

Mapa de generación de residuos sólidos urbanos (RSU) del Área Metropolitana de Mendoza

Municipal solid waste generation map of the Mendoza Metropolitan Area

Aldana Victoria Guevara Pérez¹

Antonio Gallardo Izquierdo²

¹CONICET. UNCUIYO, Área CEIRS Sostenibilidad e Ingeniería de Residuos

²UJI, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción

¹ E mail:aldana.guevara@uncuyo.edu.ar

Guevara Perez, A.V.; Gallardo Izquierdo, A. (2024). Mapa de generación de residuos sólidos urbanos (RSU) del Área Metropolitana de Mendoza. *Revista Estudios Ambientales*, 12 (2), 153-167.

Recibido: 24/07/2024 - **Aceptado:** 20/11/2024 – **Publicado:** 28/12/2024

RESUMEN

El manejo ineficiente de residuos y su impacto territorial enfrenta problemáticas ambientales, sociales y económicas. Así, emergen el Ordenamiento Territorial y la Economía Circular en la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos como enfoques cruciales para promover el desarrollo sostenible. El presente trabajo tiene como objetivo estimar la distribución espacial de la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en un mapa del Área Metropolitana de Mendoza (AMM) teniendo en cuenta las variables relacionadas. Se utilizó el Sistema de Información Geográfica QGIS y apoyados en Python y Excel para el análisis de datos, se incorporaron variables como densidad poblacional, frecuentemente utilizada, pero también, se incorporó la población flotante, tanto las personas que se desplazan dentro del AMM como los turistas. Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica, recopilación de información oficial y procesamiento de datos realizados en las entrevistas a municipios. El resultado incluyó un mapa de la población equivalente que frecuenta cada área territorial y a partir del cual se calculó la generación de RSU en cada radio censal de cada departamento del AMM. Esto permite visualizar las disparidades en la distribución espacial de la generación de residuos. Futuras investigaciones podrían incorporar más variables para estimar de manera más precisa

la generación de RSU de acuerdo, por ejemplo, al uso del suelo, actividad socioeconómica, escolarización. También se destaca que, se puede utilizar una metodología similar para estimar la cantidad de Residuos Secos Reciclables o de corrientes de residuos de interés. Se concluye que esta información es relevante para la toma de decisiones informadas, la planificación urbana y la formulación de políticas eficaces de gestión de residuos. Los mapas generados proporcionan una herramienta valiosa para identificar áreas críticas y optimizar la ubicación de infraestructuras de manejo de residuos, así como para diseñar rutas de recolección eficientes.

PALABRAS CLAVE: territorio, gestión, sostenible, generación, residuos.

ABSTRACT

Inefficient waste management and its territorial impact have environmental, social and economic problems. Thus, land use planning and the Circular Economy in Integrated Solid Urban Waste Management are important to promote sustainable development. The goal of this paper is to estimate the spatial distribution of municipal solid waste (MSW) generation in a map of the Mendoza Metropolitan Area (MMA), considering the variables related. The Geographic Information System was used QGIS and supported by Python and Excel for data analysis. The variables considered were population density, as usual, but also, were incorporated the floating population for people moving within the AMM and tourists too. A bibliographic search was carried out, official information was compiled and data from interviews with municipalities was processed. The result includes a map of the equivalent population that frequents each territorial area and from which the generation of MSW was calculated. This allows us to visualize the differences in the spatial distribution of waste generation. Future research could incorporate more variables to make estimate MSW generation more accurately. Those variables could be, for example, land use, socioeconomic activity, schooling. Also, that a similar methodology can be used to estimate the spatial distribution of Dry Recyclable Waste or a kind of waste. It is concluded that this information is relevant for informed decision making, urban planning and the formulation of effective waste management policies. The maps generated provide a valuable tool for identifying critical areas and optimizing the location of waste management infrastructures, as well as for designing efficient collection routes.

KEY WORDS: territory, management, sustainable, generation, waste.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la población se expresó en el crecimiento de las zonas urbanas y de la desigualdad en las sociedades y los sistemas que la configuran. Los asentamientos muestran la interacción entre el ser humano y el ambiente natural que lo rodea, reflejando el impacto sobre el territorio, con los recursos naturales y el ambiente en general. Un ejemplo de esta interacción es la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU), donde su manejo inadecuado de residuos trae impactos ambientales, sociales, de salud pública y económicos (Jaramillo, 2002). Es entonces, donde se toma el Ordenamiento Territorial (OT) como política y disciplina para orientar la región al Desarrollo Sostenible. De la misma manera, un enfoque circular de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) contribuye a lograr un desarrollo sostenible optimizando la recuperación de residuos reciclables, reduciendo su generación y minimizando el impacto ambiental (Guevara Pérez & Rubio, 2023; Seguí et al., 2018).

Para mejorar la GIRSU, desde las herramientas prácticas del OT, se puede realizar un diagnóstico y análisis del entorno urbano, como también proponer una mejor espacialidad y distribución de las instalaciones a través de diagnosticar, planificar y controlar todas sus etapas de gestión (Urbina & Zuñiga, 2016). Por esto, algunos aspectos de la gestión de RSU están contemplados en los Planes Municipales de Ordenamiento Territorial (PMOT) que han presentado los departamentos de la provincia de Mendoza.

Es destacable la importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta informática imprescindible para capturar, almacenar, gestionar, manipular, analizar, modelar y representar datos referenciados, y son útiles para resolver problemas complejos de planificación y gestión territorial

(Blanco, 2016). De acuerdo con (Gallardo et al., 2010) en el caso de la GIRSU, los SIG han permitido simplificar el diseño de la gestión, facilitando la comparación entre las distintas alternativas y escenarios posibles, y reduciendo la dificultad y tiempo necesario para el trazado y análisis de las redes de circulación de camiones recolectores. Sin embargo, hasta hace poco, no se disponía de bases de datos para la planificación de los residuos sólidos y esta información, todavía, es débil (Tchobanoglous & Kreith, 2018).

Por su parte, la ciencia de datos puede abordar la creciente complejidad de los flujos de productos y recursos de forma circular (Lacy & Rutqvist, 2015). En consecuencia, la gestión de RSU puede beneficiarse de la ciencia de datos al utilizar técnicas y análisis para optimizar la separación en origen, la recolección, el reciclaje, la disposición final y otras actividades relacionadas con la gestión de residuos (Abdallah et al., 2020). Para gestionar las etapas es necesario poseer, complementar y analizar información necesaria sobre las primeras etapas como es la generación de RSU.

Para analizar la generación de RSU a lo largo del tiempo y en diferentes áreas geográficas, es fundamental estudiar el territorio considerando sus cambios, transformaciones, similitudes y diferencias (Treviño-Hernández et al., 2019). Los factores o variables significativos a considerar son la densidad y distribución espacial de la población, nivel educativo, empleo y nivel socioeconómico (Guha et al., 2023; Sánchez Muñoz et al., 2020). Estos influyen también en la composición, junto con época del año, el tipo de actividad, uso del suelo, comportamiento (Fontaine et al., 2024; Gallardo et al., 2015). Es importante ver cómo estos estudios incorporan la dimensión espacial a la planificación, incluso a diferentes escalas tomando la densidad poblacional como componente determinante de la producción de RSU (Solíz et al., 2020).

Generalmente, se considera el impacto en la generación de residuos de la población residente. Sin embargo, nuevos estudios han incorporado y comprobado el impacto de la población flotante, ya sea la población turística o la que se desplaza en ciudades por trabajo, estudio o recreación como festivales (Arbulú et al., 2024; Zargar et al., 2023). En el caso de los destinos turísticos montañosos o rurales, se encontró que es difícil determinar ese efecto ya que impacta de manera más dispersa sobre barrios y áreas residenciales (Zargar et al., 2023). No obstante, en ciudades se genera un impacto en el metabolismo y en la capacidad de los sistemas de gestión de RSU. En el presente trabajo se estimará el impacto y la distribución de la población flotante en todo el territorio del área de estudio.

El impacto del turismo sobre residuos separados o no, se ha medido con diferentes variables como número de turistas que arriban, cantidad de noches, costos o eficiencia en la GIRSU de la Ciudad (Arbulú et al., 2024). En este estudio para la población flotante se considerará la cantidad de personas que se movilizan y el tiempo que permanecen en cada departamento. También se considera que el comportamiento del turismo está directamente relacionado con los hábitos de consumo del lugar de residencia e incluso con la densidad poblacional (Voukkali et al., 2024), por lo que las estimaciones en la generación de RSU se realizarán a partir del departamento en el cual se hospedan y su densidad.

El consorcio de gestión de RSU del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), posee un "Plan GIRSU del AMM", que contiene un diagnóstico sobre la situación de los RSU, un plan de comunicación ambiental y social y finalmente un plan de acción y cronograma (Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial, 2019). Al analizar su ejecución, se observó que algunos municipios del AMM comparten la

implementación de etapas GIRSU, principalmente la recolección y la disposición final, y que se ha comenzado a realizar separación en origen de residuos (Guevara Pérez & Llamas, 2023). Sin embargo, estos sistemas GIRSU se planificaron con datos que están estimados a partir de la caracterización realizada por la Universidad Tecnológica Nacional en 2004. Además, la información procesada y estimada no está asociada ni analizada geográficamente de acuerdo a las diferentes zonas dentro de cada departamento. Esto constituye un desafío para el presente trabajo al actualizar los valores de generación de residuos de acuerdo a una encuesta a encargados municipales y vincularlos al territorio. Además, existe la posibilidad de recuperación de materiales ya que, según Bobillo & Santonato, (2017) si en Mendoza se llevara adelante la separación, se podría recuperar el 23%, sin contemplar la fracción orgánica, de los RSU generados. Por otro lado, en este Plan GIRSU del AMM se realiza esta estimación con la población flotante de los departamentos. Sin embargo, consideran la población flotante de acuerdo a la actividad turística de la provincia sin considerar a las personas que se movilizan durante el día para trabajar, estudiar o tener fines recreativos en otro departamento diferente al que residen (Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial, 2017). Esto se salva en el presente estudio calculando la población flotante o pendular a través de la Encuesta Origen Destino (Ente de Movilidad Provincial & Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas, 2021).

El objetivo del presente trabajo es obtener un mapa de densidad de generación de RSU del AMM con datos actualizados que permita conocer la distribución espacial, como aproximación territorial de la generación en cada departamento. De esta manera, se genera información útil para la toma de decisiones informadas y la obtención de modelo de ordenamiento del

territorio. En este caso, será un insumo en la planificación de políticas de gestión de RSU y la asignación eficiente de recursos en el manejo de residuos. En particular en la implementación de estrategias de separación en origen y diseño de las rutas de recolección y su periodicidad.

METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo propuesto en el trabajo, se llevó adelante la metodología de la Figura 1. Para estimar la generación de RSU, se tuvo en cuenta la información disponible con la cual se identificaron las principales variables referidas a la cantidad de personas que habitan y se desplazan por el AMM. Por un lado, se consideró la población permanente, la que vive en cada departamento y la conocida también como población pendular o flotante, que es la que se mueve de un departamento a otro dentro del AMM y los turistas que visitan la zona de estudio.

Para ello, se realizó una búsqueda bibliográfica y de información oficial relacionada. La población que vive en cada departamento se obtuvo con los últimos datos geospaciales publicados del censo 2010. De allí se obtuvieron 1183 radios censales de todos los departamentos, los cuales son polígonos que representan áreas geográficas censadas por cada encuestador del censo 2010. Cada radio censal tiene asociado el nombre del departamento al que pertenece, el número de habitantes de ese radio, el área del radio y la densidad poblacional. Este tipo de datos se visualizó en QGIS donde el uso de la interfaz o consola de Python facilitó asociar datos de Tasa de Generación Anual (TGA) de RSU de cada departamento en la tabla de atributos. Luego, se exportó la tabla de atributos a Excel para poder procesar mejor los datos.

Para estimar mejor la población equivalente flotante con la cantidad de

personas que se movilizan dentro del AMM para realizar sus actividades se utilizaron datos publicados de las Encuestas Origen Destino. Para complementar el cálculo de población flotante con los datos de turismo se utilizaron los datos oficiales del Observatorio de Turismo de la página de la Secretaría de Turismo de Mendoza. A la población total calculada se la denominó población equivalente.

Por otro lado, para conocer la TGA, se realizaron entrevistas a los encargados municipales de la GIRSU, obteniendo una actualización de los valores estimados a partir de la caracterización del 2004, excepto para un departamento para el cual sí se utilizó la estimación a partir de esta caracterización.

Finalmente, se utilizó nuevamente el software QGIS de código abierto para la visualización de los datos de densidad de generación de RSU obtenidos.

Cálculo de la población equivalente

Las personas equivalentes (P_{eqTotal}) generadoras de RSU se consideran a las personas residentes del departamento, sumado a las que recibe un departamento por movilidad interdepartamental y por turismo. Esto se toma como medida para representar la carga poblacional de cada unidad o radio censal, aunque también se obtienen valores totales por departamento.

Para estimar las personas equivalentes que generan residuos en el territorio considerando la movilidad o el desplazamiento diario de los habitantes (P_{eqOD}), se calculó para cada departamento un Coeficiente de Movilidad (CMov) que pondera las personas que generan residuos en cada radio censal (Ecuación 1). Para esto se trabajó con la matriz origen destino calculando la cantidad de personas que entran y salen de cada departamento.

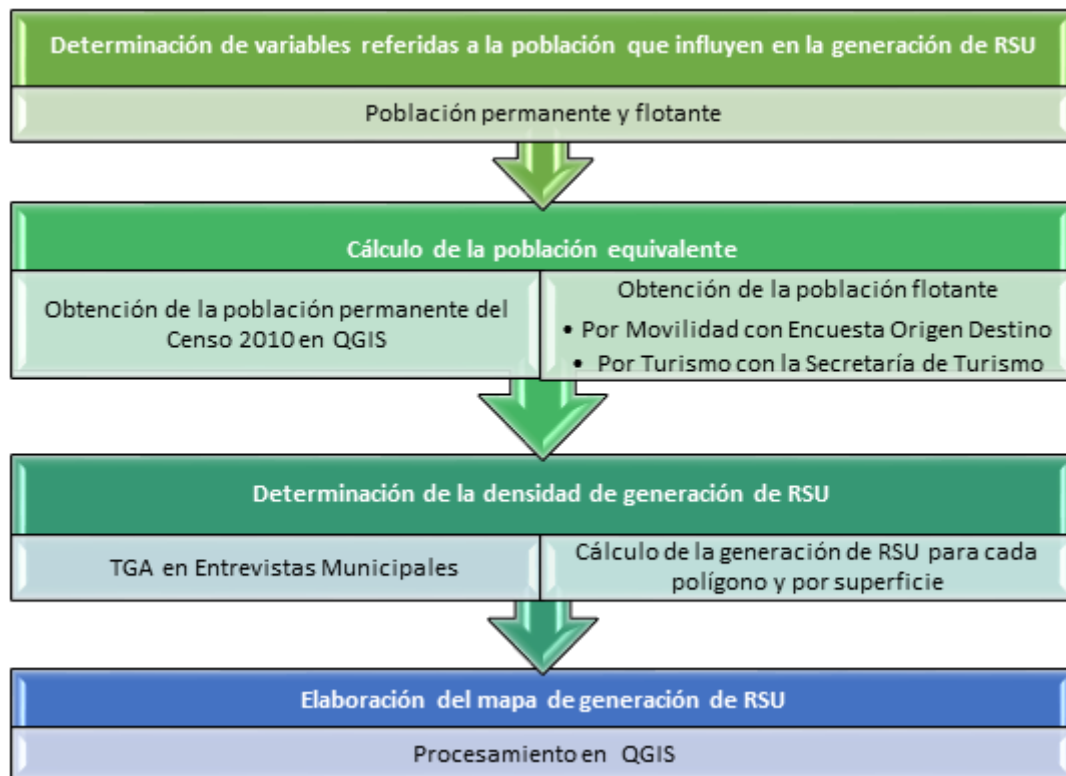


Figura 1. Metodología general del presente trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Si este coeficiente es mayor a 1, significa que el departamento recibe más personas que las que salen del mismo. En contraposición si el coeficiente es menor a 1, hay más personas que salen del mismo para realizar actividades fuera de donde residen. El mismo se calcula de la siguiente manera

1, hay más personas que salen del mismo para realizar actividades fuera de donde residen. El mismo se calcula de la siguiente manera

$$CMov_{Di} = \frac{Pr_{Di} + (Pe_i - Ps_i)}{Pr_{Di}} \# \dots (1)$$

CMov_{Di}= Coeficiente de Movilidad del Departamento i

D_i= Departamento i

Pr_{Di}=Personas residentes del departamento i (pers)

Pe_i=Personas que entran del departamento i (pers)

Ps_i=Personas que salen del departamento i (pers)

Una vez calculado el coeficiente de cada departamento, para obtener las personas equivalentes que recibe cada polígono, se multiplica CMov por el número de personas residentes de cada radio censal y se restan las personas residentes. De esta manera, se supone que se reciben personas de acuerdo a la cantidad de personas que viven allí. Al total se corrige

con un factor de 0,5 puesto que son personas que desarrollan alguna actividad en el departamento de destino, pero luego vuelven al departamento origen donde residen, generando residuos en ambos lugares (Ecuación 2). Este término puede ser positivo o negativo dependiendo del CMov.

$$PeqOD_{RCi} = ((Pr_{RCi} * CMov_{Di}) - Pr_{RCi}) * 0,5 \# \dots (2)$$

PeqOD_{RCi}= Personas equivalentes que recibe por movilidad Origen Destino cada Radio Censal del departamento i (pers)

CMov_{Di}= Coeficiente de Movilidad del Departamento i

Pr_{RCi}=Personas residentes del Radio Censal del Departamento i (pers)

Para realizar la estimación de generación por la variable Turismo, se realizó una estimación de turistas por cada radio censal ya que no se dispone de la información de visitantes de cada departamento. Entonces, primero se calculó el porcentaje de plazas disponibles en cada departamento respecto al AMM, es decir, la cantidad de camas útiles para recibir visitantes.

Luego, se utilizó el porcentaje de plazas utilizadas para estimar la cantidad de visitantes en cada departamento, ya que se conocía la totalidad de turistas (Tra)

que es de 1.372.468 personas/año del AMM en el 2.023 y la cantidad de días de estancia promedio (EP) que son 4 días. Finalmente, para distribuir la cantidad de turistas por cada radio censal, se utilizó la cantidad de personas residentes de cada radio censal (Ecuación 3). Como en la estimación por movilidad, se parte nuevamente con la suposición de que ese territorio recibe turistas de una manera directamente proporcional a la cantidad de residentes, ya que éste es un indicador de mayor cantidad de servicios.

$$PeqT_{RCi} = \frac{Pl_{Di} * Tra * EP * Pr_{RCi}}{365 * Pr_{Di}} \# \dots (3)$$

PeqOD_{RCi}= Personas equivalentes que recibe por Turismo cada Radio Censal i (pers)

Pl_{Di}= Proporción de plazas disponibles en el Departamento i

Tra= Cantidad total de turistas regional anual (pers)

EP= Estadía promedio de los turistas (días)

Posteriormente se calculó las personas equivalentes totales para cada radio censal a partir de las personas

equivalentes obtenidas en las ecuaciones 2 y 3

$$PeqTotal_{RCi} = Pr_{RCi} + PeqOD_{RCi} + PeqT_{RCi} \# \dots (4)$$

PeqTotal_{RCi}= Personas equivalentes totales para cada radio censal.

Determinación de la densidad de generación de RSU

Se analizaron las entrevistas realizadas a 6 de los 7 departamentos y se procesaron los datos de generación de RSU. En las entrevistas se obtuvieron las cantidades totales de generación de RSU de cada

departamento estimadas a partir de la disposición final. A partir de esto, se calculó la TGA_{res} (TGA de residentes) de RSU de cada municipio con los datos de disposición final y residentes del municipio. De la misma manera, se calculó

la de TGA_{res} de Residuos Secos Reciclables (RSR).

En paralelo se calculó la $TGA_{peqTotal}$ (TGA de personas equivalentes totales) para la cual se utilizaron los datos de disposición final y la población equivalente del municipio. Finalmente, para calcular la generación de residuos por radio censal

se utiliza la cantidad de personas equivalentes totales y la $TGA_{peqTotal}$ del departamento al que pertenece ese radio censal. Luego, el resultado se fracciona por el área comprendida de cada radio censal y así se obtiene la generación de residuos por unidad de superficie (Ecuación 5).

$$DGA_{RCi} = \frac{PeqTotal_{RCi} * TGA_{peq}}{A_{RCi}} \# \dots (5)$$

DGA_{RCi} = Densidad anual de residuos generados por unidad de superficie (kg/km²)

TGA_{peq} =Cantidad de residuos generados en el departamento por año por persona equivalente (kg/hab-año)

A_{RCi} = Área del radio censal (km²)

Es importante mencionar que la generación de residuos se indica de manera genérica, permitiendo ajustar el mapa de acuerdo al objetivo de gestión. Por ejemplo, para el cálculo total de RSU, se utilizará la TGA de RSU. Otra posibilidad es que, podría emplearse la TGA de RSR o inclusive la TGA para cada corriente de residuo de interés.

Elaboración del mapa de densidad de generación de RSU

Luego de aplicar las fórmulas para procesar y obtener los datos finales de población equivalente y densidad de generación de RSU de cada radio censal, se introducen en QGIS.

En las capas de QGIS se categorizó el resultado en diferentes escalas de rojo para visualizar mejor los resultados de los diferentes polígonos que producen más o menos RSU. También se exportaron mapas en diferentes escalas ya que, en la visión general de todos los municipios del AMM no se diferencian bien los radios censales.

Finalmente, se agregó una capa de áreas recreativas del AMM para visualizar áreas críticas de generación de RSU, complementando de esta manera con zonas donde personas realizan actividades, pero no residen allí.

RESULTADOS

Para comprender la dinámica de la generación de residuos en el AMM, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica y recopilación de información oficial. Luego de procesar los datos geoespaciales censales, la información proveniente de las Encuestas Origen Destino y de la Secretaría de Turismo de la provincia, se obtuvo el mapa aproximado de la población que frecuenta cada parcela territorio y a partir del cual se calculó la densidad de generación de RSU.

Al calcular la población equivalente, se obtuvo una estimación de personas residentes sumado a las que entran y salen de cada radio censal por movilidad y turismo. En la Tabla 1 se expresan valores por departamento de personas equivalentes por movilidad y turismo. Se destaca el departamento de Ciudad, ya que posee la mayor cantidad de personas equivalentes tanto por movilidad como por turismo.

Para la determinación de la densidad de generación de RSU, no es posible presentar la información obtenida sobre los 1183 radios censales. Por eso, se presenta en la Tabla 1 un resumen de datos obtenidos para cada departamento, tanto de los datos de las entrevistas (TGA_{res} RSU, TGA_{res} RSR) como de

promedios obtenidos a partir de los radios censales (TGA_{peq} , Personas equivalentes, Densidad de generación de RSU).

Tabla 1. Tabla resumen de características y variables consideradas en la generación de RSU de los departamentos del AMM.

Departamento	Ciudad	Godoy Cruz	Guaymallén	Las Heras	Lavalle	Luján de Cuyo	Maipú
Habitantes	127.160	195.159	321.966	234.401	47.167	175.056	219.402
Coficiente de Movilidad	1,028	1,003	0,99	0,985	1	1,002	1,007
Promedio de personas eq. por movilidad (pers/radio censal)	10,48	1,51	-5,29	-8,40	0	1,46	5,43
Total de personas eq. por movilidad (pers)	1.824	333	-1.480	-1.663	0	188	798
Plazas disponibles para Turismo (%)	67,59	0,5	14,63	8,49	0,41	5,68	2,69
Promedio de personas eq. por turismo (pers/radio censal)	65,84	0,34	7,86	6,45	1,78	6,63	2,75
Total de personas eq. por turismo (pers)	10.166	74	2.201	1.277	62	854	404
Personas eq. totals (pers)	139.150	195.566	322.687	234.014	47.229	176.098	220.604
TGA_{peqTotal} RSU del departamento (kg/hab-año)	527,24	507,65	268,08	467,92	162,29	269,45	306,09
TGA_{res} RSU del departamento (kg/hab-año)	578,63	508,71	268,68	467,15	162,51	271,06	307,77

TGA _{res} RSR del departamento (kg/hab-año)	131,65	115,77	56,95	89,07	37,49	89,4	140,89
Densidad anual de generación de RSU (tn/km ²)	4.774,60	3.796,79	1.923,83	3.543,78	199,55	1.190,91	1.494,37

Fuente: Elaboración propia.

El mapa realizado (Figura 2) es una representación gráfica de la distribución espacial de la generación de RSU, ya que se utilizó la TGA_{peq Total} de RSU. Desde los centros urbanos hasta las zonas rurales, el mapa muestra las disparidades en la

generación de RSU. Se visualizan en distintas escalas de rojo la densidad de generación de RSU, correspondiendo el más oscuro, a mayor generación de RSU por km² por año

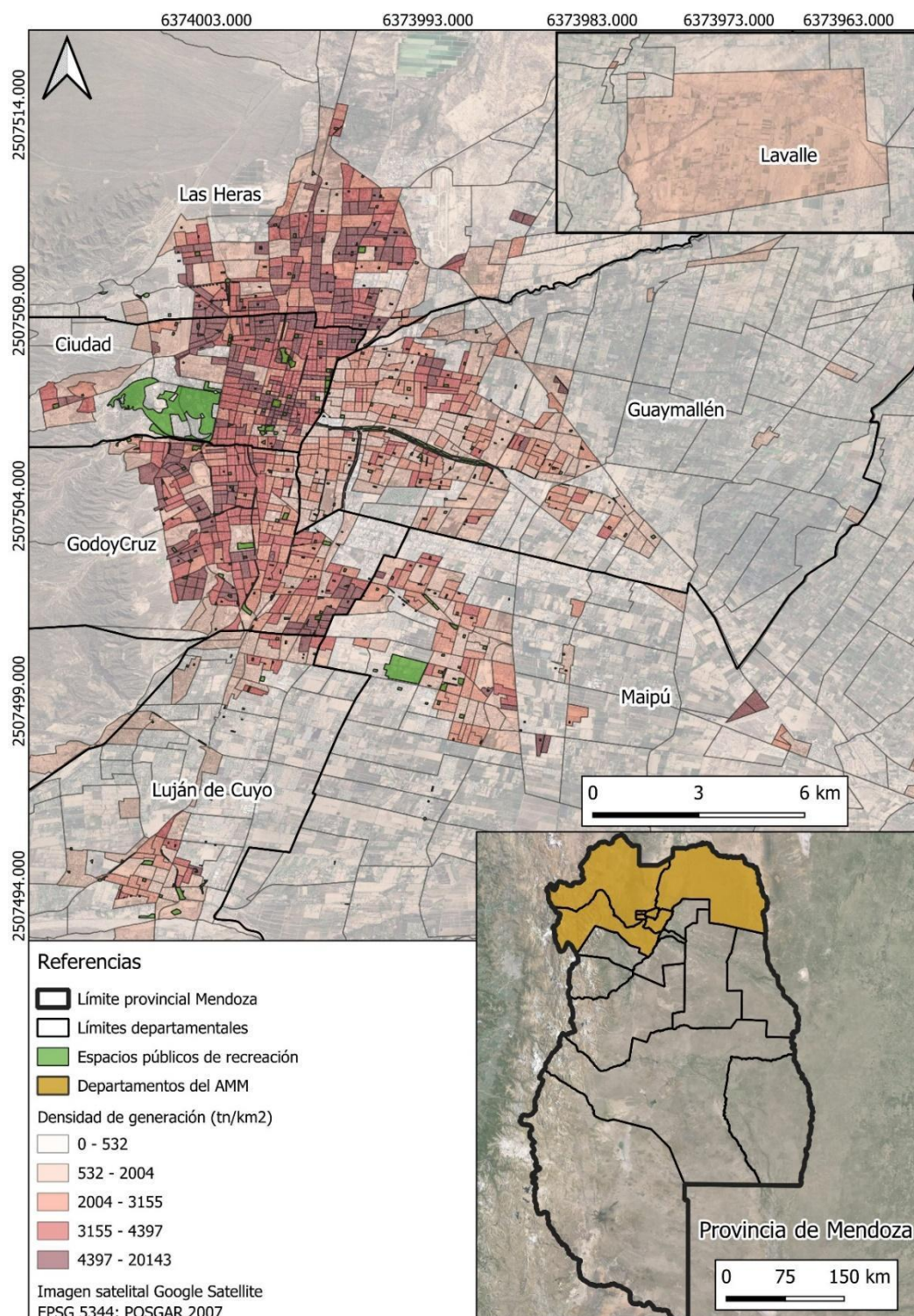


Figura 2. Mapa de densidad de generación de RSU del AMM para el año 2024.
 Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Al analizar y comparar el Coeficiente de Movilidad calculado pareciera que no hay diferencias significativas entre los departamentos ya que los valores son cercanos a 1 (Tabla 1). Sin embargo, al analizar el promedio de personas equivalentes por movilidad, se puede visualizar que de Las Heras y Guaymallén salen por cada radio censal (-8,4 y -5,29 personas respectivamente). Por su parte, Ciudad es el que más recibe personas por radio censal por desplazamientos interdepartamentales en el AMM (10,48). Esto se puede explicar porque allí se localizan universidades, actividad bancaria, comercios, etc.

Respecto al promedio de personas equivalentes que se recibe por turismo en cada radio censal, se observan diferencias significativas. Como se visualiza en la Tabla 1, Ciudad recibe por turismo por radio censal 65,84 personas equivalentes (10.166 total), seguido de Guaymallén con 7,86 y Luján de Cuyo con 6,63. Al analizar la totalidad de turistas se ve que Las Heras juega también un papel importante recibiendo 1.277 personas eq. En estos casos, los municipios de Guaymallén y Las Heras experimentan diferencias relevantes en cuanto al balance negativo de personas por la movilidad que salen del departamento (-1.480 y -1.663 respectivamente). Esto luego se compensa ya que son municipios que reciben personas por turismo.

Si se analizan los municipios Godoy Cruz y Lavalle no poseen cambios relevantes en el balance por movilidad ni por turismo. Un caso similar es Maipú que posee un balance levemente superior al recibir personas por la movilidad del AMM. Sin embargo, Luján se destaca por recibir turismo, más que por otros motivos.

Por otro lado, las mayores TGA_{res} de RSU son del departamento de Ciudad (578,63 kg/hab-año) seguido de Godoy Cruz (508,71 kg/hab-año) y Las Heras (467,15 kg/hab-año). Esto indica que la generación

de RSU no depende únicamente de la cantidad de personas ya que, no coincide con los departamentos con mayor población que son Guaymallén, Las Heras y Maipú respectivamente. No obstante, al analizar la $TGA_{peqTotal}$ el departamento de Ciudad reduce su TGA un 9% a 527,24 kg/hab-año. Es el departamento que más reducción experimenta ya que es el que mayor población recibe del exterior. En los departamentos de Godoy Cruz, Luján y Maipú se aprecia una leve disminución de la TGA, asociada al aumento en la población equivalente. Esto demuestra la importancia de considerar la población flotante para el cálculo de las TGA de RSU, ya que de esta forma se puede calcular la generación real del conjunto de la población que desarrolla sus actividades en ese lugar.

Respecto a las densidades de generación de RSU, se observan marcadas diferencias siendo Ciudad, Godoy Cruz y Las Heras los departamentos que tienen una mayor generación de RSU por km^2 . Luego siguen Guaymallén, Maipú, Luján de Cuyo y Lavalle con menores densidades. Esto puede verse de mejor manera en la Figura 2, ya que el mapa muestra las diferencias incluso para cada radio censal del AMM.

Al analizar estos resultados, las TGA y las densidades de generación de RSU, se concuerda con estudios previos que muestran una correlación directa entre densidad poblacional, actividad turística y generación de residuos. Sin embargo, es necesario tener en consideración otras variables para tener una descripción más acabada de la realidad del área metropolitana. Por esta razón, futuras investigaciones podrían centrarse en métodos más precisos para estimar la generación de RSU de acuerdo, por ejemplo, al cambio de estación, uso del suelo, actividad socioeconómica o escolarización. Podría estimarse también el flujo de personas de los espacios verdes presentes en el mapa para saber la cantidad de residuos generados en los

mismos. Incluso se podría sugerir una metodología similar para estimar la cantidad de Residuos SR o de corrientes de residuos de interés (plástico, papel, cartón, ...).

Estos resultados toman relevancia ya que, es necesario que los gobiernos, las empresas y las organizaciones dispongan de instrumentos e información estratégica y actualizada que les permitan tomar decisiones informadas y que faciliten la recuperación de recursos a partir de los RSU y así promover la Economía Circular.

CONCLUSIONES

La estimación de personas equivalentes es fundamental para evaluar la población pendular que reside y genera RSU en el territorio. Se destaca la importancia del Coeficiente de Movilidad desarrollado a partir de las Encuestas Origen Destino que permite, realizar un balance de las personas que ingresan y salen del departamento para realizar otras actividades en otros departamentos. También es relevante la estimación generada de población flotante a partir de datos de la Secretaría de Turismo para estimar la cantidad de turistas que frecuentan cada departamento del AMM usando como variable principal la cantidad de plazas disponibles para turismo.

Los desplazamientos interdepartamentales del AMM, junto con el análisis del turismo dan una visión más completa y detallada de las personas que generan RSU, ya que influyen en la cantidad y distribución de la generación. En el mismo sentido, se muestra la diferencia de generación de RSU entre los departamentos y los contrastes de densidad de generación dentro de los mismos. Es importante destacar la importancia de considerar la población flotante para el cálculo de la TGA de RSU, ya que si sólo se considera la población residente se le está asignando una

cantidad equivocada tal como se demuestra en el caso de Ciudad.

Las densidades de generación de RSU obtenidas a partir de la población permanente y pendular permite planificar de manera más eficiente la GIRSU del AMM incluso dentro de los departamentos ya que, se identificaron zonas críticas de generación de RSU. Sin embargo, para una estimación más precisa, es necesario incorporar otros factores como los cambios estacionales, el uso del suelo, la actividad socioeconómica y la escolarización.

Además, se resalta importancia del análisis de generación de RSU en ciudades desde un SIG como QGIS. El mapa generado es un insumo base para encontrar localizaciones de infraestructuras de gestión de RSU tales como contenedores de separación. Este enfoque permite colocar más contenedores en las zonas de mayor generación o distribuirlos a igual distancia entre sí, asegurando una recolección más frecuente en las zonas de mayor generación. También es fundamental para diseñar rutas eficientes de recolección ya sea de RSU o de Residuos Secos Reciclables. En definitiva, aunque se puedan considerar más variables, es una metodología valiosa para la aplicación de la GIRSU desde el ordenamiento territorial.

El mapa generado es una herramienta importante para analizar, visualizar y tomar decisiones informadas para el desarrollo de políticas y acciones concretas en el ámbito de la planificación urbana. A través del uso de SIG y el análisis territorial de la GIRSU, estas decisiones pueden optimizar la gestión de RSU, garantizar una distribución eficiente de recursos y reducir impactos negativos en el territorio, es decir, promover a la sostenibilidad ambiental, social y económica.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdallah, M., Abu Talib, M., Feroz, S., Nasir, Q., Abdalla, H., & Mahfood, B. (2020). Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review. In *Waste Management* (Vol. 109, pp. 231–246). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.057>
- Arbulú, I., Rey-Maqueira, J., & Sastre, F. (2024). The impact of TOURISM and seasonality on different types of municipal solid waste (MSW) generation: The case of Ibiza. *Heliyon*, 10(13). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33894>
- Blanco, A. (2016). Localización óptima de contenedores de residuos sólidos urbanos en Alcalá de Henares. *Revistas.Ucm.Es*, 1–23.
- Bobillo, J. M., & Santonato, A. J. (2017). *Análisis de la cadena de intermediarios de los materiales reciclables en el Área Metropolitana de Mendoza. Anexo PISO*.
- Ente de Movilidad Provincial, & Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas. (2021). *Informe estadístico: Encuesta de Movilidad Origen Destino, Mendoza 2021*. <https://emop.com.ar/documentos/Informe%20Origen%20Destino.pdf>
- Fontaine, L., Legros, R., & Frayret, J. M. (2024). Solid waste generation prediction model framework using socioeconomic and demographic factors with real-time MSW collection data. *Waste Management and Research*. <https://doi.org/10.1177/0734242X241231414>
- Gallardo, A., Bovea, M. D., Colomer, F. J., Prades, M., & Carlos, M. (2010). Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain. *Waste Management*, 30(12), 2430–2439. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.026>
- Gallardo, A., Carlos, M., Peris, M., & Colomer, F. J. (2015). Methodology to design a municipal solid waste generation and composition map: A case study. *Waste Management*, 36, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.008>
- Guevara Pérez, A. V., & Llamas, S. (2023). *Evolución de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos del Área Metropolitana de Mendoza. X SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESIDUOS “Hacia la circularidad y el residuo cero.”* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094906>
- Guevara Pérez, A. V., & Rubio, M. C. (2023). La GIRSU desde el Ordenamiento Territorial y la Economía Circular en la Provincia de Mendoza, Argentina. *Workshop Transición Energética, Economía Circular y Ciudades Sostenibles*, 1. <https://www.riar.com.ar/wp-content/uploads/2023/12/1-WORKSHOP-final.pdf>
- Guha, B., Momtaz, Z., Kafy, A. Al, & Rahaman, Z. A. (2023). Estimating solid waste generation and suitability analysis of landfill sites using regression, geospatial, and remote sensing techniques in Rangpur, Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10695-4>
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente*, 287.
- Lacy, P., & Rutqvist, J. (2015). *Waste to Wealth*. <https://doi.org/10.1057/9781137530707>
- Sánchez Muñoz, M. del P., Cruz Cerón, J. G., & Maldonado Espinel, P. C. (2020). Urban solid waste management in Latin America: An analysis from the perspective of waste generation. *Revista Finanzas y Política Económica*, 11(2), 321–336. <https://doi.org/10.14718/REVFINANZPOLITECON.2019.11.2.6>

Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial. (2017). *Diagnóstico y Caracterización. Primera Parte.*

Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial. (2019). *Plan GIRSU AMM-Ingeniería de proyecto. 2017*, 71. <https://www.mendoza.gov.ar/dpa/proyecto-gestion-integral-de-residuos-solidos-urbanos-zona-metropolitana-de-la-provincia-de-mendoza/>

Seguí, L., Medina, R., & Guerrero, H. (2018). *Gestión de residuos y economía circular.* https://www.diarioabierto.es/wp-content/uploads/2018/09/Gestion_residuos_EAE.pdf

Solíz, M., Durango, J., Solano, J., & Yépez, M. (2020). Cartografía de los residuos sólidos en Ecuador 2020. In *Universidad Andina Simón Bolívar.*

Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2018). Handbook of Solid Waste Management. Second Edition. In *Environmental Pollutants and Their Bioremediation Approaches.* <https://doi.org/10.1201/b22171-12>

Treviño-Hernández, R., Hernandez Rejon, E. M., Cadena Vargas, E., & Adame Martinez, S. (2019). Análisis de la distribución espacial de los RSU en la Zona Metropolitana de Tampico. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 21(2), 83. <https://doi.org/10.36677/qret.v21i2.12227>

Urbina, M. O., & Zuñiga, L. M. (2016). Modelo conceptual para la gestión de los residuos sólidos domiciliarios. *Ciencias Holguín*, 22(3), 1–12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181546432004>

Voukkali, I., Papamichael, I., Loizia, P., & Zorpas, A. A. (2024). Urbanization and solid waste production: prospects and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(12), 17678–17689. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27670-2>

Zargar, T. I., Alam, P., Khan, A. H., Alam, S. S., Abutaleb, A., Abul Hasan, M., & Khan, N. A. (2023). Characterization of municipal solid waste: Measures towards management strategies using statistical analysis. *Journal of Environmental Management*, 342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118331>