

**Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG).**  
Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en  
Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad  
Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 17, Número 31, 2025, Sección I: Artículos. pp. 1-21

---

## EVALUACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA MEGALÓPOLIS MEXICANA MEDIANTE UN ÍNDICE DE PRÁCTICAS ADECUADAS DE DISPOSICIÓN FINAL

**Abigail García-Valerio – Salvador Adame Martínez**

Universidad Autónoma del Estado de México

[abygv7@gmail.com](mailto:abygv7@gmail.com)

### RESUMEN

El manejo adecuado de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) representa un desafío en muchas regiones del mundo. En el contexto específico de la Megalópolis Mexicana, esta problemática adquiere una relevancia significativa debido a la magnitud de su población; aumento en la generación de RSU, entre otros factores. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el manejo de los RSU en la Megalópolis Mexicana a través de la construcción de un Índice de Prácticas adecuadas de Disposición Final (IPADF) mediante una metodología estructurada en tres fases; (i) la identificación, análisis y síntesis de los indicadores constitutivos; (ii) construcción de un índice a través de la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) ratificando la varianza derivada de la primera y segunda componente y el establecimiento de cinco niveles de prácticas de disposición final. Finalmente, (iii) tipificación y regionalización utilizando como herramienta un Sistema de Información Geográfica (SIG) con base en la categorización de sitios de disposición final de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y el tonelaje de RSU recolectados en cada uno de los municipios de la Megalópolis mexicana. Los resultados permitieron clasificar 57 municipios y 16 alcaldías de la Ciudad de México en la Región (A-B), identificados como grandes generadores de RSU. Asimismo, 92 municipios fueron categorizados en la Región (C), de generación media, y 75 municipios en la Región (D), de generación baja. Posteriormente, estas agrupaciones fueron sometidas a un nuevo análisis para representar cartográficamente las particularidades de las prácticas adecuadas de vertido de RSU en la Megalópolis Mexicana.

**Palabras clave:** Residuos sólidos urbanos (RSU), Megalópolis mexicana, disposición final; Análisis de Componentes Principales.

## ABSTRACT

The proper management of Municipal Solid Waste (MSW) poses a significant challenge in many regions worldwide. In the specific context of the Mexican Megalopolis, this issue becomes particularly relevant due to its large population size, increasing MSW generation, and other contributing factors. Therefore, the objective of this study was to assess MSW management in the Mexican Megalopolis through the development of an Index of Adequate Final Disposal Practices (IPADF) using a three-phase methodology: (i) identification, analysis, and synthesis of the constitutive indicators; (ii) index construction using the Principal Component Analysis (PCA) technique, validating the variance derived from the first and second components, and establishing five levels of final disposal practices; and (iii) classification and regionalization using a Geographic Information System (GIS) based on the categorization of final disposal sites according to NOM-083-SEMARNAT-2003 and the volume of MSW collected in each municipality of the Mexican Megalopolis. The results enabled the classification of 57 municipalities and 16 boroughs in Mexico City into Region (A-B), identified as large MSW generators. Additionally, 92 municipalities were categorized in Region (C), corresponding to medium MSW generation, while 75 municipalities were classified in Region (D), representing low generation. Subsequently, these groupings underwent further analysis to cartographically represent the specific characteristics of adequate MSW disposal practices within the Mexican Megalopolis.

**Keywords:** Urban solid waste (USW), Mexican Megalopolis, final disposal, Principal Component Analysis.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente los problemas asociados al manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son complejos; ya sea por la cantidad o la naturaleza de estos; por lo que es necesario llevar a cabo una gestión de una manera ordenada y eficaz de las relaciones y aspectos primordiales implicados (Tchobanoglou, *et al.*, 1994), así como identificar y precisar la uniformidad de los datos obtenidos. Es importante destacar que la generación de residuos ha aumentado significativamente, especialmente en las grandes áreas metropolitanas (Tavallaei *et al.*, 2015).

Según el informe del Banco Mundial titulado "Los residuos 2.0: Un panorama global de la gestión de RSU hasta 2050", prevé que en los próximos 30 años la producción mundial de residuos, impulsada por la urbanización, el crecimiento poblacional y el desarrollo económico, aumente de 2.010 millones de toneladas registradas en 2016 (de las cuales el 33% no se gestionan adecuadamente) a 3.400 millones de toneladas para 2050 (Banco Mundial, 2018). Además, estima que al menos 2 mil millones de personas en el mundo no cuentan con el servicio de recolección de RSU (UNEP, 2017). El mismo informe del Banco Mundial señala que los países con altos ingresos, que representan el 16% de la población mundial, generan más de un tercio (34%) de los RSU globales, mientras que la región de Asia Oriental y el Pacífico es responsable de casi un cuarto (23%) del total mundial (Banco Mundial, 2018).

En América Latina y el Caribe, según el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2018), la generación de RSU alcanzó casi 541.000 toneladas anuales, representando aproximadamente el 10% del total mundial, de las cuales más del 30% (alrededor de 145.000 toneladas) se destinan a sitios de disposición final inadecuados. De seguir el actual patrón de crecimiento poblacional y desarrollo, Brasil y México se perfilan como los principales generadores de RSU en esta región (ONU México, 2018).

Particularmente en la Megalópolis mexicana, la generación de RSU está influenciada por el crecimiento urbano acelerado, el consumo masivo; la falta de infraestructura eficiente para su gestión y la intensa actividad económica generan cantidades significativas de residuos con impactos ambientales, sociales y económicos. A su vez, la inadecuada disposición de estos residuos afecta la calidad del aire, el agua y el suelo, contribuyendo a problemas de salud pública y al cambio climático debido a la emisión de gases de efecto invernadero, como metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

En este sentido, la disposición final de los RSU se configura como un elemento crítico para mitigar los impactos ambientales y garantizar la sostenibilidad de los sistemas urbanos. Consciente de esta problemática, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el manejo de los RSU en la Megalópolis Mexicana mediante la construcción de un Índice de Prácticas adecuadas de Disposición Final (IPADF) y como herramienta un Sistema de Información Geográfica (SIG), basándose en la categorización de sitios de disposición final conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003 y en el tonelaje de RSU recolectado en cada municipio.

Además, para evaluar el manejo de los RSU en la Megalópolis Mexicana, se adoptó la delimitación de la zona de estudio propuesta por la Comisión Ambiental de la Megalópolis (2013), que incluye la Ciudad de México, el Estado de México, Hidalgo, Morelos, Tlaxcala y Puebla. El límite temporal se definió en función de la disponibilidad de información oficial, tanto cualitativa como cuantitativa, relacionada con el manejo integral de los residuos. Por lo tanto, el periodo considerado para este análisis abarca de 2010 a 2020. El estudio de los RSU en la megalópolis mexicana es fundamental para desarrollar estrategias de gestión basadas en la economía circular, la reducción de residuos enviados a vertederos y la optimización del reciclaje. En síntesis, la gestión de los RSU es un desafío clave en la megalópolis mexicana, ya que su adecuado manejo no solo contribuye a la conservación del entorno, sino que también mejora la calidad de vida de sus habitantes y fomenta un desarrollo más sostenible.

## ASPECTOS TEÓRICOS

### Consideraciones básicas conceptuales

#### *Megalópolis*

El fenómeno megalopolitano surge cuando pequeñas ciudades se transforman en grandes urbes, creando grandes interconexiones. Este proceso inicia con una ciudad clave para el desarrollo de otras (Meireles & Sanches, 2018). El estudio de la megalópolis debe partir de la ciudad como un asentamiento continuo donde convergen dinámicas sociales, económicas y demográficas (CONAPO, 2012).

Su evolución se explica a través de la metrópolis, caracterizada por una alta concentración de población, actividades económicas y riqueza, integrada a la economía global (Meireles & Sanches, 2018). Cuando dos o más municipios con más de 200,000 habitantes se interconectan, se genera un sistema urbano común (Valdés et al., 2011). Con el tiempo, la metrópolis se convierte en una región metropolitana, un conjunto de ciudades vinculadas económica y socialmente en constante expansión (Galvão, 1969). En este proceso también interviene la conurbación, es decir, la fusión de áreas urbanas debido a su crecimiento (Villaça, 2012). Como consecuencia de estos procesos aparecen las Megalópolis.

Los procesos megalopolitanos forman parte de una dinámica compleja, en la que las distintas partes pueden ser tanto singulares como compartir características generales del sistema en su conjunto. Estas partes pueden tener cierta autonomía, interactuar entre sí y generar intercambios organizativos (Morin, 1990; Rangel, 2010).

En México, la metropolización comenzó en los años cuarenta con la conurbación de la delegación Miguel Hidalgo (Ciudad de México) y el municipio de Naucalpan (Estado de México), impulsada por la construcción de Ciudad Satélite (Rangel, 2010). Desde entonces, se han llevado a cabo diversos esfuerzos para definir y delimitar las zonas metropolitanas con fines de planeación y estudio científico.

Actualmente la Megalópolis mexicana es una extensa región urbana en el centro del país, conformada por la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala y desde el año 2019 fue integrado Querétaro con su respectiva zona metropolitana (Gobierno de México, s/f).

Esta zona se distingue por su gran concentración de habitantes y una intensa vinculación económica y social entre sus urbes, lo que la posiciona como una de las regiones metropolitanas más relevantes de América Latina.

### ***Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos***

La disposición final representa la última fase en el ciclo de vida de los RSU y en su gestión operativa. Tras agotar las opciones de reutilización y reciclaje, los residuos que no tienen valor económico son depositados en sitios específicos para su confinamiento (SEMARNAT-GTZ, 2006). Existen diversas formas de disposición final, que varían desde el abandono de residuos en la vía pública sin control hasta el uso de rellenos sanitarios que cumplen con la normatividad vigente. Sin embargo, en muchos países en desarrollo, la práctica más común sigue siendo el tiradero a cielo abierto, con impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública.

Las prácticas adecuadas para la disposición final de RSU y la administración eficiente de los sitios destinados a este propósito resultan esenciales para la preservación del equilibrio ecológico y la prevención de impactos adversos en la salud humana. Los principales beneficios asociados a las buenas prácticas y correcto manejo de sitios de disposición final son: (i) minimiza la contaminación de los compartimentos ambientales, tales como el suelo, los cuerpos de agua y la atmósfera, mitigando así los efectos negativos sobre los ecosistemas y contribuyendo a la conservación de la biodiversidad (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2018); (ii) reduce la incidencia

de enfermedades transmisibles, favoreciendo el bienestar de las comunidades expuestas (Gobierno de Zapopan, s.f.); (iii) reducir los costos derivados de la contaminación ambiental y de las intervenciones sanitarias asociadas a un manejo deficiente. Adicionalmente, fomenta la valorización de materiales reciclables, promoviendo la economía circular y la generación de nuevas oportunidades en el sector productivo (Recolección de Basura Seredecom, 2024); (iv) contribuye a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente del metano generado en vertederos sin regulación, lo que incide en la mitigación del calentamiento global (EPA, 2023) y (v) la clasificación y el tratamiento eficiente de los residuos favorecen la reutilización y el reciclaje de materiales, disminuyendo la extracción de recursos primarios y promoviendo un modelo de desarrollo sustentable basado en la conservación de los insumos naturales (Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco, 2024).

### ***Análisis de Componentes Principales (ACP)***

La ACP es una técnica estadística multivariante utilizada para reducir la dimensionalidad de conjuntos de datos complejos, maximizando la variabilidad explicada con un menor número de variables. Las Ventajas del ACP son: (i) reduce la complejidad de los datos sin perder información esencial; (ii) prioriza variables significativas para mejorar la precisión del análisis; (iii) facilita la planificación y asignación de recursos y (iv) se adapta a diferentes escalas geográficas.

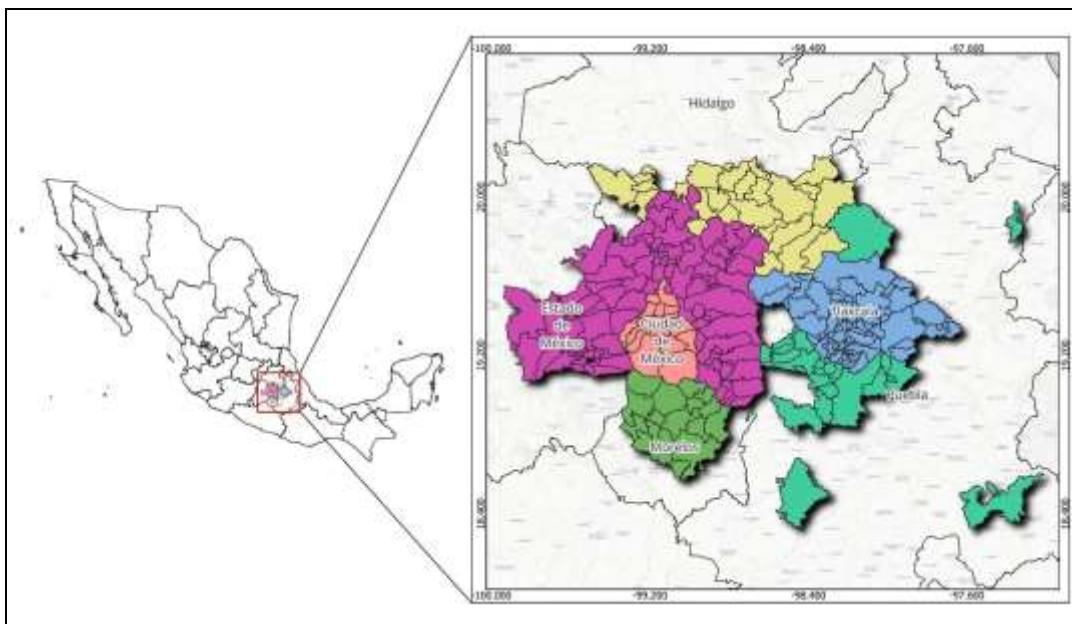
Su aplicación en la evaluación de RSU permite identificar patrones clave en la generación y gestión de residuos, optimizando la toma de decisiones en políticas públicas y planificación ambiental (Jolliffe & Cadima, 2016).

Además; (i) facilita el análisis de grandes volúmenes de datos y la identificación de tendencias en el manejo de residuos (Shlens, 2014); (ii) mejora la toma de decisiones basada en evidencia (Abdi & Williams, 2010); (iii) permite la caracterización espacial de la gestión de residuos, adaptando estrategias a cada región (Zhang et al., 2018) y (iv) clasifica territorios según su generación y disposición de residuos, considerando factores socioeconómicos (Everitt & Hothorn, 2011).

### **Descripción de la zona de estudio**

La Megalópolis mexicana se localiza en el centro del país y abarca una superficie de 27,523 km<sup>2</sup>, equivalente al 1.4% del territorio nacional (Figura 1). Limita al norte con San Luis Potosí, al este con Veracruz, al sur con Guerrero, al oeste con Michoacán y al noroeste con Querétaro. Según el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2013), está conformada por 240 municipios distribuidos en seis entidades: Hidalgo, Ciudad de México, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala.

**Figura 1.** Megalópolis mexicana.



**Fuente:** Elaboración propia con base en el Marco Geoestadístico Municipal (INEGI, 2018).

Ante el deterioro de la calidad del aire y otros problemas ambientales, en octubre de 2013 el gobierno federal y los estados involucrados acordaron la creación de la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), replanteando la gestión ambiental en la región. En esta redefinición, la Megalópolis mexicana quedó conformada por la Ciudad de México y sus 16 alcaldías, 24 municipios de Hidalgo, 80 del Estado de México, todos los municipios de Morelos, 22 de Puebla y la totalidad del estado de Tlaxcala (DOF, 2013).

Aunado a lo anterior; según los datos obtenidos del INEGI (2015), los municipios con mayor concentración de población dentro de la megalópolis mexicana se encuentran en el Estado de México, que alberga el 60.5% de la población total. Le siguen la Ciudad de México, con el 45.3%, y el estado de Morelos, con el 30.1%. En menor medida, la población se distribuye en Tlaxcala (3.98%), Hidalgo (4.64%) y Puebla (9.86%).

Con respecto a los Sitios de Disposición Final (SDF), en la megalópolis mexicana, se disponen aproximadamente 17,343.2 toneladas diarias lo que equivale a 6,330,268 toneladas anuales. El Estado de México es la entidad que recibe la mayor cantidad de residuos, concentrando el 62.7% del total de la megalópolis. Es importante señalar que RSU generados en la Ciudad de México son trasladados al Estado de México, lo que incrementa significativamente el tonelaje recibido en esta entidad. En la megalópolis mexicana, los SDF se clasifican en cuatro tipos según su capacidad de confinamiento: (i) Tipo A: Son los de mayor capacidad, (ii) Tipo B: Aceptan entre 50 y 100 toneladas diarias; (iii) Tipo C: Manejan entre 10 y 50 toneladas por día y Tipo D: Son los de menor capacidad, ya que reciben menos de 10 toneladas diarias de RSU.

En la megalópolis mexicana existen 118 SDF Tipo D, de los cuales 66 se ubican en Puebla, 33 en Hidalgo y 18 en el Estado de México.

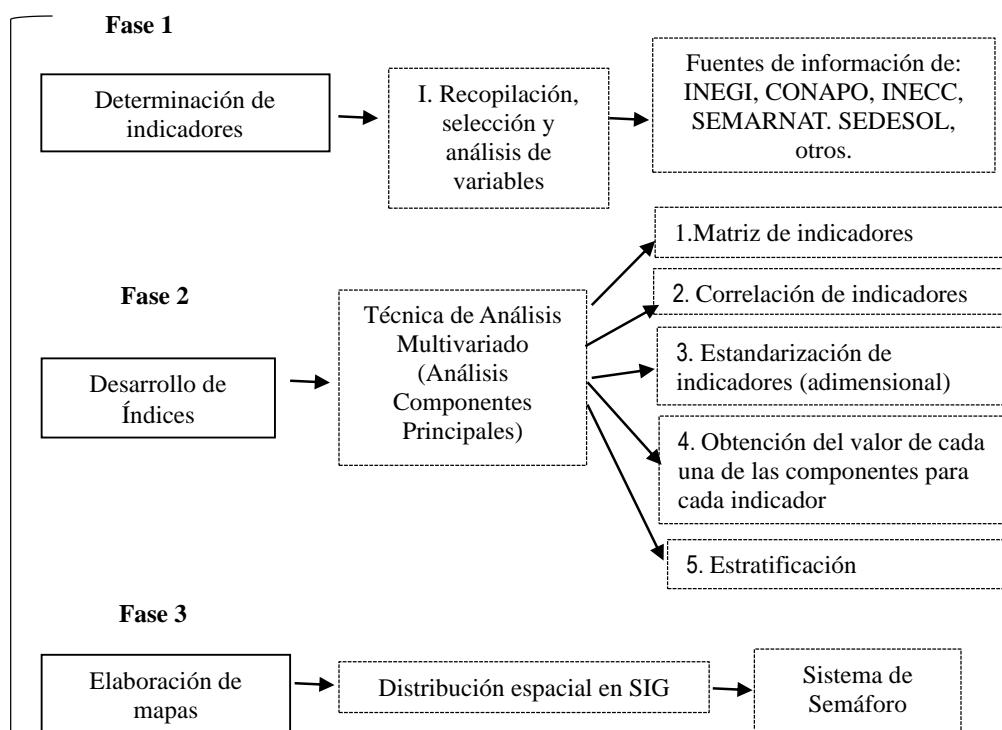
En cuanto a los SDF Tipo C, se identificaron 84 sitios, distribuidos principalmente en el Estado de México (33), Hidalgo (24) y Puebla (16). Respecto a los SDF Tipo A, se registraron 29 vertederos, de los cuales 14 están en el Estado de México. Finalmente, se identificaron 18 SDF Tipo B, con el Estado de México en primer lugar al contar con 6 vertederos de este tipo.

## ASPECTOS METODOLÓGICOS

En la megalópolis mexicana, la identificación, clasificación de las prácticas de disposición de RSU resultan fundamentales para la planeación y el desarrollo de políticas ambientales sostenibles. Sin embargo, la heterogeneidad en la infraestructura, capacidad de confinamiento y prácticas operativas de los SDF plantea la necesidad de metodologías técnicas y científicas que permitan una caracterización precisa y una regionalización efectiva de estos espacios.

Este estudio propone un esquema metodológico estructurado en tres fases (Figura 2): En la primera fase, se identificaron, recopilaron y seleccionaron datos de fuentes de información disponibles (periodo 2010-2020) del INEGI a través de los diferentes censos de población y vivienda; en particular, los eventos de la Serie Censal e Intercensal 2010-2020, Marco Geoestadístico; Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y de las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) actualizadas.

**Figura 2.** Esquema metodológico.



**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente, la información se organizó y almacenó en una base de datos estructurada, donde se integró una matriz general con los indicadores relevantes.

La segunda fase consistió en la construcción del Índice de prácticas adecuadas para la disposición final (IPADF) por medio de un análisis estadístico utilizando R Studio (R x64 3.6.1) y Microsoft Excel, a través de la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) ya que esta ayuda a reducir la cantidad de dimensiones sin perder demasiada información; lo que permite evaluar la gestión de los RSU, ratificando la varianza derivada de la primera y segunda componente y el establecimiento de cinco niveles de prácticas de disposición final. La obtención del IPADF se realizó mediante un procedimiento estructurado y sistemático de la siguiente manera:

- 1) Se construyó una base de datos en el programa Excel con las cifras originales es decir la cantidad de RSU vertidos (kg/día) categorizados de acuerdo con información disponible en la Encuesta intercensal 2015 (INEGI, 2015) después se importa la base de datos de Excel al programa R.
- 2) Se calcula la correlación de los indicadores. (Considerando que para realizar el ACP se tiene como requisito que los datos tengan un buen índice de correlación, éste puede variar entre -1 y -0.7 ó entre 0.7 a 1).
- 3) Para llevar a cabo el ACP fue necesario estandarizar los indicadores utilizados mediante la forma de la distribución de probabilidad normal, mediante la siguiente formula:

(Ecuación 1)

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Donde

$x$ : es el dato seleccionado,

$\mu$ : es la media (de la muestra seleccionada) y

$\sigma$  : la desviación estándar (de la muestra seleccionada)

- 4) Tras la aplicación del ACP en los datos estandarizados se obtienen las componentes principales, después se analizan los resultados de la matriz de varianzas, la cual describe la dispersión de los datos a través de la desviación estándar, la distribución de la varianza y su acumulación. Se toma como IPADF el primer componente generado por el ACP.
- 5) Luego, se procedió a la estratificación del IPADF, considerando que la variabilidad de los datos puede influir en los resultados según el criterio seleccionado. Para ello, se determina el rango y la amplitud para obtener *intervalos iguales*, que proporciona una clasificación en términos de las mejores prácticas de disposición final. Este enfoque permite examinar los datos en grupos homogéneos, facilitando la identificación de patrones específicos en subconjuntos o la comparación entre diferentes categorías de análisis.

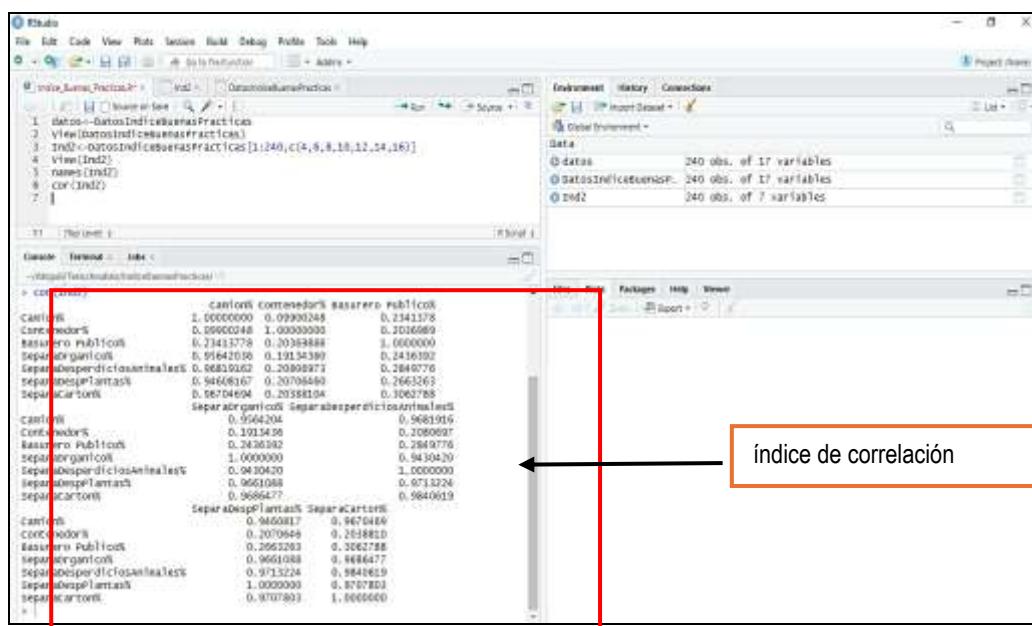
Finalmente, en la tercera fase se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permitió la georreferenciación y análisis espacial de cada uno de los municipios y alcaldías de la Megalópolis mexicana para representar la tipificación y regionalización de los cinco niveles (alto, medio alto, medio, medio bajo y bajo) del IPADF. A partir de

esta información, se delimitan áreas con características homogéneas, facilitando la visualización de cada una de ellas.

## RESULTADOS

En primera instancia se construyó una base de datos en el programa Excel con las cifras originales, es decir; la cantidad de RSU vertidos (kg/día) categorizados de acuerdo con información disponible en la Encuesta intercensal 201z5 (INEGI, 2015) en: (i) camión recolector, (ii) contenedor, (iii) basurero público, (iv) separado para orgánicos; (v) separado para animales, (vi) separado para plantas y (vii) separación de cartón; con relación a los RSU recolectados (kg/día) de cada uno de los 240 municipios. Después se calculó el índice de correlación como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3.** Índice de correlación.



**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez obtenidos los componentes principales se muestran los resultados de la matriz de varianzas, la cual explica la desviación estándar, la proporción de la varianza y la proporción acumulada. Lo que permite tener mayor certeza de las componentes seleccionadas; en este caso (figura 4), la primera componente explica el 71.3% de la variación y las dos primeras componentes explican el 86.8% de la varianza, lo que representa un buen porcentaje para tomar el índice de las componentes principales.

**Figura 4.** Resultados de la Matriz de varianzas.

Componentes principales							
Porcentajes Indice del buen manejo							
	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6	Comp. 7
Camión %	0,4348275	0,15930281	0,016115192	0,29252489	0,6215231392	0,48954856	0,27160324
Contenedor%	0,1079271	-0,75598351	-0,638561422	0,02773031	0,0743159074	0,04428427	0,02875889
Basurero Público%	0,1524889	-0,62228673	0,765843472	-0,02886637	0,0209033884	0,03952309	-0,01256372
Separación orgánico%	0,4368134	0,08638066	-0,053272953	-0,73164135	0,2845501753	-0,10919357	-0,41316263
Separación desperdicios animales%	0,4413429	0,05175363	-0,024855266	0,55980693	-0,2368513619	-0,07968717	-0,65275402
Separación plantas%	0,4396537	0,06148529	-0,044754505	-0,2294456	-0,6860619405	0,43073408	0,30341903
Separación cartón%	0,4440035	0,04416207	-0,002151737	0,10723247	0,0009085713	-0,74364905	0,4862021
Varianzas	4,973396594	1,077445679	0,789159632	0,059165471	0,045527764	0,020271363	0,005866831
Desviación estandar	2,230111	1,0380008	0,8883466	0,243239535	0,21337236	0,142377536	0,0765952387
Proporción de la varianza	0,713458	0,1545648	0,1132088	0,008487575	0,00653118	0,002908026	0,0008416254
Proporción acumulada	0,713458	0,8680228	0,9812316	0,989719169	0,99625035	0,999158375	1

**Fuente:** Elaboración propia.

El análisis realizado evidenció que el 93.3% del área de estudio presenta un IPADF clasificado como Bajo o Medio Bajo, con una distribución homogénea en toda la Megalópolis mexicana. No obstante, se identificaron alcaldías y municipios que ejercen una presión significativamente mayor sobre el sistema de disposición final de residuos. Destacan, entre ellos, las alcaldías Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza en la Ciudad de México, así como los municipios de Atizapán de Zaragoza, Ecatepec de Morelos y Nezahualcóyotl en el Estado de México, Puebla en el Estado de Puebla y Tlaxcala en el estado homónimo. Estas demarcaciones generan RSU que oscilan entre 1,000 y 3,500 toneladas diarias, lo que representa una carga considerable para la infraestructura de gestión de residuos en la región.

Es importante destacar que las alcaldías y municipios con un IPADF clasificado como Bajo o Medio Bajo presentan, en algunos casos, RSU dispuestos adecuadamente superiores, con valores que oscilan entre 2 y 15 toneladas diarias, en comparación con la generación total de RSU en municipios con un IPADF Medio.

Un ejemplo es, la alcaldía de Iztapalapa, en la Ciudad de México, la cual, a pesar de presentar un IPADF Bajo, logra separar 11.639 toneladas diarias exclusivamente de cartón. En contraste, el municipio de San Jerónimo Zacualpan, en el Estado de Tlaxcala, que es el único en la región con un IPADF Alto, registra una recolección total de RSU de apenas 1,000 kg/día (equivalente a 1 tonelada diaria). Estos datos evidencian diferencias significativas en la generación y recolección de residuos entre las distintas demarcaciones, independientemente del nivel de presión ejercido sobre el sistema de disposición final.

Esto evidencia que las alcaldías y municipios con un alto tonelaje de recolección de RSU tienden a presentar bajos índices de adopción de estrategias óptimas de disposición final, mientras que aquellos con menor generación y recolección muestran valores elevados en el IPADF.

Estos hallazgos indican que la dinámica del manejo de los RSU dentro de la Megalópolis mexicana no puede explicarse de manera uniforme, dada la heterogeneidad de las condiciones territoriales, así como las particularidades socioeconómicas de cada

alcaldía y municipio. Esta disparidad se hace especialmente evidente en las zonas con mayor densidad poblacional, donde la generación de RSU es inevitablemente superior.

En este contexto, no resulta viable comparar municipios con bajos niveles de generación y recolección de RSU con aquellos que, pese a disponer cantidades significativas de residuos separados, generan sumas totales considerablemente mayores. Ejemplo de ello son las alcaldías Gustavo A. Madero e Iztapalapa en la Ciudad de México, así como los municipios de Ecatepec de Morelos y Nezahualcóyotl en el Estado de México, que destacan como grandes generadores de RSU.

Ante este escenario, se reformuló el análisis y se realizó una nueva clasificación de las 240 alcaldías y municipios, tomando como base las disposiciones generales establecidas en la NOM-083-SEMARNAT-2003. En particular, se consideró la caracterización descrita en el apartado 5.2, que establece la tipificación de los sitios de disposición final en función del tonelaje de RSU ingresado diariamente a las instalaciones.

Con base en esta normativa, las alcaldías y municipios de la Megalópolis mexicana fueron agrupados en tres categorías (Tabla 1), de acuerdo con el tonelaje recolectado en cada una de estas demarcaciones.

**Tabla 1.** Clasificación de acuerdo con el tonelaje de RSU.

Clasificación	Tipo	Cantidad de RSU recibidos en SDF (ton/día)
(A- B)-	Grandes generadores	50 o más
(C)	Medianos generadores	10 y menor a 50
(D)	Pequeños generadores	Menor a 10

**Fuente:** Elaboración propia. Modificado de la NOM-083-SEMARNAT-2003. (DOF, 2015).

Cada grupo de alcaldías y municipios fue categorizado en función del tonelaje de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generado diariamente, asignándoles una denominación específica:

- (i) **Región “(A-B)”:** Comprende los grandes generadores de residuos, con cantidades iguales o superiores a 50 toneladas por día.
- (ii) **Región “(C)”:** Incluye los municipios con generación media, cuyos RSU oscilan entre 10 y menos de 50 toneladas diarias.
- (iii) **Región “(D)”:** Agrupa a los pequeños generadores, en los que la disposición diaria es inferior a 10 toneladas.

Como resultado de la reclasificación, se identificaron 57 municipios y las 16 alcaldías de la Ciudad de México dentro de la Región (A-B), correspondientes a los grandes generadores de residuos. Asimismo, 92 municipios fueron categorizados en la Región (C), de generación media, mientras que 75 municipios se clasificaron en la Región (D), correspondiente a los pequeños generadores.

Cada una de estas agrupaciones fue posteriormente sometida a un nuevo análisis para la construcción del IPADF, utilizando la técnica de ACP. A continuación, se presenta una descripción detallada de las características y particularidades de cada región.

### Índice de prácticas adecuadas de disposición final. Región (A-B)

Una vez obtenidos los componentes principales se muestran (Figura 5) los resultados de la matriz de varianzas, la cual explica la desviación estándar, la proporción de la varianza y la proporción acumulada, como se muestra abajo.

**Figura 5.** Resultados de la matriz de varianza. Región (A-B).

Componentes principales Porcentajes Índice del buen manejo AB	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6	Comp. 7	
Camión %	0,4137199							
Contenedor%	0,09022808							
Basurero Público%	0,21508281							
Separación orgánico%	0,42185115							
Separación desperdicios animales%	0,44466094							
Separación plantas%	0,44597627							
Separación cartón%	0,44514317							
Varianzas	4,804364438	1,054797995	0,798585825	0,164251065	0,060033137	0,014449505	0,007627623	6,90410959
Desviación estandar	2,191886	1,0270336						
Proporción de la varianza	0,6958702	0,1527783						
Proporción acumulada	0,6958702	0,8486485						

**Fuente:** Elaboración propia.

La primera componente principal explica el 69.6% de la variabilidad de los datos, mientras que, al considerar las dos primeras componentes, se alcanza un 84.9% de la varianza total. Este porcentaje es suficientemente alto para justificar el uso del Índice de Componentes Principales, permitiendo una representación adecuada de la estructura de los datos y asegurando la captura de la mayor parte de la información relevante del sistema analizado.

El análisis arrojó un rango de 9.1460, a partir del cual se establecieron cinco intervalos con una amplitud de 1.8292. Con base en estos valores, se definieron cinco niveles de buenas prácticas de disposición final según el puntaje obtenido en el IPADF:

- Bajo: (-2.6261 a -0.4396)
- Medio-Bajo: (-0.4397 a 1.7468)
- Medio: (1.7469 a 3.9334)
- Medio-Alto: (3.9335 a 6.1199)
- Alto: (6.1200 a 8.3064)

En la Región (A-B) se agrupan los mayores generadores de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de toda la Megalópolis mexicana. En la Tabla 2 se observa que las 16 alcaldías de la Ciudad de México están agrupadas en la Región (A-B), presentando un IPADF Bajo y Medio. Por otro lado, en el Estado de México, los municipios de Ixtapaluca y Zinacantepec muestran un IPADF Alto y Medio-Alto, a pesar de registrar algunas de las más bajas cantidades de RSU.

**Tabla 2.** IPADF Región (A-B).

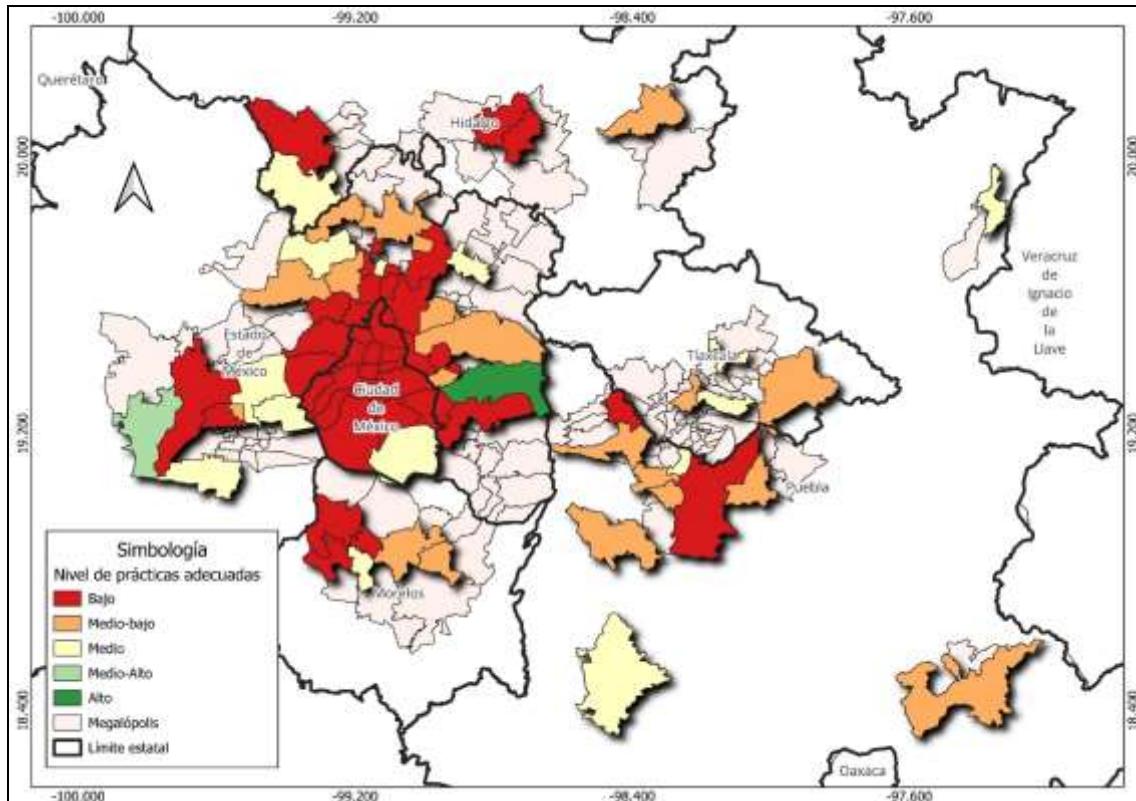
Nivel de prácticas adecuadas de disposición final	Número de municipios	% de Municipios	Distribución territorial	RSU (ton/día)	% de RSU del total
<b>Alto</b>	1	1.3	Edo Mex	54	0.01
<b>Medio alto</b>	1	1.3	Edo Mex	65	0.02
<b>Medio</b>	14	19.17	En todas las entidades	874	0.2
<b>Medio bajo</b>	19	26.02	Todas excepto la Cd Mex	2,242	0.6
<b>Bajo</b>	38	52.05	En todas las entidades	321,208	99
<b>Total, Región A-B</b>	73	100		324,444	100

**Fuente:** Elaboración propia.

Esto sugiere que, aunque estos municipios generan menos residuos, la presión sobre el sistema de disposición final es considerable debido a la gestión y tratamiento de estos.

En la Figura 6, la mayoría de estos municipios y alcaldías están ubicados en los núcleos de las Zonas Metropolitanas, o en áreas con alta concentración de población en sus centros urbanos.

**Figura 6.** Índice de prácticas adecuadas. Región (A-B)



**Fuente:** Elaboración propia.

## Índice de prácticas adecuadas de disposición final. Región (C)

La primera componente explica el 67.7 % de la variación, mientras que las dos primeras componentes explican el 81.7 % de la varianza (Figura 7), lo que representa un porcentaje adecuado para considerar el índice de las componentes principales.

**Figura 7.** Resultados de la matriz de varianza. Región (C).

Componentes principales								
Porcentajes Indice del buen manejo C	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6	Comp. 7	
Camión %	0,416509							
Contenedor%	0,1520771							
Basurero Público%	0,1768286							
Separación orgánico%	0,4327443							
Separación desperdicios anim	0,4441135							
Separación plantas%	0,4330345							
Separación cartón%	0,4473268							
Varianzas	4,68264925	0,97328849	0,84993165	0,18051293	0,15684472	0,05312674	0,02755927	6,92391305
Desviación estandar	2,163943	0,9865538						
Proporción de la varianza	0,676301	0,1405691						
Proporción acumulada	0,676301	0,8168701						

**Fuente:** Elaboración propia.

El rango obtenido fue de 9.1460, y se definieron cinco intervalos, resultando en una amplitud de 1.8292 por intervalo. Con base en el puntaje obtenido en cada conjunto dentro del IPADF, se establecieron cinco niveles de prácticas adecuadas de disposición (Tabla 3):

- Bajo (-3.1122 a -1.2830),
- Medio-Bajo (-1.2831 a 0.5461),
- Medio (0.5462 a 2.3753),
- Medio-Alto (2.3754 a 4.2046) y
- Alto (4.2047 a 6.0338).

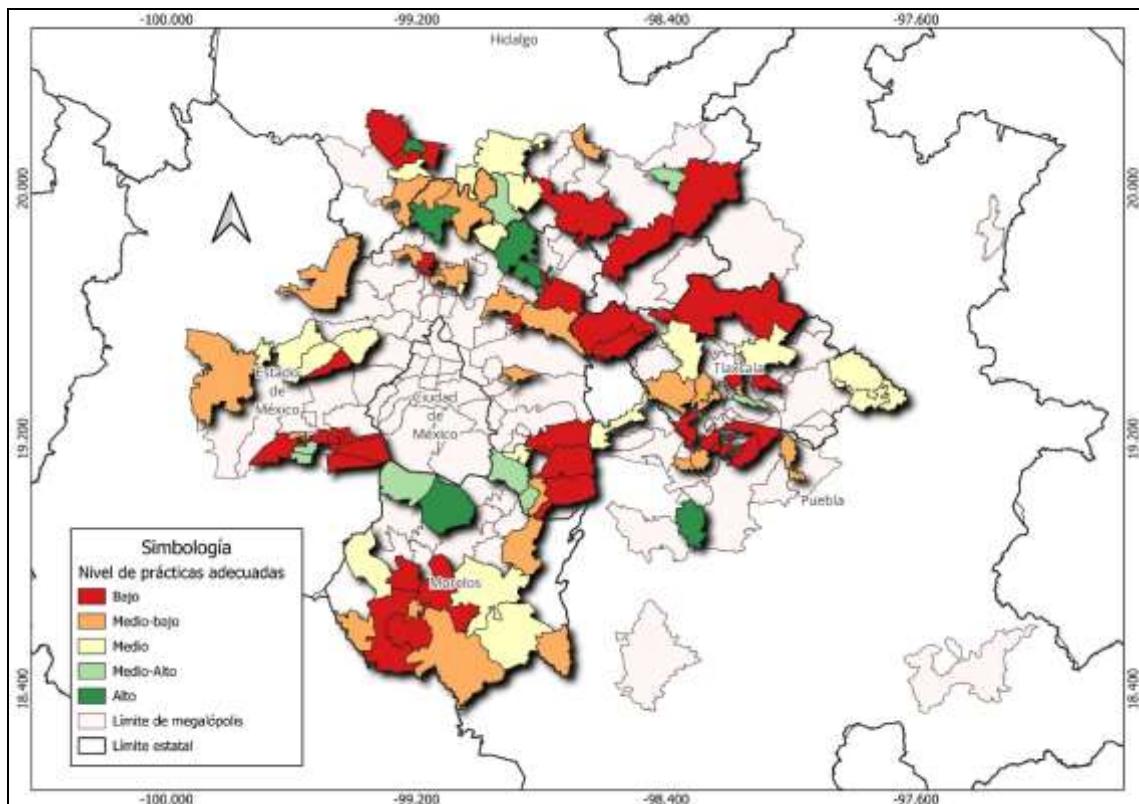
**Tabla 3.** IPADF Región (C).

Nivel de prácticas adecuadas de disposición final	Número de municipios	% de Municipios	Distribución territorial	RSU (ton/día)	% de RSU del total
Alto	6	6.5	EdoMex, Hidalgo, Morelos y Puebla	74	3.5
Medio alto	6	6.5	EdoMex, Hidalgo, Morelos y Tlaxcala	76	3.7
Medio	18	19.52	Todos excepto CdMx	294	14.28
Medio bajo	29	31.52	Todos excepto CdMx	608	29.48

Bajo	33	35.86	EdoMex, Hidalgo, Morelos y Tlaxcala	1,009	48.95
<b>Total Región C</b>	<b>92</b>	<b>100</b>		<b>2,062</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 9.** Índice de prácticas adecuadas. Región (C).



**Fuente:** Elaboración propia.

#### Índice de prácticas adecuadas de disposición final. Región (D)

La primera componente explica el 66.7% de la variación mientras que las dos primeras componentes explican el 85.5% de la varianza (figura 10), la cual es buen porcentaje para tomar el índice de las componentes principales.

**Figura 10.** Resultados de la matriz de varianza. Región (D).

Componentes principales								
		Porcentajes Indice del buen manejo D						
		Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Comp. 5	Comp. 6	Comp. 7
Camión %	0,43498906							
Contenedor%	0,10754814							
Basurero Público%	0,04339574							
Separación orgánico%	0,43889051							
Separación desperdicios anim	0,44702595							
Separación plantas%	0,44514288							
Separación carton%	0,45467072							
Varianzas	4,60809364	1,29845749	0,66506344	0,15504484	0,11289759	0,05583037	0,0112793	
Desviación estandar	2,146647	1,1394988						
Proporción de la varianza	0,667195	0,1880006						
Proporción acumulada	0,667195	0,8551956						

**Fuente:** Elaboración propia.

El rango obtenido fue de 13.1863, y se definieron cinco intervalos, lo que resultó en una amplitud de 2.6373 por intervalo. Con base en el puntaje obtenido en cada conjunto dentro del IPADF, se establecieron cinco niveles de prácticas adecuadas de disposición (Tabla 4):

- Bajo (-2.7490 a -0.1118),
- Medio-Bajo (-0.1119 a 2.5254),
- Medio (2.5255 a 5.1627),
- Medio-Alto (5.1628 a 7.7999) y
- Alto (7.8000 a 10.4372).

**Tabla 4.** IPADF Región (D)

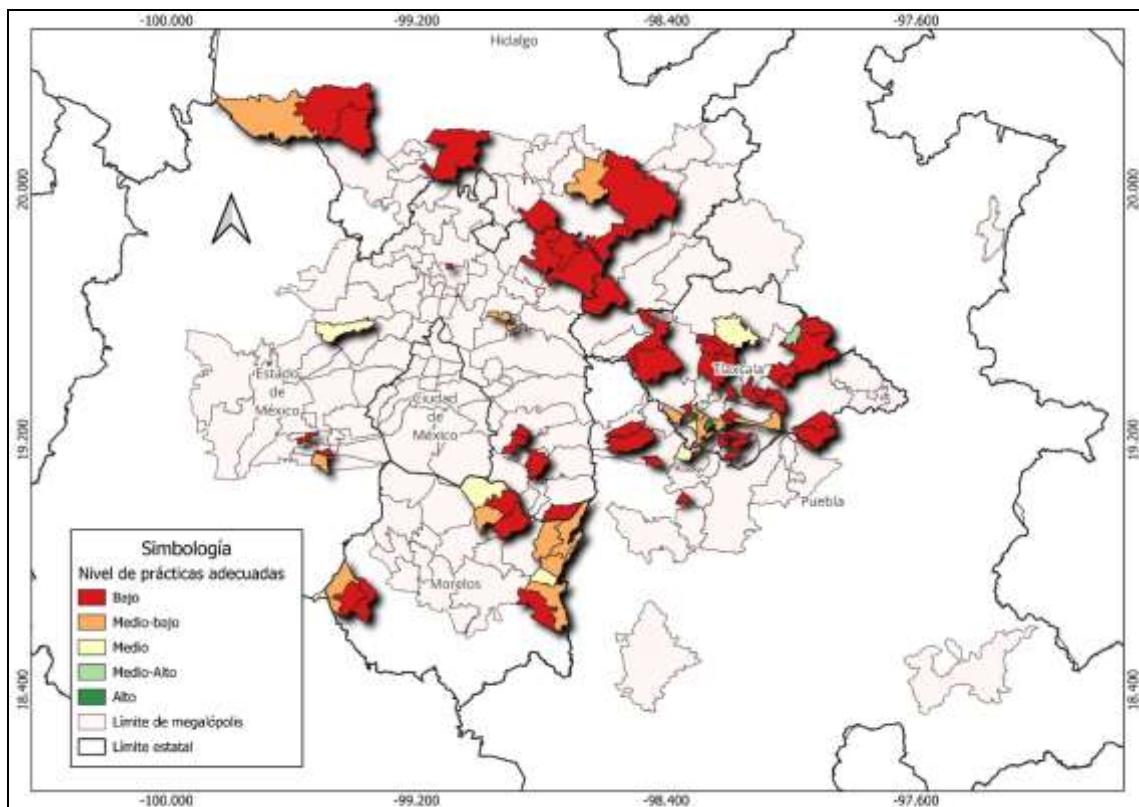
Nivel de prácticas adecuadas de disposición final	Número de municipios	% de Municipios	Distribución territorial	RSU (ton/día)	% de RSU del total
<b>Alto</b>	1	1.3	Tlaxcala	1	0.22
<b>Medio alto</b>	1	1.3	Tlaxcala	1	0.22
<b>Medio</b>	8	10.6	EdoMex, Morelos, Puebla y Tlaxcala	16	3.55
<b>Medio bajo</b>	29	38.66	EdoMex, Hidalgo, Morelos y Tlaxcala	106	23.50
<b>Bajo</b>	37	49.33	Todos excepto CdMx	328	72.72
<b>Total, Región D</b>	75	100		451	100

**Fuente:** Elaboración propia

Se determinó que en la Región (D) se generan un total de 451 toneladas diarias de RSU, lo que equivale a la mitad de los residuos generados por los municipios con un índice Medio en la Región (A-B). Este hallazgo evidencia que, incluso dentro de un mismo territorio, existen variaciones significativas en las prácticas de disposición de residuos.

La Figura 10 muestra que los municipios con un índice Bajo se ubican cerca de las zonas metropolitanas o en áreas con una mayor relación funcional con los centros urbanos.

**Figura 10.** Índice de prácticas adecuadas. Región (D).



**Fuente:** Elaboración propia.

Los municipios que presentaron un índice Alto corresponden a territorios de menor extensión y con una población reducida, lo que resulta en una generación y recolección de RSU considerablemente inferior en comparación con los municipios de otras regiones.

## CONCLUSIONES

El análisis realizado sobre la disposición final de RSU en la Megalópolis mexicana mostró que el 93.3 % del área de estudio tiene un IPADF clasificado como Bajo o Medio Bajo, con una distribución homogénea. Sin embargo, se identificaron alcaldías y municipios, como Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Ecatepec y Nezahualcóyotl, que generan grandes cantidades de RSU (entre 1,000 y 3,500 toneladas diarias), ejerciendo una presión significativa sobre el sistema de manejo de residuos.

A pesar de que algunos municipios con un IPADF Bajo o Medio Bajo tienen tonelajes de residuos dispuestos adecuadamente superiores a los de municipios con un IPADF Medio, los datos revelan un manejo heterogéneo en toda la región. Esto indica que, a pesar de la mayor generación de residuos en algunas áreas, la adopción de estrategias óptimas de disposición final no siempre está vinculada a la cantidad de residuos generados.

Este patrón sugiere que los municipios con un mayor tonelaje de recolección de RSU suelen mostrar bajos índices de adopción de estrategias óptimas de disposición final, mientras que aquellos con menor generación y recolección evidencian una mayor eficiencia en el manejo de residuos, reflejada en valores elevados del IPADF. Esta disparidad resalta la complejidad de la dinámica del manejo de los RSU en la Megalópolis mexicana, la cual no puede ser explicada de manera uniforme, dado que está influenciada por las condiciones territoriales y socioeconómicas particulares de cada demarcación.

Este enfoque revisado permite una evaluación más precisa y contextualizada del manejo de los RSU en la Megalópolis, considerando las variables territoriales y socioeconómicas que inciden directamente en la gestión y disposición de los residuos, y contribuye a una mejor comprensión de la dinámica regional en términos de sostenibilidad ambiental.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT).

## BIBLIOGRAFÍA

Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2(4), 433–459. <https://doi.org/10.1002/wics.101>

Banco Mundial. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Recuperado de: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report>

CAME. (2018). *La megalópolis de la ZMVM*. Recuperado de <https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/la-megalopolis-de-la-zmvm?idiom=es>

CONAPO. (2012). *Tabulados Básicos*. Recuperado de [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Tabulados\\_basicos](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Tabulados_basicos)

DOF. (2013). Convenio de Coordinación por el que se crea la Comisión Ambiental de la Megalópolis. Recuperado de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5316255&fecha=03/10/2013](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5316255&fecha=03/10/2013)

EPA. (2023). Mejores prácticas para la gestión de residuos sólidos. Recuperado de [https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-09/swm\\_climate-spanish.pdf](https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-09/swm_climate-spanish.pdf)

Everitt, B., & Hothorn, T. (2011). An Introduction to Applied Multivariate Analysis with R. Springer.

Galvão, M. V. (1969). Áreas de pesquisa para determinação de áreas metropolitanas. *Revista Brasileira de Geografia*, 31(4), 53-127.

Gobierno de México. (s.f.). *La megalópolis de la ZMVM*. Recuperado de <https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/la-megalopolis-de-la-zm>

Gobierno de Zapopan. (s.f.). Buenas prácticas para el manejo de residuos. Recuperado de <https://portal.zapopan.gob.mx/medioambiente/documentos/manualpracticasmanejoresiduos.pdf>

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Encuesta Intercensal 2015. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011-2017). Censos nacionales de gobiernos municipales y delegacionales. Módulo 6. Residuos Sólidos Urbanos. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/temas/residuos/>

Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2024). La importancia de separar los residuos. Recuperado de <https://iieg.gob.mx/strategos/la-importancia-de-separar-los-residuos/>

Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

Meireles, M. y Sanches, C. (2018). Atributos que caracterizan una megalópolis. *Urbe. Brazilian Journal of Urban Management*, Suplemento 1(10), 17-35.

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2018). Prevención, valorización y buen manejo de residuos. Recuperado de <https://educacion.mma.gob.cl/wp->

content/uploads/2018/05/Prevenci%C3%B3n-Valorizaci%C3%B3n-y-Buen-Manejo-de-Residuos.pdf

Morin, E. (1990). *Introducción al Pensamiento Complejo*. España: Gedisa Editorial.

ONU México. (2018). *La paradoja de América Latina: a más desarrollo más basura; a más basura no más desarrollo*. Recuperado de: <http://www.onu.org.mx/la-paradoja-de-america-latina-a-mas-desarrollo-mas-basura-a-mas-basura-no-mas-desarrollo/>

PNUMA. - Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2010). *Perspectivas del medio ambiente mundial*. UNEP. Recuperado de: <https://www.unenvironment.org/resources/global-environment-outlook-6>.

Rangel, L. R. (2010). La megalópolis de la región centro de México: sistema complejo. En H. R. Eibenshutz. (coord.), *La Zona Metropolitana del Valle de México: Los retos de la megalópolis* (pp. 59-89). México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Recolección de Basura Seredecom. (2024). Buenas prácticas en recolección y disposición de residuos. Recuperado de <https://www.recolecciondebasuraseredecom.com.mx/buenas-practicas-en-recoleccion-y-disposicion-de-residuos>

SEMARNAT-GTZ. (2006). *Guía para la Elaboración de Planes Maestros para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales*. Recuperado de [medioambiente.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2016/02/Guía\\_PMPGIRSU.pdf](http://medioambiente.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2016/02/Guía_PMPGIRSU.pdf)

Shlens, J. (2014). A tutorial on principal component analysis. arXiv preprint arXiv:1404.1100.

Tavallaei, M., Farshad, A., Liaghati, H., Nouri, J., & Salehi, H. (2015). Providing a conceptual model of metropolises waste management (Case study: Tehran, Iran). *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 9 (Special Issue), 167-173.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil S. (1994). *Gestión integral de residuos sólidos*. Barcelona, España: McGraw-Hill.

UNEP. (2017) *Towards a Pollution-Free Planet. Background Report*, Nairobi, Kenya. United Nations Environment Programme.

Valdés, H. J., Canún S. S., Reyes, P. A. E. & Navarrete, H. E. (2011). Urbanización, megalopolización y mortalidad por defectos al nacimiento en menores de cinco años en México. *Gaceta Médica de México*, Issue (18), 147-209.

Villaça, F. (2012). *Reflexões sobre as cidades brasileiras*. São Paulo: Studio Nobel.

Zhang, Y., Bi, J., & Li, Q. (2018). Spatial analysis of urban solid waste disposal using PCA. *Environmental Science & Technology*, 52(13), 7632–7640.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01234>

© Abigail García-Valerio y Salvador Adame Martínez.

García-Valerio A.; Adame-Martínez S. (2025). Evaluación del manejo de Residuos Sólidos Urbanos en la Megalópolis Mexicana mediante un índice de prácticas adecuadas de disposición final. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)*. 17(31) Sección I:1-21

On-line: [www.revistageosig.wixsite.com/geosig](http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig)

Recibido: 23 de marzo de 2025

Aceptado: 18 de mayo de 2025