

Identification of Household Solid Waste Collection Zones in the Commune of Quinta Normal in Santiago, Chile

Matías García, BS¹; Carola Blazquez, PhD^{2,3}

¹Universidad Andres Bello, Viña del Mar, Chile, m.garcaarellano@uandresbello.edu

²Universidad Andres Bello, Viña del Mar, Chile, cblazquez@unab.cl

³Center for Advanced Transportation, Logistics, and Economic Competitiveness, ANID/CIN 250061, Santiago, Chile

Abstract— *There has been a significant increase in municipal solid waste worldwide, and thus, different public policies and targets have been established to improve the environment, which have presented a significant challenge in the efficiency of the waste collection process. Currently, municipalities in Chile lack sufficient information to plan household solid waste collection adequately to reduce the high costs incurred in this process. This study aims to analyze real data and identify household solid waste collection zones in the commune of Quinta Normal in Santiago, Chile. This data includes measurements captured by GPS equipment mounted on a fleet of waste collection vehicles, as well as weighing records of these vehicles at the KDM transfer center, where the collected waste is disposed of. As a result of the integration of this data, 119 service zones were identified in the commune for six collection days (Monday through Saturday), with each zone having its respective annual household solid waste generation. These results contribute to improving the management and planning of household solid waste collection in Quinta Normal, and thereby, optimizing collection routes, and generating relevant spatial and descriptive data related to household solid waste collection.*

Keywords—GPS, spatial analysis, household solid waste, collection system

Identificación de Zonas de Recolección de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Comuna de Quinta Normal en Santiago, Chile

Matías García, BS¹; Carola Blazquez, PhD^{2,3}

¹Universidad Andres Bello, Viña del Mar, Chile, m.garcaarellano@uandresbello.edu

²Universidad Andres Bello, Viña del Mar, Chile, cblazquez@unab.cl

³Center for Advanced Transportation, Logistics, and Economic Competitiveness, ANID/CIN 250061, Santiago, Chile

Resumen– Existe un aumento significativo de residuos sólidos urbanos a nivel mundial y por ello, se han establecido políticas públicas y metas para mejorar el medio ambiente, los cuales han presentado un desafío relevante en la eficiencia del proceso de recolección de estos residuos. Actualmente, las municipalidades en Chile no cuentan con información suficiente para planificar la recolección de residuos sólidos domiciliarios en forma adecuada para así reducir los altos costos que deben incurrir en esta recolección. Este estudio tiene como objetivo analizar datos reales e identificar zonas de recolección de residuos sólidos domiciliarios en la comuna de Quinta Normal en Santiago, Chile. Estos datos provienen de mediciones de equipos GPS montados sobre una flota de vehículos recolectores de residuos sólidos domiciliarios y además se cuenta con registros de pesaje de dichos vehículos en el centro de transferencia KDM, donde se desechan los residuos recolectados. Como resultado de la integración de estos datos, se identificaron 119 zonas de servicio en la comuna para los seis días de recolección (lunes a sábado), cada zona con su respectiva generación anual de residuos sólidos domiciliarios. Estos resultados contribuyen a mejorar la gestión y la planificación de la recolección de residuos sólidos domiciliarios en Quinta Normal y así optimizar rutas de recolección, y generar datos espaciales y descriptivos relevantes relacionados con la recolección de residuos sólidos domiciliarios.

Palabras claves – GPS, análisis espacial, residuos sólidos domiciliarios, sistema de recolección

I. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos urbanos crece exponencialmente cada año a nivel mundial. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, se espera que la generación total de residuos sólidos municipales a nivel mundial aumente casi un 80% entre 2020 y 2050, pasando de 2,12 mil millones de toneladas a 3,78 mil millones anuales, lo que evidencia la magnitud del desafío global en materia de gestión de residuos. Esta tendencia es impulsada principalmente por la rápida urbanización, desarrollo económico y el crecimiento poblacional [1].

En el contexto latinoamericano, Chile destaca como uno de los países con la mayor tasa de generación de residuos sólidos. En 2018, el país registró una generación total de 19,6 millones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 97% corresponde a residuos no peligrosos (53% de origen industrial, 42% municipales y 2% lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas). Específicamente en residuos

sólidos domiciliarios (RSD), Chile genera 7,9 millones de toneladas al año, posicionándose como el país con mayor generador per cápita de Sudamérica con aproximadamente 1,2 kg por habitante al día [2].

La Región Metropolitana de Santiago concentra la mayor proporción de generación de residuos en Chile con el 45,7% del total nacional. En 2021, esta región generó 3.765 toneladas de residuos sólidos municipales. Esta alta tasa de generación plantea desafíos particulares en términos de gestión, planificación y sostenibilidad ambiental, especialmente considerando que la mayor parte de los RSD termina siendo desechado en rellenos sanitarios [3].

La gestión inadecuada de los residuos sólidos municipales genera riesgos para la salud pública, principalmente por la proliferación de insectos y roedores que pueden transmitir enfermedades infecciosas. Además, se generan riesgos ambientales por la emisión de gases de efecto invernadero que impactan negativamente la calidad de vida de las personas y del planeta [4].

En este contexto, la gestión eficiente de RSD en comunas urbanas de la ciudad de Santiago en la Región Metropolitana representa un desafío complejo. Existe un déficit de información confiable que obliga a las autoridades a tomar decisiones sobre la recolección de RSD en base a estimaciones generales o datos desactualizados, lo que puede derivar en análisis limitados, una asignación ineficiente de recursos y una planificación inadecuada del proceso de recolección de RSD [5]. Como consecuencia, se diseñan estrategias ineficientes para reducir, reciclar y valorizar los RSD, los cuales afecta el avance hacia objetivos ambientales que se ha planteado el país y el alcance de la meta de desarrollo sustentable de las Naciones Unidas sobre la promoción de prácticas de reciclaje [6]. Por lo tanto, se quiere de datos fidedignos para obtener una gestión más eficiente de los RSD que mejore el proceso de recolección de RSD y responda a los desafíos de sostenibilidad [7].

La comuna de Quinta Normal en la ciudad de Santiago trabaja en colaboración con la empresa KDM para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. KDM es una empresa líder en la gestión ambiental en Chile, encargada del tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales. En el centro de transferencia de KDM, se

recepionan y se procesan los residuos, y también se pesan los vehículos recolectores de residuos para posterior cobro a la municipalidad por sus servicios [8]. Por otro lado, la municipalidad provee mediciones de equipos GPS que están montados sobre los vehículos recolectores de RSD mientras transitan por la comuna para realizar la recolección puerta-a-puerta de los RSD.

La integración de los datos sobre pesaje de vehículos recolectores en KDM con los registros GPS provenientes de los vehículos recolectores facilita la identificación de zonas de recolección para cada vehículo recolector y la cantidad de residuos recolectados en cada una de dichas zonas. Por lo tanto, este estudio identifica las zonas de recolección de RSD en la comuna de Quinta Normal para optimizar rutas de recolección de RSD y los costos asociados, y generar datos espaciales y descriptivos que apoyen a las autoridades locales en la toma de decisiones informadas hacia una gestión y planificación eficiente de los RSD.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Existen estudios que realizan análisis de datos espaciales (e.g., GPS) e información descriptiva relacionados con RSD para mejorar la gestión de RSD. Por ejemplo, en el estudio de [9], desarrollaron un algoritmo de ruteo óptimo usando mediciones GPS para reducir el consumo de combustible de vehículos recolectores de residuos sólidos municipales. Los autores optimizaron las rutas de recolección con un 60% de reducción en el consumo de combustible usando SIG. Los autores de [10] integraron datos espaciales sobre la recolección de residuos sólidos municipales en Pallavapuram, India en un ambiente SIG usando un sistema de monitoreo vehicular y disposición final. Con dicha información, se optimizaron las ubicaciones de los contenedores, rutas de triciclos para recolección primaria y rutas de vehículos para el transporte secundario. [11] crearon una aplicación de geolocalización que utiliza mediciones GPS integrado con microcomputadores para optimizar la recolección de RSD en Curicó, Chile. Los resultados indican que la integración tecnológica reduce significativamente la permanencia de residuos en las calles y se mejora la eficiencia del sistema de recolección de residuos. [12] integraron datos espaciales provenientes de la generación de residuos domésticos de plástico y mediciones GPS para la ubicación de hogares en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Usando datos de diferentes tipos de plástico como desechos de hogares y su generación diaria entre los años 2019 y 2021, se pudo determinar que el PET es el tipo de plástico más utilizado, seguido por HDPE, PP y PVC. El aumento del uso del plástico se observa en barrios más populares con mayor población y menor cantidad de servicios básicos. Recientemente, [13] desarrolló una metodología para georreferenciar con precisión las dinámicas de recolección utilizando datos GPS en el software QGIS. Los resultados permitieron identificar patrones de distribución espacial, diseñar zonas de recolección optimizadas y proponer

estrategias de mejora basadas en análisis de datos territoriales. El estudio realizado por [14] busca minimizar el largo de los recorridos de 31 vehículos recolectores de RSD montados con equipos GPS usando la identificación de paradas y tiempos de viaje. De esta manera, se pudo reducir en 9,4% la distancia recorrida y en un 11,6% el consumo de combustible.



Fig. 1 Zona de estudio (Fuente: [17])

III. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

A. Área de Estudio

Quinta Normal está ubicada en la zona norte de la ciudad de Santiago, tal como se muestra en la Fig. 1. Esta comuna posee una población de aproximadamente 140 mil habitantes y un área de 12,4 km² [15]. La población genera alrededor de 60 toneladas al año y la municipalidad tiene un presupuesto anual de más de mil millones de pesos chilenos (USD \$900.000.000) destinados a la recolección de RSD, lo que corresponde a 7,4% del presupuesto municipal total [16]. Por lo tanto, existe un incentivo económico relevante para que las autoridades de la comuna tomen decisiones responsables y generar un plan de recolección de RSD más eficiente.

B. Mediciones GPS

La Fig. 2 muestra los puntos GPS registrados durante la recolección de residuos en la comuna de Quinta Normal. Cada color representa las rutas recorridas por los vehículos recolectores durante el proceso de recolección de RSD, las cuales son utilizadas para identificar espacialmente cada zona de recolección.

En este estudio, se consideran mediciones de equipos GPS montados sobre 11 vehículos recolectores de RSD durante seis días (12-17 de diciembre de 2022) entre lunes y sábado en un horario entre las 6:00 hrs y las 00:00 hrs. Nótese que estas rutas fueron extrapoladas para todo el año 2022, bajo el supuesto de que estos datos representan patrones repetitivos y que las mismas rutas se mantienen durante todo el año. La frecuencia de registros de un minuto permite una

representación bastante certera de los recorridos y de las actividades de recolección de RSD en la comuna.

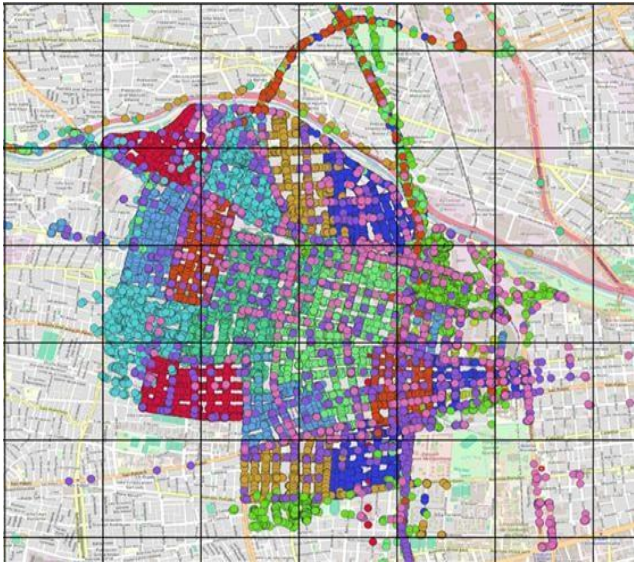


Fig. 2 Mediciones GPS montados en los vehículos recolectores en Quinta Normal

C. Pesaje de vehículos recolectores en KDM

El estudio utiliza el pesaje de vehículos recolectores en KDM almacenados en archivos Excel para todo el año 2022 con un promedio de 8.644 kg y una desviación estándar de 3.236 kg. La Tabla 1 presenta un extracto de los registros de los vehículos recolectores en KDM que son utilizados para la integración con datos espaciales. Cada fila corresponde a un vehículo recolector que es identificado por su patente o matrícula (placa de identificación). Además, en dicha tabla, se consignan las fechas y las horas de entrada y salida a KDM junto con los pesos de los vehículos medidos en kilogramos. En la tabla, se muestran cinco registros de tres vehículos con patentes KLHF42, JXJV11 y GJDF31 para el 3 de enero de 2022. El ejemplo indica que los vehículos con patentes KLHF42 y JXJV11 realizaron dos viajes a desechar los residuos a KDM después de recolectarlos en Quinta Normal, mientras que el vehículo con patente GJDF31 solamente realizó un recorrido de recolección durante la mañana. Según los registros de horas de entrada y salida los vehículos realizan la descarga de RSD con una duración generalmente entre 10 y 15 minutos y que sus pesos promedian 8.160 kg. Estos datos se integran con las rutas recorridas por los vehículos y así se estima la cantidad de RSD recolectados a cada zona identificada.

TABLA I
 EJEMPLO DE REGISTROS DE PESAJE DE VEHÍCULOS EN KDM

Patente	Fecha	Hora de entrada	Hora de salida	Peso (Kg)
KLHF42	03-01-2022	9:47	10:03	8840
JXJV11	03-01-2022	10:48	11:02	8710
GJDF31	03-01-2022	10:59	11:14	8180
KLHF42	03-01-2022	12:35	12:45	6410
JXJV11	03-01-2022	13:52	14:10	8660

III. METODOLOGÍA

A. Depuración y preparación de datos

En esta fase, se realizó la depuración de la base de datos tanto de pesaje proporcionada por KDM y como con los puntos GPS capturados durante la recolección de RSD. En este proceso de depuración y preparación de datos, se corrigieron inconsistencias en los datos, se eliminaron duplicados, anómalos e incorrectos, se estandarizaron formatos y unidades de medida, y se verificó la coherencia espacial de las coordenadas. Esta depuración fue contrarrestada por la revisión visual mediante mapas con el software QGIS para observar las zonas y las rutas de recolección que efectivamente se hayan realizado.

Además, se identificaron las mediciones GPS que indicaban altas velocidades mientras transitaban por avenidas principales y carreteras en dirección desde/hacia a KDM. De esta manera, se acotó a aquellas mediciones GPS que consisten primordialmente a la recolección de RSD dentro de la comuna y se conservaron sólo las mediciones GPS relevantes de detención y recolección de RSD. En la depuración de datos, se revisaron los registros de pesaje, se identificaron posibles errores o puntos GPS que no corresponden por ubicación, y se eliminaron aquellos datos que no cumplen con los criterios establecidos de velocidad antes descritos. Por lo tanto, el resultado de este proceso es un conjunto de datos depurados que reflejan de forma precisa las zonas de recolección de RSD en la comuna, y que constituye una base idónea para la identificación de zonas de recolección para cada vehículo y la cantidad de RSD que se recolectó en cada uno de las zonas identificadas.

B. Identificación de Zonas de Recolección de RSD

Con el uso del software QGIS, se delimitaron territorialmente las áreas operativas de cada vehículo recolector. Posteriormente, se vincularon los registros de pesaje de vehículos provenientes de KDM con las zonas identificadas. La integración permitió establecer una relación entre el pesaje de cada vehículo en KDM y la zona de recolección de dicho vehículo en el tiempo.

Además, se diseñó un sistema de nomenclatura para identificar las zonas de recolección de RSD según la variación diaria y horaria. Las zonas se clasificaron según el día de la semana y el turno operativo, asignando letras: "X" para la recolección los días lunes y martes, "C" para los días miércoles y jueves, y "V" para los días viernes y sábado. Además, se incluyeron datos registrados durante el viernes 24 de octubre del año 2022 como día adicional de recolección, la cual se utilizó el símbolo "/" para identificar las nuevas zonas identificadas.

Cada zona se identificó con una letra y un número secuencial para indicar el orden de recolección dentro del día como A, B o C para distinguir el orden en que el vehículo recorrió diversas zonas antes de viajar a KDM para desechar los residuos. Esta codificación permite entender el flujo operativo y la secuencia de rutas de cada vehículo. Para el análisis temporal, se dividió el día en cuatro franjas horarias representativas: AM (6:00 hrs - 12:00 hrs), MD (12:00 hrs - 15:30 hrs), PM (15:30 hrs - 19:00 hrs) y MG (19:00 hrs - 00:00 hrs). Estas franjas facilitan evaluar la operación según la variación horaria y la interpretación de datos agregados por turno.

IV. RESULTADOS

A. Depuración y análisis de datos

Como resultado del proceso de depuración y preparación de datos, se eliminaron aproximadamente 3.000 puntos GPS que registraban velocidades superiores a 30 km/h, conservando únicamente aquellos puntos de detención y recolección lenta por debajo de ese umbral, con el objetivo de focalizarse en los lugares y tiempos asociados a la recolección efectiva de RSD dentro de la comuna. Como resultado, la base de datos consiste en aproximadamente 10,000 mediciones GPS.

TABLA II
EJEMPLO DE RESULTADO DE INTEGRACIÓN DE DATOS

Zona	Patente	Fecha	Horario	Hora
X1 AM	KTWG79	12-12-2022	AM	10:59
X1 PM	KTWG79	12-12-2022	PM	15:28
X2 AM	RGJS38	12-12-2022	AM	11:45

Posteriormente, se interceptaron los puntos GPS de cada recorrido vehicular con los polígonos de zonas identificadas con el software QGIS para asignar cada viaje a su respectiva área de servicio. Esta información fue exportada a archivos Excel para implementar filtros dinámicos que identifican viajes a KDM por vehículo (patente o matrícula) y el peso de RSD recogido que es estimado para cada zona por día. La Tabla 2 muestra un ejemplo con la estructuración final de los recorridos para tres zonas durante el 12 de diciembre del 2022, donde se aplicó una nomenclatura estandarizada de zonas y horarios. En dicha tabla, se muestra un ejemplo, donde el vehículo con patente KTWG79 realiza dos recorridos ese día: un recorrido en la zona "X1 AM" en la mañana y otro recorrido en la segunda zona "X1 PM" en la tarde.

B. Identificación de casos especiales

A continuación, se explican un par de casos especiales que surgieron durante el proceso de análisis de datos en QGIS que debieron ser tratados específicamente para asignar correctamente los RSD recolectados. Por ejemplo, en la parte inferior de la Fig. 3, se muestra el recorrido de un vehículo a través de puntos GPS amarillos en la zona "X9 PM" en el turno en la tarde. A continuación, el vehículo recorrió la zona "X9 PM B" y luego se dirigió a descargar los residuos en KDM después de recolectar RSD en ambas zonas. Para poder asignar RSD a cada zona (X9 PM y X9 PM B), se distribuyó el peso de residuos en KDM proporcionalmente a la población en cada zona. De esta manera, se obtiene un único valor estimado de la generación de RSD para cada zona visitada.

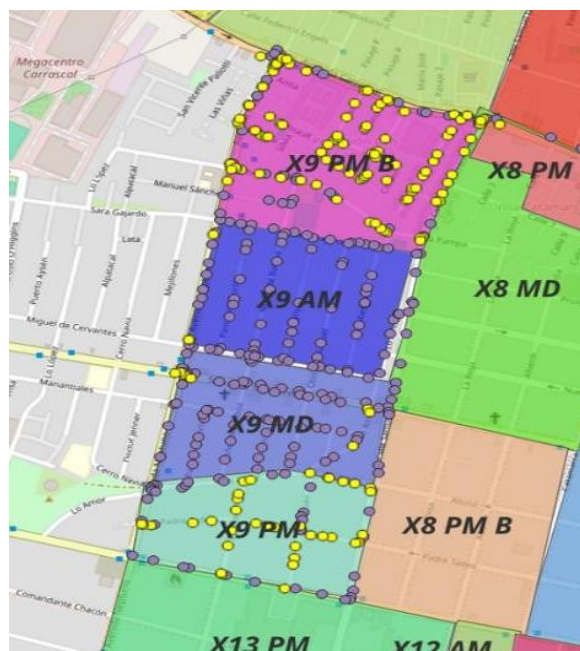


Fig. 3 Caso especial de orden de recolección

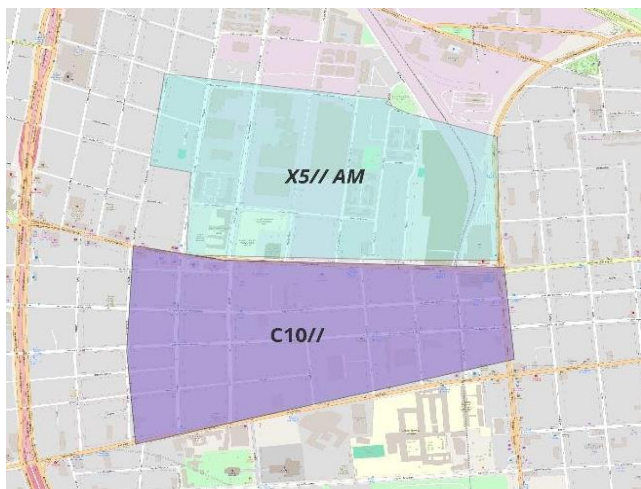


Fig. 4 Caso de orden de recolección

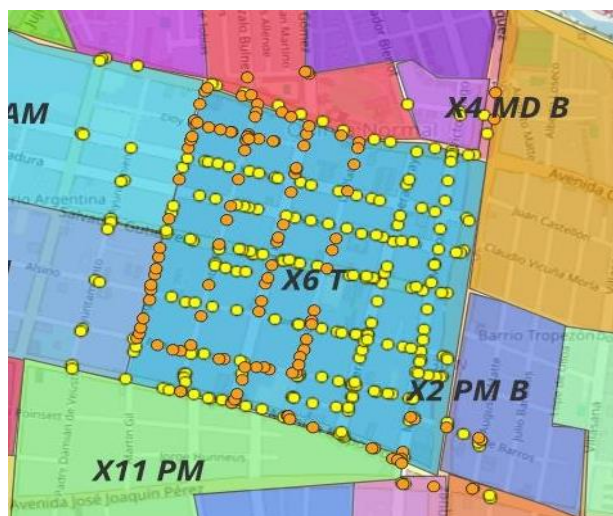


Fig. 5 Caso especial de traslapo de recorrido de recolección

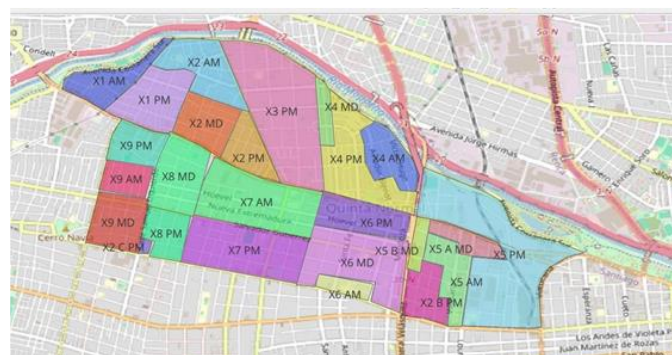
La Fig. 4 muestra otro ejemplo con dos zonas identificadas por el símbolo "/" para indicar que los datos fueron complementados con datos obtenidos a partir de los puntos GPS registrados el 24 de octubre de 2022 como día adicional. Esta inclusión busca recopilar la mayor cantidad de datos e identificar la mayor cantidad de zonas posibles. De esta manera, se asegura un análisis completo y representativo del proceso de recolección de RSD en Quinta Normal.

La Fig. 5 muestra otro caso particular donde la zona con letra "T" indica recorridos de un vehículo recolector que transitó las vías en sentido horizontal para luego transportar y desechar los residuos en KDM. Posteriormente, dicho vehículo recorrió las vías en dirección vertical dentro de la misma área y luego se dirigió nuevamente a KDM para descargar los residuos. Para poder asignar correctamente los RSD recolectados a esta zona, se agruparon ambos recorridos en una única zona (X6 T), consolidando los datos de residuos recolectados.

C. Zonas de recolección de RSD

El sistema de recolección implementado en Quinta Normal se organiza de lunes a sábado, lo que permite cubrir la totalidad del territorio comunal tres veces por semana (Lunes-Miércoles-Viernes y Martes-Jueves-Sábado). Cada ciclo utiliza una zonificación distinta, identificada por códigos y colores específicos en los mapas.

Como resultado del análisis realizado la sección anterior, la Fig. 6 muestra 119 zonas de recolección de RSD identificadas en Quinta Normal separadas por día de recolección (lunes a sábado). Como se menciona anteriormente, existe el supuesto que los recorridos de los vehículos se repiten cada semana del año 2022. La Fig. 6 presenta las zonas identificadas para los seis días de la semana, cada una representada con un color diferente. Los recorridos durante los días lunes está constituido por 23 zonas, para los días martes por 26 zonas, para los días miércoles por 17 zonas, para los días jueves por 19 zonas, para los días viernes por 17 zonas y para los días sábado por 17 zonas. Nótese que existe un mayor número de zonas para los días lunes y martes ya que se recolectan los RSD generados en el día domingo, lo que se traduce en un total 3 días acumulados de RSD. En cambio, los días restantes sólo recolecta dos días.



a) Lunes



IV. CONCLUSIONES

Este estudio se centra en la integración de datos espaciales y descriptivos para la identificación de zonas de recolección de RSD en la comuna de Quinta Normal en Santiago, Chile. Los resultados de este proceso de identificación son esenciales para la gestión y planificación adecuada por parte de las autoridades de las municipalidades chilenas que son responsables del proceso de recolección de RSD. Para ello, se cuenta con mediciones de equipos GPS montados sobre una flota de vehículos recolectores de residuos que transitan por toda la comuna durante seis días de la semana. Además, la empresa KDM proveyó los pesajes diarios de cada vehículo recolector antes de desechar los residuos recolectados.

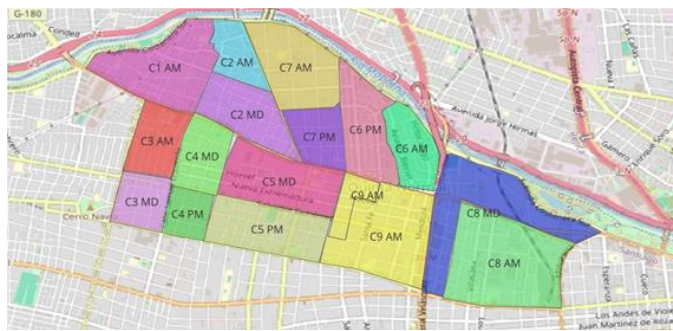
Primero, se realizó un proceso de depuración y preparación de datos geoespaciales y atributos relacionados con la recolección de RSD en la comuna. Posteriormente, se identificaron las zonas de recolección de RSD con el software QGIS y se estimó la cantidad de RSD generados en cada zona identificada utilizando la base de datos con los pesos de los vehículos. Los resultados podrán ser utilizados por autoridades locales para estimar costos asociados a la recolección de RSD, sus respectivas rutas de recolección y posibles modificaciones o mejoras a la planificación del sistema de recolección de RSD en la comuna de Quinta Normal. De esta manera, se obtendrá una mayor eficiencia en la gestión de RSD.

AGRADECIMIENTOS

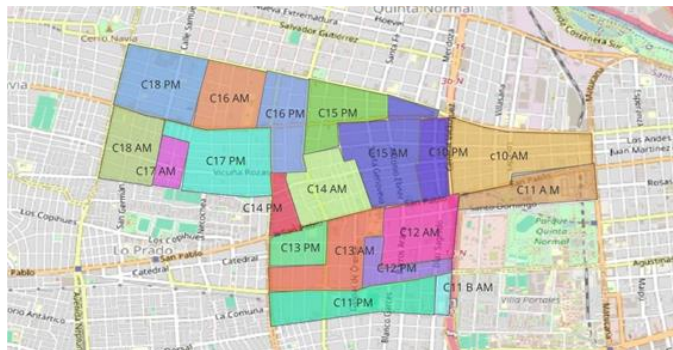
Este trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) a través del proyecto FONDECYT Regular N° 1241471 y el Center for Advanced Transportation, Logistics, and Economic Competitiveness ANID/CIN250061.

REFERENCIAS

- [1] United Nations Environment Programme, UNEP, "Global Waste Management Outlook: Beyond an Age of Waste – Turning Rubbish into a Resource," 2024 [Online]. Available: <https://wedocs.unep.org/rest/api/core/bitstreams/daa56f4d-2479-4e10-88c6-4d65da463299/content>
- [2] J.P. Letelier, "Invisibilidad de la gestión de residuos en las ciudades. Gestión de residuos: Oportunidades y desafíos. Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe," 2024 [Online]. Available: https://www.infraestructurapublica.cl/wp-content/uploads/2024/12/GESTION_RESIDUOS_CPI-Juan-Pablo-letelier-12.12.2024.pdf
- [3] Institut Cerdà, "Modelo de gestión regional de residuos sólidos municipales para la Región Metropolitana de Santiago de Chile," 2024 [Online]. Available: <https://www.icerda.org/es/modelo-de-gestion-regional-de-residuos-solidos-municipales-para-la-region-metropolitana-de-santiago-de-chile/>
- [4] Ministerio del Medio Ambiente, "Estrategia regional de residuos sólidos Región Metropolitana de Santiago 2017-2021. Santiago Recicla," 2018 [Online]. Available: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/PUBLIC-Estrategia-Reg-Residuos-Solidos-Digital.pdf>



c) Miércoles



d) Jueves



e) Viernes



f) Sábado

Fig. 6 Zonas identificadas para cada día de recolección

- [5] A. Castro y V. Reyes, "Propuesta de plan de desarrollo estratégico para la gestión integral de residuos sólidos domiciliarios para la comuna de Quinta Normal," Tesis para optar a título de Ingeniero Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente. Universidad Tecnológica Metropolitana, 2020 [Online]. Available: <https://repositorio.utem.cl/handle/30081993/1195>
- [6] United Nations, "The Sustainable Development Goals Report," 2022 [Online]. Available: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022.pdf>
- [7] Ministerio del Medio Ambiente, "Residuos," 2021 [Online]. Available: <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/01/C10-residuos-rema-2021.pdf>
- [8] KDM Empresas, "Antecedentes Sobre Envases y Embalajes que aporten a la elaboración de las metas de Recolección y Valorización," 2019 [Online]. Available: <https://economy.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/06/12-KDM-S-A.pdf>
- [9] T. Nguyen and B. Wilson, "Fuel consumption estimation for curbside municipal solid waste (MSW) collection activities," *Waste Manag. Res.*, vol. 28, pp. 289–297., 2010.
- [10] T.E. Kanchanabhan, J. Abbas Mohaideen, S. Srinivasan, and V.L. Kalyana Sundaram, "Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality," *Waste Manag Res.*, vol. 29, no. 3, pp. 323–339, 2011.
- [11] M. Caroca y B. Ingram, "Ubi.Bas: Facilitando la recolección de basura de la ciudad de Curicó," Ingeniería Civil en Computación de la Universidad de Talca, 2013 [Online]. Available: <https://repositorio.utalca.cl/repositorio/handle/1950/10228>
- [12] J. Hidalgo-Crespo, C.I. Álvarez-Mendoza, M. Soto, and J.L. Amaya-Rivas, "Quantification and mapping of domestic plastic waste using GIS/GPS approach at the city of Guayaquil," 2022. *Procedia CIRP*, vol. 105, pp. 86–91.
- [13] D. Iriarte, "Optimización de la planificación de la recolección de residuos domiciliarios en la comuna de Vitacura usando información georeferenciada," Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión de Operaciones. Universidad de Chile, 2023 [Online]. Available: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/199527>
- [14] S. Das, A. Baral, I. M. Rafizul, and S. Berner, "Efficiency enhancement in waste management through GIS-based route optimization," *Clean Eng Technol*, vol. 21, no. 100775, 2024.
- [15] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, BCN, "Quinta Normal. Reporte Comunal," 2021 [Online]. Available: https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2021&idcom=13126
- [16] Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, SUBDERE, "Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables," Programa Nacional de Residuos Sólidos, 2018 [Online]. Available: https://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/4.1_diagnostico_introduccion_agosto_2018.pdf
- [17] C. Blazquez, F. Yuraszeck, F. Gallardo, and N. Bernal, "Solving the Recyclable Household Waste Bin Location–Allocation Problem: A Case Study of the Commune of Quinta Normal in Santiago, Chile," *Sustainability*, vol. 17, no. 21, pp. 9837, 2025.