-7 <https://www.upg.mx/wp-content/uploads/2015/10/LIBRO-13-Estadistica-para-administracion-y-economia.pdf>
- Arellano-González, A. Carballo-Mendivil, B. Ríos.Vázquez, N. Bojorquez-Feliz, E. (2016). Evaluación del desempeño del proceso de recolección de residuos sólidos urbanos. *Revista de Estrategias del Desarrollo Empresarial*. 2016, Vol. 2, No.3, 26-41. https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial/vol2num3/Revista_de_Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial_V2_N3_3.pdf
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (2021). Ley para la Gestión Integral de Residuos, N°8839. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68300&nValor3=0&strTipM=TC
- Chen, D. M., Bodirsky, B. L., Krueger, T., Mishra, A., & Popp, A. (2020). The world's growing municipal solid waste: Trends and impacts. *Environmental Research Letters*, 15(7). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8659>
- Berthouex, P. Brown, L. (2002). *Statistics for environmental engineers*. Lewis Publishers, 2nd edition.
- Briceño, J. C., & Guiñansaca, J. F. (2022). Optimización de las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos del Cantón Calvas (Tesis de licenciatura). Univ. Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21889>

- Castellón, R. (2009). Reseña histórica del cantón de Garabito. Geografía y Plan regulador. Municipalidad de Garabito.
- C. de Miguel, K. Martínez, M. Pereira y M. Kohout, “Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora”, Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/120), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47309/1/S2100423_es.pdf
- Daza Cruz, Y. X., Patino Chirva, J. A., & Lopez Santana, E. R. (2015). A mixed integer optimization model to design a selective collection routing problem for domestic solid waste. In 2015 Workshop on Engineering Applications - International Congress on Engineering (WEA) (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1109/WEA.2015.7370127>
- Empresa Pública Municipal Gestión Integral de Desechos Sólidos (EPM GIDSA). (2014). Pliegos para proceso de verificación de producción nacional (origen ecuatoriano). VPN-GIDSA-003-2014.
- Flores, M., Gugardado, A., & Romero, C. (2008). Diseño de una metodología para la logística de recolección de desechos sólidos [Design of a methodology for solid waste collection logistics].
- Guerrero, E. Erbiti, C. (2004). Indicadores de sustentabilidad para la gestión de los residuos sólidos domiciliarios. Municipio de Tandil; Argentina. Revista de Geografía Norte Grande, núm. 32, diciembre, 2004, pp. 71-86. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. <https://www.redalyc.org/pdf/300/30003205.pdf>
- Guzmán, B. H., & Arana, J. P. (2015). Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de Zarzal Valle Del Cauca [Design of a vehicle routing model for solid waste collection in the municipality of Zarzal Valle Del Cauca]. Universidad del Valle. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/9103/CB-0524924.pdf?sequence=1>

- Hannan, M. A., Lipu, M. S. H., Akhtar, M., Begum, R. A., Mamum, Md. A. A., Hussain, A., Mia, M. S., & Basri, H. (2020). Solid waste collection optimization objectives, constraints, modeling approaches, and their challenges toward achieving sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123557>
- Herrera, I., Collaguazo, G., Lorente, L., Montero, Y., & Valencia, R. (2018). Una revisión del estado del arte de la optimización de rutas de recolección de residuos sólidos municipales en países en vías de desarrollo [A review of the state of the art of municipal solid waste collection route optimization in developing countries]. Universidad Técnica del Norte.
- Hoque, Md. M., & Rahman, M. T. U. (2020). Landfill area estimation based on solid waste collection prediction using ANN model and final waste disposal options. *Journal of Cleaner Production*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120387>
- Instituto Nacional Estadística y Censos (INEC). (2012). X Censo Nacional de Población y VI Vivienda 2011: Características Sociales y Demográficas (Tomo II, 1a ed.). San José.
- Jesus, T. (2020). Estrategia Condicional - Proactiva. En M. b. fallas. Colombia: Intranetccc.
- Kaza, S. Yao, L. Bhada-Tata, P. Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. *Urban Development*; © Washington, DC: World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/30317> License: CC BY 3.0 IGO.
- Kumar, A., & Samadder, S. R. (2017). A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. *Waste Management*, 69, 407-422. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.046>
- López, M. Valle, M. Fausto, J. (2020). Condiciones laborales y riesgos para la salud en recolectores de basura. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*. 11(1) jun 2021, e-5898. Doi: 10.18041/2322-634X/rcso.1.2021.5898

- Martínez, E., Daza, D., Tello, P., Soulier, M., & Terraza, H. (2010). Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Martinez-Pellégrini, S. Flamand, L. Hernadez, A. (2008). An Overview of the Municipal Development in Mexico: Antecedents, Design and Findings of the Basic Municipal Development Index. *Gest. polít. pública* [online], vol.17, n.1, pp.145-192. ISSN 1405-1079.
- Ministerio de Ambiente y Energía (n.d.). Guía Práctica para el Manejo de Residuos en el Sector Público Costarricense. Dirección General de Calidad Ambiental. http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_de_residuos_0.pdf
- Ministerio de Salud, (2022). Listado de Gestores de Residuos Aprobados. (2022, septiembre 07).
- Ministerio de Salud. (2022). Estado de la situación de la Gestión Integral de Residuos en Costa Rica. Material de referencia para la actualización de la Política Nacional de Gestión Integral de Residuos 2022-2032.
- Montero Jiménez, D. (Comunicación personal, Agosto 2022).
- Molina, N. Balieiro, T. Goncalvez, S. Barro, T. (2020). Solid waste indicators in local sustainability assessment: a literature review. *Sao Pablo*, Vol 23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190028r3vu2020L5AO>
- Nanda, S., & Berruti, F. (2020). Municipal solid waste management and landfilling technologies: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1433-1456. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01100-y>
- Pino Gomez, M. (Comunicación personal, Abril 2023).
- ProDUS-UCR. (2016). Vigésimo informe estado de la nación en desarrollo humano sostenible. Informe Final, Gestión de los residuos sólidos en Costa Rica. <https://www.researchgate.net/profile/Leonardo-Sanchez->

14/publication/324121698_Gestion_de_los_residuos_solidos_en_Costa_Rica/links/5abef863a6fdccda65a0df0/Gestion-de-los-residuos-solidos-en-Costa-Rica.pdf

- Ramos, T. R. P., de Moraes, C. S., & Barbosa. Póvoa, A. P. (2018). The smart waste collection routing problem: Alternative operational management approaches. *Expert Systems with Applications*, 103, 146-158. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.03.001>
- Runfola, J. Gallardo, A. (2009). Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanadas. *Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Universidad del Norte.* https://www.researchgate.net/profile/Jose-Runfola/publication/228458350_Analisis_comparativo_de_los_diferentes_metodos_de_caracterizacion_de_residuos_urbanos_para_su_recoleccion_selectiva_en_comunidades_urbanas/links/00b49530e299923d05000000/Analisis-comparativo-de-los-diferentes-metodos-de-caracterizacion-de-residuos-urbanos-para-su-recoleccion-selectiva-en-comunidades-urbanas.pdf
- Sáez, A. Urdaneta, J. (2019). Calidad de servicio en el proceso de recolección domiciliario de residuos sólidos. *Revista Venezolana de Gerencia*, vol 24, núm 88. Universidad del Zulia, Venezuela. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29062051006>
- Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K., & Oduro-Kwarteng, S. (2018). Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A review of Methods. *Hindawi Journal of Engineering*. doi: 10.1155/2018/4586376.
- Sumiani, Y., Onn, C. C., Mohd Din, M. A., & Wan Jaafar, W. Z. (2009). Environmental planning strategies for optimum solid waste landfill siting. *Sains Malaysiana*, 38, 457-464.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, 29(3), 1176-1185.

- Thitame, S. N., Pondhe, G. M., & Meshram, D. C. (2009). Characterisation and composition of municipal solid waste (MSW) generated in sangamner city, district Ahmednagar, Maharashtra, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170(1), 1-5.
- Trujillo, R. (2022). Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para la flota de vehículos de recolección de basura de la Empresa Pública Metropolitana de Aseo (EMASEO) de la ciudad de Quito. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Trabajo de Grado. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23525>
- Wilson, D. C., & Velis, C. A. (2015). Waste management – still a global challenge in the 21st century: An evidence-based call for action. *Waste Management & Research*, 33(12), 1049-10521. <https://doi.org/10.1177/0734242X15616055>
- “World Bank, (2020). What a Waste: A global snapshot of solid waste management to 2050. The world banck. https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html. (Recuperado 19 abr).
- Zumbado, L. (2020). Borrador Plan de Gestión Integral de Residuos 2021-2025. Municipalidad de Garabito, Servicios Ambientales y Municipales. Facilitado por la Municipalidad de Garabito.

APÉNDICES

Apéndice 1. Entrevista semi estructurada a recolectores del servicio de residuos sólidos municipales

¿Cuánto tiempo tienen laborando en este servicio?

¿Qué fue lo más difícil de adaptarse a este tipo de trabajo?

¿Cómo describen su experiencia como recolectores?

¿Qué es lo más complicado que se encuentran en los recorridos?

¿Qué mejoras visualizan ustedes que puede tener el sistema, tanto ocupacional como para los usuarios?

Apéndice 2. Presentación de encuesta en perfil noticias en la plataforma Facebook de la Municipalidad de Garabito



Figura A.2.1. Póster promocional de encuesta digital en el perfil de noticias en la plataforma Facebook de la Municipalidad de Garabito.

Apéndice 3: Encuesta Digital Servicio de Recolección de Residuos Sólidos del Cantón de Garabito).

Diagnóstico del Servicio de Recolección de Residuos Sólidos Ordinarios del Cantón de Garabito

Este formulario forma parte del proyecto final de graduación "Diagnóstico y optimización del sistema de recolección de los residuos sólidos ordinarios en el Cantón de Garabito " para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

El objetivo es recopilar la experiencia de los usuarios del servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios brindado por la Municipalidad de Garabito y utilizar esta información para elaborar un diagnóstico integral del sistema actual.

¿Con qué tipo de usuario del servicio de recolección se identifica?

- a. Comercio
- b. Trabajador(a) estacional
- c. Residente permanente
- d. Turista

Residente permanente

Responda las siguientes preguntas según su experiencia con el servicio de recolección actual brindado por la Municipalidad de Garabito.

1. ¿En qué comunidad del cantón de Garabito está ubicada su vivienda?

2. ¿Cuántas personas habitan en la vivienda? _____

3. ¿De qué están compuestos los residuos ("basura") que produce su comercio (Selección múltiple)

- a. Papel
- b. Cartón
- c. Vidrios
- d. Latas de aluminio y latón
- e. Plásticos
- f. Materia orgánica (restos de comida, desechos de jardín, entre otros)
- g. Metales
- h. Textiles
- i. Aparatos eléctricos y/o electrónicos
- j. Polilaminados (Tetrapack)
- k. Periódico
- l. No valorizables
- m. Otro: _____

4. Indique la forma de disposición final (desechar la "basura") que utilizan en su comercio o entidad

- a. Recolección de residuos por parte de la Municipalidad
- b. Quema de residuos
- c. Entierro de residuos

5. ¿Con qué frecuencia se brinda el servicio de recolección de residuos sólidos en su comercio o entidad?

- a. 1 vez por semana

- b. 2 veces por semana
- c. 1 vez al mes
- d. Cada 15 días
- e. Todos los días
- f. Otro: _____

6. Indique la frecuencia con la cual utiliza el servicio de recolección de residuos sólidos

- a. 1 vez por semana
- b. 2 veces por semana
- c. 1 vez al mes
- d. Cada 15 días
- e. Todos los días
- f. Otro: _____

7. ¿Qué cuidados de preparación de las bolsas de residuos toma en cuenta al disponer los residuos de su comercio o entidad?

- a. Disponer envueltos en cartón residuos de vidrio
- b. Congelar los residuos de alimentos para evitar mal olor
- c. Utilizar canastas de residuos para evitar mal olor
- d. Disponer los residuos en dos o más bolsas plásticas
- e. Otro: _____

8. ¿Qué problemáticas visualiza usted en el servicio de recolección de residuos actual?

9. ¿Conoce usted qué materiales son reciclables o reutilizables?

- a. Sí
- b. No (continua con la pregunta 15)

10. ¿Separa usted los materiales reciclables de los materiales no reciclables?

- a. Sí
- b. No (continua con la pregunta 15)

11. Indique la forma en la que su comercio o entidad dispone los residuos reciclables.

- a. Centro de acopio
- b. Sector informal (como vehículos recolectores de chatarra)
- c. Campañas de reciclaje

12. ¿Con qué frecuencia realiza los procesos descritos anteriormente?

- a. De 1 a 2 veces por semana
- b. 1 vez cada 15 días
- c. Más de 2 veces al mes
- d. Otro: _____

13. ¿Realizan compostaje en su comercio o entidad?

- a. Sí
- b. No

Turista

Responda las siguientes preguntas según su experiencia con el servicio de recolección actual brindado por la Municipalidad de Garabito.

1. ¿En qué comunidad o comunidades del cantón de Garabito se ha hospedado?

- a. Jacó Centro
- b. Tárcoles
- c. Playa Hermosa
- d. Herradura
- e. Otro: _____

2. ¿Cuál(es) es (son) el (los) nombre (s) de hotel/cabina/hospedaje en los que se ha alojado?

3. ¿Por cuánto tiempo se hospedó o generalmente se hospeda en el cantón de Garabito?

- a. 1 a 5 días
- c. 1 semana
- d. De 2 a 4 semanas
- e. 1 mes
- f. De 2 a 3 meses
- g. Más de 3 meses
- h. Otro: _____

4. En ese tiempo pudo conocer, ¿Cómo funciona el servicio de recolección de residuos sólidos?

- a. Sí
- c. No (continúa con la pregunta 6)

5. Indique que percepciones tiene acerca del sistema de recolección de los residuos sólidos ordinarios en el cantón de Garabito:

- a. El camión recolector es ruidoso
- b. Los residuos permanecen mucho tiempo en las calles
- c. Las playas se mantienen limpias
- d. Las playas no se mantienen limpias
- e. El servicio pasa muy temprano
- f. El servicio pasa muy tarde
- g. Presencia de animales (roedores, zopilotes, mapaches, etc)
- h. Mal olores en las calles
- i. Otro: _____

6. Considera que en su papel como habitante flotante del cantón afecta el servicio de recolección de residuos ordinarios? ¿Por qué?

Representante de comercio y trabajador estacional

Responda las siguientes preguntas según su experiencia con el servicio de recolección actual brindado por la Municipalidad de Garabito.

1. ¿Qué tipo de actividad productiva realiza su comercio o entidad?

- a. Hospedaje y recreación
- b. Supermercados, pulperías, venta de abarrotes
- c. Restaurante, soda, venta de comida preparadas
- d. Servicios médicos o veterinarios
- e. Reparación mecánica, talleres electrónicos
- f. Servicios municipales

g. Enseñanza pública o privada (colegios, escuelas, institutos técnicos, entre otros)

h. Otro: _____

2. Nombre de su puesto de trabajo actual: _____

3. ¿En qué comunidad del cantón de Garabito está ubicada su comercio y/o lugar de trabajo? _____

4. ¿Cuántas personas trabajan en el comercio o entidad? _____

5. ¿De qué están compuestos los residuos ("basura") que produce su comercio (Selección múltiple)

- a. Papel
- b. Cartón
- c. Vidrios
- d. Latas de aluminio y latón
- e. Plásticos
- f. Materia orgánica (restos de comida, desechos de jardín, entre otros)
- g. Metales
- h. Textiles
- i. Aparatos eléctricos y/o electrónicos
- j. Polilaminados (Tetrapack)
- k. Periódico
- l. No valorizables
- m. Otro: _____

6. Indique la forma de disposición final (desechar la "basura") que utilizan en su comercio o entidad

- b. Recolección de residuos por parte de la Municipalidad
- c. Quema de residuos
- d. Entierro de residuos

7. ¿Con qué frecuencia se brinda el servicio de recolección de residuos sólidos en su comercio o entidad?

- b. 1 vez por semana
- c. 2 veces por semana
- d. 1 vez al mes
- e. Cada 15 días
- f. Todos los días
- g. Otro: _____

8. Indique la frecuencia con la cual utiliza el servicio de recolección de residuos sólidos

- b. 1 vez por semana
- d. 2 veces por semana
- e. 1 vez al mes
- i. Cada 15 días
- f. Todos los días
- g. Otro: _____

9. ¿Qué cuidados de preparación de las bolsas de residuos toma en cuenta al disponer los residuos de su comercio o entidad?

- b. Disponer envueltos en cartón residuos de vidrio
- c. Congelar los residuos de alimentos para evitar mal olor

- d. Utilizar canastas de residuos para evitar mal olor
- e. Disponer los residuos en dos o más bolsas plásticas
- f. Otro: _____

10. ¿Qué problemáticas visualiza usted en el servicio de recolección de residuos actual?

11. ¿En su comercio o entidad conocen que materiales son reciclables y reutilizables?

- b. Sí
- c. No (continua con la pregunta 15)

12. ¿En su comercio o entidad separan los materiales reciclables de los materiales no reciclables?

- j. Sí
- d. No (continua con la pregunta 15)

13. Indique la forma en la que su comercio o entidad dispone los residuos reciclables.

- b. Centro de acopio
- c. Sector informal (como vehículos recolectores de chatarra)
- d. Campañas de reciclaje

14. ¿Con qué frecuencia realiza los procesos descritos anteriormente?

- b. De 1 a 2 veces por semana
- c. 1 vez cada 15 días
- d. Más de 2 veces al mes
- e. Otro: _____

15. ¿Realizan compostaje en su comercio o entidad?

- b. Sí
- c. No

Apéndice 4: Fotos de las rutas de recolección



Figura A.4.1. Fotografías de los camiones recolectores utilizados por la Municipalidad de Garabito



Figura A.4.2. Fotografías de la ruta de recolección 2 en el sector de Jacó Centro Norte.

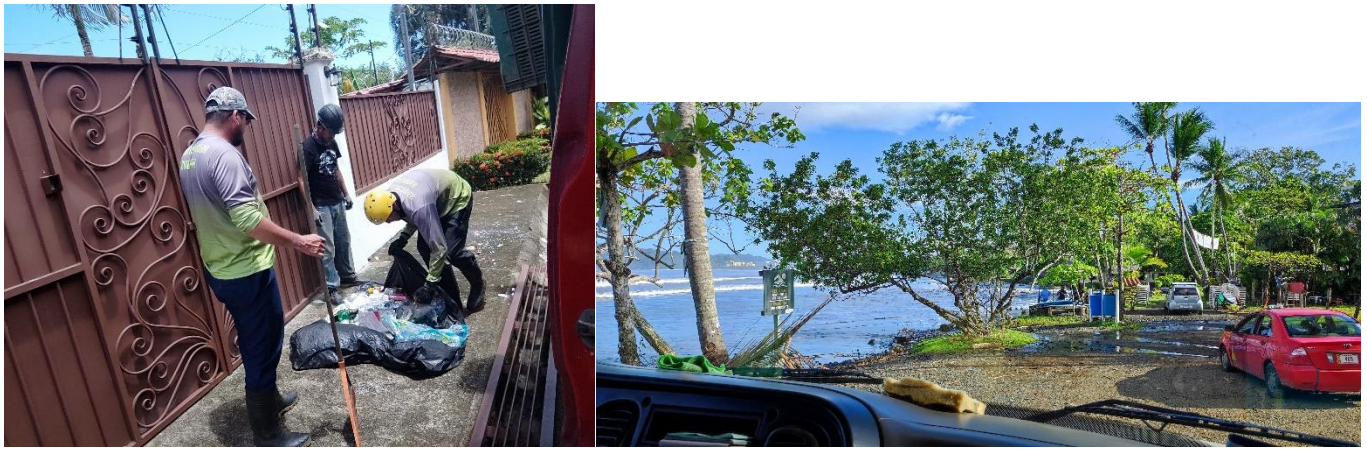


Figura A.4.3. Fotografías de la ruta de recolección 2 en el sector de Jacó Centro Sur.

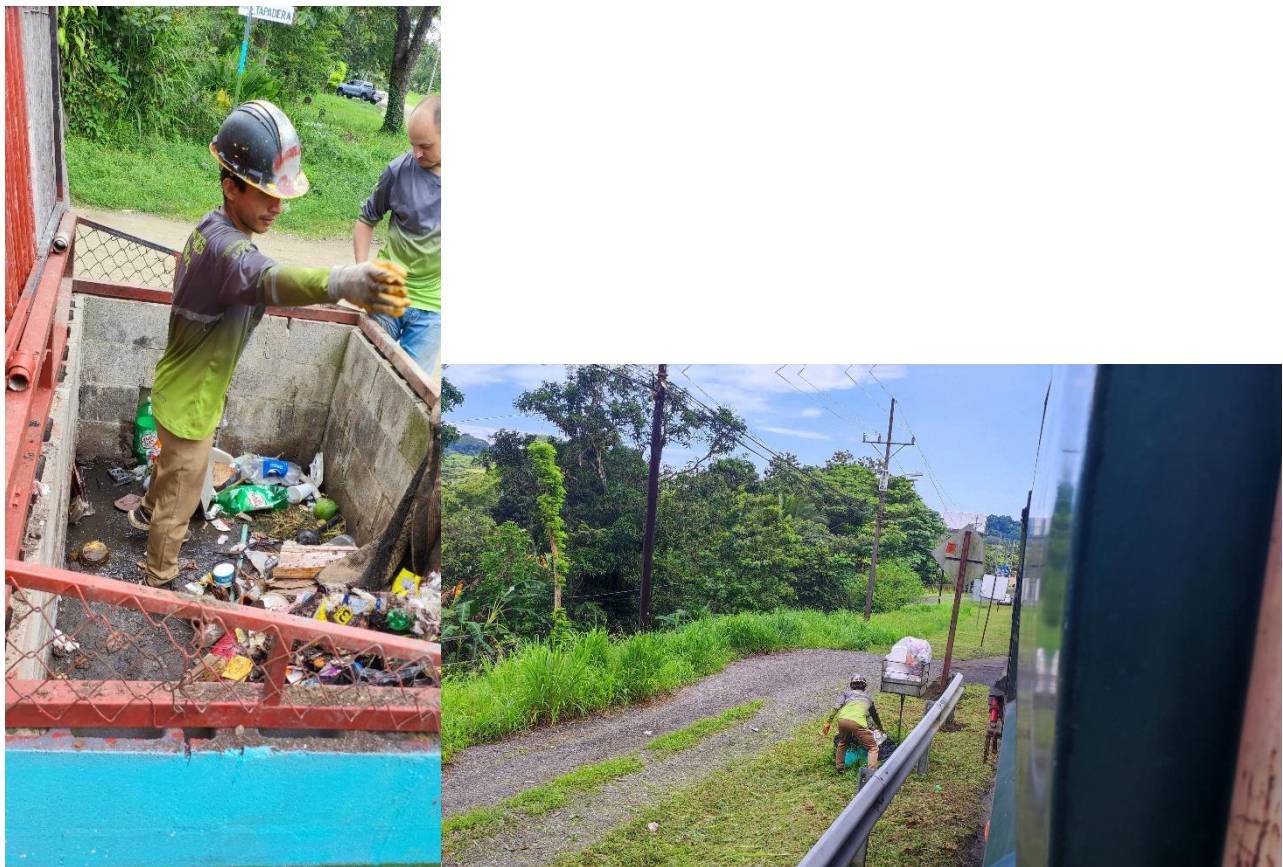


Figura A.4.4. Fotografías de la ruta de recolección 3 en los sectores de Lagunillas y Bajamar



Figura A.4.5. Fotografías de la ruta de recolección 4 en el sector de Barrios Jacó.



Figura A.4.6. Fotografías de la ruta de recolección 5 en los sectores de Quebrada amarilla y Playa Hermosa.



Figura A.4.7. Fotografías de la ruta de recolección 6 en el sector de Herradura.



Figura A.4.8. Fotografías de la ruta de recolección 7 en los sectores de Quebrada Ganado, Tárcoles y Playa Azul.



Figura A.4.9. Fotografías de la ruta de recolección 8 en los sectores de Quebrada Ganado, Tárcoles y Punta Leona.



Figura A.4.10. Fotografías de la ruta de recolección 9 en el sector de Herradura.



Figura A.4.11. Fotografías de la ruta de recolección 10 en el sector de Bijagual.



Figura A.4.12. Fotografías de la estación de transferencia ubicada en el Parque Ambiental de Residuos Sólidos y los equipos de camiones de EBI.



Figura A.4.13. Fotografías de condiciones de los caminos en el cantón de Garabito.

Apéndice 5: Pruebas estadísticas de verificación

Para verificar que el modelo de regresión ARIMA sea adecuado, los residuos deben ser: independientes (aleatorios), tener un promedio de 0 y distribución normal,

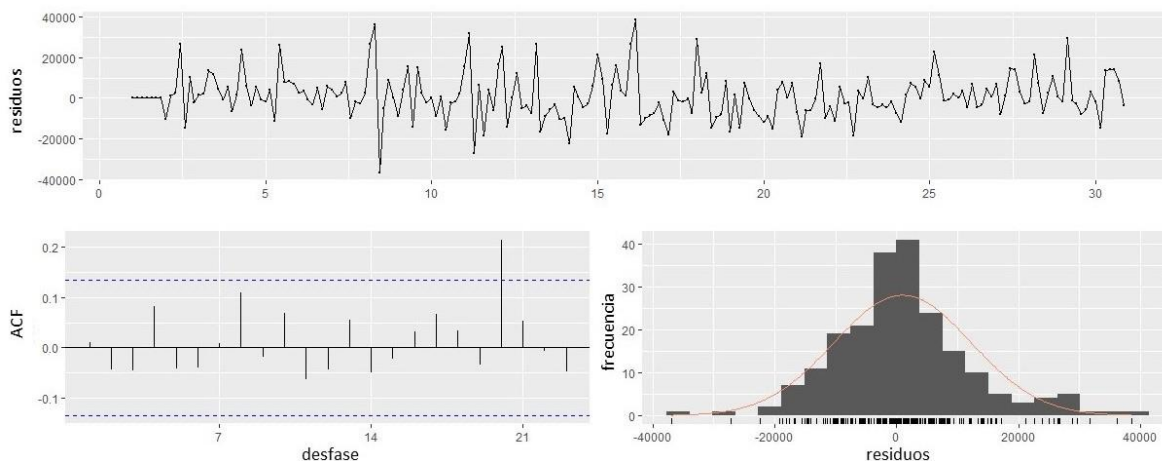


Figura A.5.1. Verificación de modelo ARIMA.

La prueba de Ljung-Box, adicional al análisis de correlación, permiten determinar si los residuos se distribuyen de manera independiente (hipótesis alternativa: los residuos no se comportan de manera independiente). Para el caso que se estudia, se rechaza la hipótesis alternativa de no independencia ($p\text{-value} > \alpha$, $\alpha=0.05$):

Ljung-Box test

data: Residuals

$Q^* = 23.904$, $df = 25$, $p\text{-value} = 0.5249$

Model df: 0. Total lags used: 25

Apéndice 6: Resultado de pronóstico en días.

Cuadro A.6.1. Pronóstico en días de los kilogramos recolectados

Point	Forecast	Lo 95	Hi 95
31.00000	30283.30	7595.3302	52971.27
31.14286	57511.47	34458.2086	80564.74
31.28571	34856.26	11638.8190	58073.71
31.42857	33909.79	10618.0844	57201.49
31.57143	32619.60	9294.2067	55944.98
31.71429	27490.69	4150.0039	50831.38
31.85714	14931.95	-8415.6898	38279.59
32.00000	29512.48	3067.0144	55957.95
32.14286	57513.91	30957.2658	84070.55
32.28571	32742.28	6135.2503	59349.32
32.42857	31697.20	5067.2833	58327.11
32.57143	30326.63	3686.3219	56966.94
32.71429	25751.40	-893.6381	52396.43
32.85714	14625.00	-12022.1798	41272.18
33.00000	29195.90	971.0999	57420.69
33.14286	57445.52	29164.0854	85726.96
33.28571	32108.38	3801.2262	60415.53
33.42857	31051.06	2732.2242	59369.90
33.57143	29668.39	1344.2449	57992.54
33.71429	25253.88	-3072.6788	53580.44
33.85714	14530.10	-13797.5622	42857.75
34.00000	29101.45	-451.6180	58654.51
34.14286	57422.15	27825.7793	87018.52
34.28571	31929.31	2313.2713	61545.34
34.42857	30869.55	1244.5785	60494.52
34.57143	29484.17	-144.8676	59113.20
34.71429	25114.75	-4516.1318	54745.63
34.85714	14503.12	-15128.6037	44134.84
35.00000	29074.79	-1664.1104	59813.70
35.14286	57415.38	26637.5516	88193.20

Apéndice 7: Hoja de levantamiento de ruta.

Nombre ruta: _____ Fecha: _____

Hora de inicio ruta: _____ Hora Finalización de ruta: _____

Puntos GPS ruta: inicio _____ Finalización: _____

Kilometraje inicial: _____ Kilometraje final: _____

Capacidad tanque combustible: Inicial _____ Final _____

Nombre de la Ruta: _____

Tipo de camión, placa y marca: _____, _____, _____

Capacidad del camión (ton): _____ Nombre del chofer: _____

Cantidad de litros combustible consumidos al finalizar ruta: _____

Cantidad de recolectores: _____

Cantidad estimada de residuos al final de la ruta (ton): _____

Cantidad de transferencia de residuos: _____

Tiempo de duración de la transferencia de residuos: _____

Cantidad de viajes al relleno sanitario: _____

Nota: apuntar temas de seguridad de los trabajadores, salubridad, tomar fotos, ver condición de los camiones, residuos que no son de ruta (especiales, peligrosos).

Nota: Calles de la ruta,

Movimientos del camión: reversa, Giro en U, Caminata a pie (anotar metros), contenedor (nombre residencial), acumulación (operario o vecino), repaso (recolección misma calle), recolección a ambos lados (cruce de calle por los recolectores), tránsito, transferencia de residuos, topografía, no recolección y cualquier otro.

OBSERVACIONES

ANEXOS

Anexo 1: Base de datos del departamento de Servicios Ambientales de la Municipalidad de Garabito

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data table:

MUNICIPALIDAD GARABITO						
PARQUE AMBIENTAL RESIDUOS SOLIDOS						
CONTROL DE RECOLECCION DE RESIDUOS EBI						
FECHA	UNIDAD	N° Boleta	PESO ENTRADA	PESO SALIDA	PESO NETO KG	
01/01/2022	171092	197555	23880	16320	7560	
01/01/2022	166210	195302	28200	15440	12760	
01/01/2022	169582	197655	27980	17840	10140	
02/01/2022	171092	197556	22600	16320	6280	
02/01/2022	169582	197656	28660	17840	10820	
03/01/2022	171092	197606	24050	14180	9870	
03/01/2022	169582	197658	18680	17840	840	
03/01/2022	169582	197657	29770	17840	11930	
04/01/2022	169582	197659	33860	17840	16020	
04/01/2022	N/I	197703	3290	2210	1080	
04/01/2022	171092	197607	24460	14180	10280	
04/01/2022	208397	197701	2930	2210	720	
04/01/2022	208397	197702	3290	2210	1080	
04/01/2022	208397	197704	2540	2210	330	
05/01/2022	208397	197705	3320	2210	1110	
05/01/2022	208397	197706	3120	2210	910	
05/01/2022	208397	197707	3160	2210	950	
05/01/2022	C149709	197653	6870	3930	2940	
05/01/2022	208397	197708	3060	2210	850	
05/01/2022	171092	197608	23550	14180	9370	
05/01/2022	167676	197505	27700	16320	11380	
05/01/2022	208397	197709	3060	2210	850	

Figura A.1.1. Base de datos del departamento de Servicios Ambientales de la
Municipalidad de Garabito.