



**FLACSO**  
MÉXICO

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales

Sede Académica de México

Maestría en Población y Desarrollo

XIV Promoción

2020-2022

**Relación espacial de la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca con factores sociodemográficos y económicos para el año 2020**

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Población y Desarrollo

**Presenta**

Lic. Baptiste, Kevin

**Director de tesis**

Dr. J. Mario Herrera Ramos

**Codirectora de tesis**

Dra. Guibrunet, Louise

**Lectora**

Dra. Schwanse, Elvira

**Lector**

Dr. Andrés Rosales, Roldán

**Seminario de Tesis:** Distribución territorial de la población, desarrollo urbano y medio ambiente

**Línea de investigación:** Condiciones de vida y dinámica de la población

*Esta Maestría fue realizada gracias a una beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México)*

*Ciudad de México, agosto 2022*



**FLACSO**  
MÉXICO

*A mi Dios Todopoderoso*

*A mis adorados padres, Roselène y Gustave*

*A mis queridos e incondicionales hermanos, Rose Bertha, Roberto y Cassandra*

## AGRADECIMIENTOS

A través de estas líneas quiero expresar mi profunda gratitud a todas las personas que con su soporte científico y humano han colaborado en la realización de este trabajo de investigación.

Primero y, antes que nada, quiero agradecer a la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO-México) por la enseñanza y las herramientas brindadas durante estos dos años, sin olvidar al cuerpo docente. Sin duda, esta institución ha dejado una huella indeleble en mi formación académica.

También quiero agradecer a la Fundación Heinrich Böll y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) dado que no hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por sus incondicionales apoyos financieros.

Agradezco profundamente el seminario de “Distribución Territorial de la Población, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente”, por la formación teórica y metodológica recibida. Mención especial merece el Coordinador del seminario, profesor y director de mi tesis, el Dr. J. Mario Herrera Ramos, por la acertada orientación, el soporte y discusión crítica que me permitió un buen aprovechamiento en el trabajo realizado, y que esta tesis llegara a buen término.

De la misma manera, deseo hacer explícito mi más profundo agradecimiento a mi codirectora de tesis, Dra. Louise Guibrinet, por su valiosa colaboración en el desarrollo del presente trabajo. Su inestimable ayuda y paciencia, sus aportaciones y asesorías brindadas han hecho que esta tesis llegue a su culminación.

Un agradecimiento especial a mi lectora de tesis, Dra. Elvira Schwanse, quien fortaleció lo presentado aquí con correcciones y comentarios sumamente útiles, sin olvidar, mi lector y profesor, Dr. Roldán Andrés Rosales, con quien pude apoyarme en mis dudas estadísticas y de econometría espacial. Su claridad al momento de explicar fue de gran ayuda al realizar esta investigación.

A mis compañeros del seminario de tesis, agradezco a María Stephanie Valenciano Hernández, Paula Estefanía Flores Arroyave y Jesús Javier Ibarra Suárez, por todas las observaciones recibidas para realizar esta tesis.

A la Coordinación, a los Servicios Escolares y a la Secretaría Técnica del programa de la Maestría en Población y Desarrollo, en especial, Mtra. Laura Narváez y Lic. Mabel Neves por sus acompañamientos durante el proceso.

A toda mi familia, en particular, a mis padres, Roselène Jacques Baptiste y Gustave Baptiste, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por llevarme siempre en sus oraciones.

Al Sr. Samuel Mejía García, ejecutivo de cuenta del INEGI, por las asesorías brindadas.

Finalmente, a mis profesores de la Universidad Católica del Cibao (UCATECI), en particular, la Dra. Sobeida Altagracia Evangelista Arias, el Dr. Edgarkis Crisóstomo Marte, el Dr. Pedro Manuel Rosario Espinal, por sus contribuciones durante el proceso de admisión y a todas aquellas personas, compañeros de la FLACSO, amigos, familiares, que de una forma u otra han contribuido para el alcance de esta meta.

## **Resumen**

Este trabajo de investigación busca identificar los determinantes de la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca, utilizando técnicas espacial y no espacial. Mediante la técnica no espacial, se aplica una regresión por mínimos cuadrados ordinarios, mientras que, con la técnica espacial, se implementa un modelo de error espacial. Las variables independientes incluyen indicadores sociodemográficos y económicos. Se ha comprobado que la población de 15 años y más con primaria completa, la densidad poblacional y el pib per cápita guardan un efecto positivo con la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca mientras que el porcentaje de población con grado de accesibilidad a carretera pavimentada bajo o muy bajo y los municipios según usos y costumbres tienen un efecto negativo.

*Palabras clave:* residuos sólidos urbanos, determinantes sociodemográficos y económicos, Oaxaca.

## **Abstract**

This research work seeks to identify the determinants of municipal solid waste generation in the municipalities of Oaxaca, using spatial and non-spatial techniques. Using the non-spatial technique, an ordinary least squares regression is applied, while, with the spatial technique, a spatial error model is implemented. The independent variables include sociodemographic and economic indicators. It is found that the population 15 years of age and older with completed primary school, population density and GDP per capita have a positive effect on the generation of urban solid waste in the municipalities of Oaxaca, while the percentage of population with low or very low accessibility to paved roads and municipalities according to customs and traditions have a negative effect.

*Key words:* municipal solid waste, socio-demographic and economic determinants, Oaxaca.



## Tabla de contenido

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS .....	viii
TABLAS .....	viii
FIGURAS .....	viii
ACRÓNIMOS .....	x
GLOSARIO .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1. Estado del Arte.....	4
1.1 Determinantes de generación de residuos sólidos urbanos.....	4
1.1.1 Determinantes sociodemográficos y económicos .....	5
1.2 Variación espacial de la generación de residuos sólidos urbanos .....	9
Capítulo 2. Diseño de Investigación .....	12
2.1 Delimitación del tema .....	12
2.1.1 Localización del estado de Oaxaca .....	12
2.1.2 Regionalización.....	12
2.1.3 Principales ciudades .....	13
2.1.4 Actividad económica .....	14
2.2 Justificación del tema .....	14
2.3 Problemática de la investigación .....	16
Capítulo 3. Panorama Sociodemográfico del Estado de Oaxaca .....	19
3.1 Grupos étnicos .....	19
3.2 Dinámica de la población oaxaqueña .....	19
3.3 Pobreza.....	20
3.4 Marginación .....	21
3.5 Rezago social .....	21
3.6 Accesibilidad geográfica .....	22
3.7 Sistema Normativo Indígena (SNI) .....	23
Capítulo 4. Marco General de la Metodología.....	25
4.1 Recolección de datos.....	26
4.2 Análisis de multicolinealidad.....	27
4.3 Análisis de datos no espaciales .....	31
4.3.1 Regresión lineal estándar - Mínimos cuadrados ordinarios (MCO) .....	31
4.4 Análisis de datos espaciales .....	32



4.4.1 Autocorrelación espacial.....	32
4.4.2 Índice Global de Moran (I de Moran).....	32
4.4.3 Índice Local de Asociación Espacial (LISA).....	34
Capítulo 5. Implementación de la Metodología y Resultados .....	36
5.1 Generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca.....	36
5.2 Descripción de las variables predictoras .....	37
5.3 Análisis de Multicolinealidad.....	42
5.4 Planteamiento del modelo no espacial.....	46
5.4.1 Modelo de regresión tradicional o mínimos cuadrados ordinarios (MCO) .....	47
5.5 Pertinencia del análisis espacial .....	48
5.5.1 Índice Global de Moran .....	49
5.5.2 Índice Local de Asociación Espacial (LISA).....	50
5.6 Pruebas de diagnóstico sobre la dependencia espacial del análisis .....	52
5.7 Planteamiento de los modelos espaciales .....	53
5.7.1 Modelo de regresión con rezago espacial o Spatial Lag Model (SLM).....	54
5.7.2 Modelo de regresión del error espacial o Spatial Error Model (SEM) .....	54
5.7.3 Modelo SARMA o SARAR.....	54
5.7.4 Modelo Durbin espacial o Spatial Durbin Model (SDM) .....	54
5.8 Resultados de los modelos espaciales .....	54
Capítulo 6. Discusiones de los Resultados .....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
Conclusiones .....	62
Recomendaciones de políticas públicas.....	63
Recomendaciones para futuros trabajos .....	64
Referencias bibliográficas .....	67
APÉNDICE A .....	73
A.1 Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en el análisis empírico .....	73
APÉNDICE B .....	73
B.1 Mapa univariado de la variable dependiente .....	73
APÉNDICE C .....	74
C.1 Mapas bivariados que comparan las variables independientes y la variable dependiente ...	74

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### TABLAS

Tabla 1: Variables exploratorias de la generación de residuos sólidos urbanos: Literatura de los años 70 a los 2000.....	4
Tabla 2. Distribución territorial de la población oaxaqueña por región .....	20
Tabla 3. Situación de la marginación en Oaxaca.....	21
Tabla 4. Situación del rezago social en Oaxaca.....	22
Tabla 5. Resultados del GACP 2020 para el estado de Oaxaca.....	23
Tabla 6. Variables independientes.....	37
Tabla 7: Iteraciones para obtener un $VIF < 4$ para las variables explicativas del G1 .....	43
Tabla 8. Matriz de correlaciones.....	44
Tabla 9: Variables explicativas en los grupos de datos G1 y G2 .....	45
Tabla 10: Variables explicativas en las que tuvieron multicolinealidad.....	46
Tabla 11. Resultados de la regresión por MCO de los dos grupos (G1 y G2) .....	47
Tabla 12. Técnica de AEDE para determinar el tipo de asociación espacial a nivel global y local.....	49
Tabla 13. Prueba de diagnóstico sobre la dependencia espacial del modelo (G1) .....	53
Tabla 14. Prueba de diagnóstico sobre la dependencia espacial del modelo (G2) .....	53
Tabla 15. Resultados de los modelos espaciales (G1) .....	55
Tabla 16. Resultados de los modelos espaciales (G2) .....	55
Tabla 17. Lista de las variables significativas con efecto positivo/negativo y no significativas.....	60

### FIGURAS

Figura 1. Localización del estado de Oaxaca.....	12
Figura 2. Regiones socio-culturales de Oaxaca.....	13
Figura 3. Principales ciudades.....	14
Figura 4. Repartición de los pueblos indígenas en Oaxaca.....	19
Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología.....	26
Figura 6. Cartograma de la cantidad de residuos sólidos urbanos recolectada.....	36



Figura 7. Índice de Moran.....	50
Figura 8. Mapa de significancia (LISA) de los residuos sólidos urbanos.....	51
Figura 9. Mapa de Clúster (LISA) de la generación de residuos sólidos urbanos.....	51

## ACRÓNIMOS

AEDE: Análisis Exploratorio de Datos Espaciales

CIM: Cantidad de instalaciones manufactureras

CNGMD: Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México

COM\_D: Cantidad de comercios al menudeo

COM\_M: Cantidad de comercios al mayoreo

CONAPO: Consejo Nacional de Población

CONEVAL: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social

CPV: Censo de Población y Vivienda

DBGIR: Diagnóstico Básico de Gestión Integral de Residuos

DENS: Densidad poblacional

DENUE: Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas

GACP: Grado de accesibilidad a carreteras pavimentadas

GACPBM: Grado de accesibilidad a carreteras pavimentadas bajo o muy bajo

GIRS: Gestión integral de residuos sólidos

GIRSU: Gestión integral de residuos sólidos urbanos

GRAPROES: Grado promedio de escolaridad

GWR: Regresión Ponderada Geográficamente

IM: Índice de marginación

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IRS: Índice de rezago social

LISA: Local Indicator of Spatial Association (Indicador Local de Asociación Espacial)

MUN\_UC: Municipio según usos y costumbres

P3YM\_HLI: Población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena

PEA: Población económicamente activa

PIB: Producto Interno Bruto

POBTOT: Población total

POPV: Promedio de ocupantes por vivienda

PPU: Porcentaje de población urbana

RSU: Residuos sólidos urbanos

SAR: Autorregresión Espacial Simultánea

SARMA: Modelo de rezago y de error espacial

SCINCE: Sistema para la Consulta de Información Censal

SDM: Spatial Durbin Model (modelo espacial de Durbin)

SEM: Spatial Error Model (modelo de error espacial)

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y de Recursos Naturales

SLM: Spatial Lag Model (modelo de rezago espacial)

VHAC: Porcentaje de vivienda con algún grado de hacinamiento

## GLOSARIO<sup>1</sup>

**Disposición final.** Acción de depositar o confinar permanentemente los residuos sólidos urbanos en sitios o instalaciones.

**Estaciones de transferencia.** Son instalaciones de almacenamiento temporal de los residuos para ser transportados posteriormente a un sitio de disposición final; eventualmente, podría aplicarse algún otro proceso a los materiales recibidos, como la separación, compactación y trituración.

**Índice de marginación.** El índice de marginación es una medida-resumen que permite diferenciar los estados y municipios del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas.

**Índice de Rezago Social.** Es una medida que agrega en un solo índice variables de educación, acceso a servicios de salud, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y activos en el hogar.

**Recolección de residuos sólidos.** Acopio o colecta de residuos con características domiciliarias generados en casas-habitación, establecimientos, mercados o barrido de la vía pública; generalmente se realiza casa por casa, en un punto fijo o mediante contenedores.

**Relleno sanitario.** Obra de infraestructura que involucra métodos y obras de

ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar los impactos ambientales, a través de la compactación y cobertura diaria de los residuos y de la infraestructura para el control de biogás y lixiviados.

**Residuo.** Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final.

**Residuos inorgánicos.** Son materiales que no se descomponen de forma natural o tardan largo tiempo en degradarse, como el plástico, el vidrio, el papel y los metales.

**Residuos orgánicos.** Residuos verdes provenientes de podas en parques y jardines; residuos de actividades agropecuarias como rastrojo, estiércol y residuos de beneficios; y residuos domésticos como restos de comida y jardín.

**Residuos sólidos urbanos.** Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.

<sup>1</sup> El glosario tiene como fuentes de información:

- a) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Glosario*. Disponible en: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/compendio\\_2019/RECUADROS\\_INT\\_GLOS/D3\\_GLOS\\_RSM.htm](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/compendio_2019/RECUADROS_INT_GLOS/D3_GLOS_RSM.htm)
- b) Consejo Nacional de Población (CONAPO). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2020.
- c) Nota técnico-metodológica. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/671313/Nota\\_tecnica\\_IMEFM\\_2020.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/671313/Nota_tecnica_IMEFM_2020.pdf)

## INTRODUCCIÓN

Los residuos surgen de nuestras actividades de consumo diario y su generación no deja de crecer. Según el informe del Banco Mundial *What a Waste 2.0* (Los desechos 2.0), debido a la rápida urbanización, el crecimiento de la población y el desarrollo económico, entre 2018 y 2050, la cantidad de desechos a nivel mundial aumentará en 70% y llegará a un volumen asombroso de 3,400 millones de toneladas de desechos (Kaza et al., 2018).

Hoy en día, la reducción de la generación de residuos sólidos está en primera línea de la gestión integral de los mismos. Si bien, en el pasado, gestionar los residuos sólidos consistía en prácticas de recogida y eliminación, actualmente, esto se apoya en otros conceptos como la Economía Circular cuyo fundamento se basa en las tres acciones fundamentales conocidas como los principios de las 3R: Reducir, Reutilizar, Reciclar (Ghisellini et al., 2016). Es decir, los métodos de gestión de residuos sólidos han evolucionado y las prácticas han mejorado y se han introducido nuevos conceptos de forma sistemática con el enfoque de la sustentabilidad.

Cabe resaltar que los métodos que abarcan la gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GIRSU) dependen de tener acceso a datos de generación de residuos sólidos. Así, los vehículos de recogida, las rutas y las frecuencias se organizan en función de los índices de generación de los residuos sólidos. Las capacidades de los vertederos y las plantas de incineración se determinan utilizando las tasas de generación de residuos actuales y proyectadas y se diseñan en consecuencia. Las acciones que se llevan a cabo para reducir los residuos sólidos se planifican teniendo en cuenta las tasas de generación de residuos y también la composición en muchos casos (Keser et al., 2012). En otras palabras, la cantidad de residuos generada en un lugar determinado es una variable esencial para una efectiva gestión de los mismos.

Dado que los residuos sólidos no surgen por sí solos, su generación se ve afectada por diferentes factores. Así que, los estudios que buscan identificar y analizar los determinantes de la generación de residuos sólidos son un prerrequisito y, por lo tanto, son de suma importancia. Empero, cabe mencionar que, a la hora de implementar un estudio sobre el tema, es imposible establecer un modelo predictivo general para la generación de

residuos sólidos, debido a que las características de la generación de residuos sólidos urbanos son muy diversas y únicas en cada región.

Como ejemplo, los patrones de generación de residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México seguramente son distintos a los de Oaxaca y, muy posiblemente, dentro del estado de Oaxaca se notará una diferencia entre los diferentes municipios que contempla dicha entidad. Esto se debe a que los niveles económicos y de educación son distintos entre ambas entidades federativas. Por lo tanto, un determinante como los ingresos puede tener una relación positiva con la tasa de generación de residuos en un lugar, mientras que puede mostrar una correlación negativa o insignificante en otro (Keser et al., 2012; Djemaci, 2014).

Bajo el planteamiento anterior, la pregunta que guía la investigación es la siguiente: ¿cuáles son los determinantes de la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca? Por lo que el objetivo general del estudio es identificar los determinantes que afectan la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca. Específicamente, se desea investigar y analizar por un lado la incidencia de los determinantes sociodemográficos y económicos y, por otro lado, la relación espacial de esta generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca con dichos determinantes. La hipótesis planteada es que la generación de los residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca está relacionada directamente con el producto interno bruto per cápita y en menor medida con la densidad poblacional. Asimismo, debido a la autocorrelación espacial positiva en la variable dependiente, la generación de residuos sólidos urbanos de un municipio se verá afectada por la generación de residuos sólidos urbanos de sus vecinos.

El estudio se realiza sobre la base de 437 municipios (76.7% del total de municipios) de esta entidad federativa cuya cantidad de residuos sólidos urbanos recolectada fue proporcionada por el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021 (CNGMD). Para analizar los efectos de las variables en la generación de los residuos sólidos urbanos en los municipios de Oaxaca se hace uso de modelos no espacial y espacial mediante la aplicación de una regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y un modelo de error espacial (SEM) respectivamente, estos modelos nos permitirán detectar si existen efectos de derrama (spillovers) entre los municipios en lo que a generación de residuos se refieren.

El trabajo se estructura de la siguiente manera: en el primer capítulo se presenta el estado del arte, abordando los determinantes sociodemográficos y económicos, así como la variación espacial que ha tomado en cuenta la relevante literatura vinculada a los estudios de generación de residuos sólidos urbanos. En el capítulo dos, se presenta el diseño de investigación lo cual aborda la delimitación del tema, la justificación del mismo y el problema de investigación a considerar. En el capítulo tres, se presenta el panorama sociodemográfico de la presente entidad federativa en donde se toma en cuenta los grupos étnicos de Oaxaca, la dinámica de la población, así como la situación de Oaxaca frente a la pobreza, marginación y rezago social. En este mismo capítulo, no se debe olvidar la accesibilidad geográfica del estado y el Sistema Normativo Indígena (SNI) que rige la mayor parte de los municipios de esta entidad. La cuarta parte de este trabajo de investigación presenta el marco general de la metodología incluyendo las fuentes de donde se obtuvieron los datos y su procesamiento (análisis de datos espacial y no espacial). La quinta parte presenta la implementación de la metodología aplicada y los respectivos resultados obtenidos. En el sexto capítulo se presenta la discusión de los resultados. En la séptima y última parte se rescatan las conclusiones y recomendaciones tanto de políticas públicas como para futuros trabajos. Adicionalmente, se incorpora en los apéndices; las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en el análisis empírico, así como los mapas univariados y bivariados.

## Capítulo 1. Estado del Arte

### 1.1 Determinantes de generación de residuos sólidos urbanos

La investigación acerca de los determinantes de generación de residuos sólidos urbanos tiene un amplio espectro y sigue en expansión. Algunos de estos determinantes se mencionan en los estudios de Hockett et al. (1995), Beigl et al. (2008), Karak et al. (2012) y Grazhdani (2016). Una comprensión clara de estos determinantes es fundamental para planificar y aplicar estrategias de una gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU).

En general, las investigaciones pueden clasificarse en dos grupos, en función de los fines de la investigación: (1) identificar los determinantes que influyen en la generación de residuos sólidos urbanos (es decir, modelos causales o descriptivos); y/o (2) proyectar la generación de residuos sólidos urbanos utilizando variables presumiblemente explicativas (es decir, modelos predictivos).

De forma cuantitativa o descriptiva, los investigadores han estudiado cinco categorías generales de determinantes relacionados con la generación de residuos sólidos urbanos: económicas, demográficas, estructura de la vivienda, geográficas y políticas. En la Tabla 1 se presenta un cuadro resumen de las variables examinadas por los estudios anteriores, que se basa en gran medida en dos artículos de revisión existentes: Beigl et al. (2008) y Mazzanti et al. (2008).

**Tabla 1**

*Variables exploratorias de la generación de residuos sólidos urbanos: Literatura de los años 70 a los 2000*

<b>Categoría</b>	<b>Variables</b>	<b>Referencias</b>
<b>Económica</b>	Ingreso	Wertz, 1976; Richardson y Havlicek, 1978; Dayal et al., 1993; Ali Khan y Burney, 1989
	Ventas al menudeo	OECD, 2004; Christiansen et al., 1999; Daskalopoulos et al., 1998; Hockett et al., 1995
	Empleo	Dennison et al., 1996a ; Bach et al., 2004
<b>Demográfica</b>	Edad	Beigl et al., 2004 Richardson y Havlicek, 1978



<b>Características de la vivienda</b>	Tamaño del hogar	Dennison et al., 1996b ; Richardson y Havlicek, 1978
	Educación	Hong y Adams, 1993
	Etnia	Hong y Adams, 1993
	Patrón de consumo	Dennison et al., 1996a
	Precio de alquiler de la propiedad	Abu Qdais et al., 1997
<b>Características geográficas</b>	Tipo de vivienda	Emery et al., 2003; Parfitt y Flowerdew, 1997; Dennison et al., 1996a
	Densidad poblacional	Hockett et al., 1995; Ali Khan y Burney, 1989
	Porcentaje de población urbana	Hockett et al., 1995
<b>Política de gestión de residuos</b>	Tasas de eliminación de residuos	Hockett et al., 1995
	Densidad de los lugares de recogida	Bach et al., 2004

Nota: La tabla 1 se ha creado en gran medida a partir de Beigl et al. (2008), Mazzanti et al. (2008).

Basándonos en las conclusiones de la literatura anterior, identificar variables exploratorias que sean universalmente consistentes entre los estudios existentes puede ser difícil. Por una parte, debido a las diferentes técnicas de modelización aplicadas (modelo de regresión, análisis de serie de tiempo, comparación de grupos, modelo difuso gris, análisis input-output, modelo de inteligencia artificial) y, por otra parte, debido a que el número y los tipos de variables independientes investigadas varían considerablemente.

En otras palabras, la revisión anterior sugiere que hay resultados mixtos sobre los impulsores de la generación de residuos sólidos urbanos, por lo tanto, los efectos de los determinantes de la Tabla 1 pueden no estar al mismo nivel en diferentes lugares (países, ciudades, regiones, etc.). Por lo tanto, es imposible establecer un modelo predictivo general para la generación de residuos sólidos urbanos, debido a que las características de la generación de residuos sólidos urbanos son muy diversas y únicas en cada lugar.

### **1.1.1 Determinantes sociodemográficos y económicos**

Los determinantes sociodemográficos y económicos son los más comunes en la modelización de la generación de residuos sólidos urbanos, sobre todo porque los datos son ampliamente accesibles.

En este estudio, las variables independientes se seleccionaron mediante varios procesos iterativos, sobre la base de (1) la revisión de la literatura, (2) la disponibilidad de datos y sobre todo (3) las relaciones detectadas entre las variables de interés. Es decir, en lugar de una lista exclusiva de variables independientes, este estudio favoreció un número reducido de variables debido a que, varias variables de interés (como la población y el empleo) pueden tener altas correlaciones entre sí, lo que presenta multicolinealidad y crea amenazas para la validez del análisis de regresión. Esto es, un conjunto representativo de variables independientes puede dar lugar a resultados más precisos que un conjunto largo pero correlacionado. Por ello, este estudio sólo se ha centrado en unas pocas variables representativas formando las siguientes dos categorías: sociodemográficas y económicas.

Las variables sociodemográficas y económicas consideradas en este proyecto encuentran su justificación y fundamento teórico en base a diferentes estudios. En Mazzanti et al. (2008), quienes utilizaron un conjunto de datos de provincias italianas que incluyen regiones ricas del norte y más pobres del sur. Los autores examinaron hasta qué punto el ingreso y la generación de residuos municipales están vinculadas y a qué nivel de ingreso se desvinculan. El análisis muestra que el punto de inflexión se produce a niveles muy altos de ingreso per cápita, ejemplificado por un número muy limitado de provincias italianas ricas (del norte).

Buenrostro et al. (2001) mostraron que la tasa de generación de residuos aumentaba con el incremento del nivel socioeconómico. Los autores obtuvieron tres clases socioeconómicas (baja, media y alta) basadas en el nivel de ingresos en diferentes ciudades de México. Para determinar el nivel de ingresos, los autores hicieron uso de la información del salario mensual por hogar.

Banar y Özkan (2008) también compararon el porcentaje de componentes de residuos entre niveles socioeconómicos estratificados por ingresos. Además, calcularon los coeficientes de correlación entre los ingresos y los componentes de los residuos. Los componentes de los residuos, excepto los residuos de alimentos y las cenizas, se relacionaron positivamente con el nivel de ingresos. La correlación negativa de las cenizas se atribuyó al uso del carbón como combustible en el grupo de bajos ingresos. Aunque la cantidad de residuos de alimentos era menor en el nivel socioeconómico más alto, los residuos de envases

eran mayores y los resultados mostraron que el contenido de humedad disminuía al aumentar el nivel de ingresos.

En consecuencia, la relación entre la generación y la composición de los residuos está muy relacionada con los ingresos. La dirección de la relación depende de muchos otros factores que, en esencia, están relacionados con los diferentes estilos de vida. Las diferencias pueden observarse en los medios de calefacción, los hábitos nutricionales, las preferencias sobre los productos adquiridos y muchos otros hábitos de vida. Sin embargo, los ingresos no pueden ser el único indicador a la hora de observar el impacto de los diferentes estilos de vida.

Ojeda-Benítez et al. (2008), en su proyecto basado en los datos de un estudio sobre la generación, cuantificación y composición de los residuos residenciales en una ciudad mexicana, establecieron modelos matemáticos que correlacionen la generación de residuos sólidos urbanos per cápita con las siguientes variables: educación, ingresos por hogar y número de residentes. Se han encontrado que en la variable educación frente a la cantidad de residuos sólidos urbanos per cápita generada, existe un incremento en la producción de residuos sólidos urbanos (RSU) per cápita, principalmente en los hogares con educación primaria, seguidos por los hogares con carreras profesionales, aunque en menor medida. En cuanto a la densidad de población por hogar frente a la cantidad de RSU per cápita generada, los resultados muestran que hay un aumento de la generación de RSU per cápita en aquellos hogares con 2 y 3 residentes, mientras que, en los hogares con un mayor número de residentes, la generación de RSU per cápita disminuye. Por su parte, la variable ingresos por hogar muestra que las personas con mayores ingresos no son las que generan más RSU per cápita, como se podía observar en otros estudios (Orccosupa Rivera, 2002). En este estudio, se encontró que las personas con un ingreso entre 400 y 725 pesos mexicanos por semana eran las que producían más RSU per cápita (entre 400 y 1300 g/día).

Liu y Yu (2007) afirman que comprender los factores que afectan a la generación de residuos sólidos urbanos es crucial para los proyectos de planificación municipal y la gestión de las ciudades. En su trabajo, a partir de los datos publicados sobre las variables socioeconómicas y la generación de residuos sólidos urbanos entre 1990 y 2003 en la ciudad de Shanghai, se han estudiado cuantitativamente los principales factores que afectan a la

generación de RSU mediante el método del coeficiente de correlación gris<sup>2</sup> considerando siete determinantes: el producto interior bruto (PIB), el tamaño de la población, las ventas totales al por menor, el consumo de gas, agua y electricidad, el salario personal. Los resultados muestran que, entre los siete determinantes seleccionados, el consumo de gas, agua y electricidad son los tres factores que más afectan a la generación de residuos sólidos urbanos.

Hockett et al. (1995) identificaron y midieron las variables que influyen en la generación de residuos sólidos urbanos per cápita en el sureste de Estados Unidos, utilizando los 100 condados de Carolina del Norte. Entre las variables consideradas, los autores querían examinar la influencia de los componentes de las ventas al por menor, incluidas las ventas de restaurantes, mercancías, tiendas de alimentación y tiendas de ropa, en la generación de residuos sólidos urbanos per cápita, ya que se ha sugerido que las industrias minoristas contribuyen de forma significativa a la generación de residuos. Los resultados han indicado que las ventas al por menor son determinantes significativos de la generación de residuos. De los componentes de las ventas al por menor, las ventas per cápita de los establecimientos de comida resultaron ser las que más influyen en la generación de residuos.

Afon (2007) utilizó zonas ecológicas para determinar la relación entre la generación de residuos sólidos y los indicadores socioeconómicos. Estas zonas pertenecen a diferentes niveles socioeconómicos debido al desarrollo histórico de las ciudades en Nigeria. Se descubrió que la tasa de generación de residuos aumenta a medida que disminuye la educación, los ingresos y el estatus social, en contra de los resultados de otras investigaciones. Este resultado inesperado se explica por las diferentes opciones de alimentación. Los residentes de la clase socioeconómica alta generaban productos manufacturados, mientras que en la clase socioeconómica baja se producían más residuos orgánicos. Este patrón también fue observado por Banar y Özkan (2008) en Eskişehir, Turquía. Los residuos de alimentos estaban relacionados negativamente con los ingresos, mientras que había una correlación positiva entre los ingresos y los residuos de envases.

---

<sup>2</sup> El análisis del coeficiente de correlación gris es un método para determinar si las variables están o no correlacionadas y para determinar el grado de su correlación. Mediante el cálculo de las curvas seriales características y el grado de similitud geométrica de estas curvas, se pueden determinar los factores clave y los factores menores.

En suma, las investigaciones difieren entre sí según las variables independientes que intervienen. Las variables demográficas y socioeconómicas son utilizadas por la mayoría. Las variables demográficas más comunes son la densidad de población, el tamaño medio de los hogares y la estructura de edad. Las variables socioeconómicas suelen incluir los ingresos, el nivel educativo y la situación profesional. Éstas pueden ser denotadas por muchos indicadores diferentes. Por ejemplo, los ingresos pueden representarse mediante el PIB a nivel nacional (por ejemplo, Daskalopoulos et al., 1998; Beigl et al., 2004) o la tasa de alquiler anual de la vivienda (por ejemplo, Abu Qdais et al., 1997) en lugar de los ingresos mensuales en términos de salario. En los estudios sobre la generación de residuos también aparecen variables estructurales como la fijación de precios por unidad (por ejemplo, Hockett et al. 1995) o la densidad de los lugares de recogida (por ejemplo, Bach et al., 2004). Por lo general, la tasa de generación de residuos aumenta con el incremento de los ingresos y el nivel educativo, mientras que aumenta con la disminución del tamaño medio de los hogares. Aunque estos son los resultados más comunes, se puede llegar a resultados diferentes en función de las respuestas de la sociedad.

## **1.2 Variación espacial de la generación de residuos sólidos urbanos**

Como se ha visto en los estudios anteriores, los resultados de cada trabajo son propios de la región estudiada. Las condiciones y los mecanismos de generación de residuos varían entre regiones. Esto es especialmente importante para los determinantes, con los que la relación de la generación de residuos sólidos es imprecisa. Aunque se espera que las reglas generales se mantengan, los efectos de algunas variables independientes pueden cambiar entre los estudios en diferentes países, incluso en diferentes ciudades dentro de un país. En otras palabras, el proceso de generación de residuos varía no sólo temporalmente sino también espacialmente. Sin embargo, rara vez se tienen en cuenta las variaciones espaciales en la generación de residuos. Se observa que los estudios sobre la generación de residuos casi no emplean técnicas estadísticas espaciales para analizar cualquier posible patrón espacial de los determinantes.

En un número reducido de estudios de la literatura, se puede mencionar a Dennison et al. (1996), quienes utilizaron un sistema de información geográfica (SIG) para representar visualmente las distribuciones del tamaño de los hogares y las tasas de generación de residuos

per cápita en diferentes distritos de Dublín. Los resultados indicaron que el tamaño de los hogares se ve como una influencia razonablemente consistente en la generación de residuos. No sólo aparece como una influencia positiva en la vida de las 11 variables evaluadas en este trabajo, sino que los análogos probables del tamaño de los hogares, como los hogares con pisos, los jubilados o los estudiantes, también son factores de correlación fuertes y comunes.

Purcell y Magette (2009) también crearon un modelo SIG para predecir las tasas de generación de residuos sólidos urbanos biodegradables en Dublín, Irlanda. Es interesante observar que las zonas de mayor generación de residuos previstas no son distritos electorales del centro de la ciudad con alta densidad, sino distritos situados al norte, sur y oeste del centro de la ciudad que están experimentando un gran crecimiento de la población. Cabe mencionar que la definición espacial de la generación de residuos es única en la zona de Dublín y constituye un paso importante para que la práctica de la gestión de residuos en Irlanda se ajuste a los estándares mundiales y también un elemento importante para ayudar a comprender los patrones de generación de residuos de la región.

En el caso de México, y precisamente en el estado de Oaxaca, hasta la fecha no se ha reportado un estudio con estas técnicas espaciales. El estudio que más se aproxima fue elaborado por Keser et al. (2012) quienes realizaron un análisis de datos espaciales y no espaciales para determinar los factores que influyen en las tasas de generación de residuos sólidos municipales en Turquía para el año 2010, enfocándose en las variables socioeconómicas, demográficas y estacionales mediante el uso de una Autorregresión Espacial Simultánea (SAR) y de una Regresión Ponderada Geográficamente (GWR). Entre las variables consideradas en este estudio la tasa de desempleo y la proporción de carreteras asfaltadas en las zonas rurales fueron los factores significativos (con un nivel de confianza del 95%) que afectan a las tasas de generación de RSU en Turquía. Tal como lo señalan Keser et al. (2012), si se considera el desempleo como un indicador de los ingresos, su relación negativa con la tasa de generación de residuos sólidos es coherente con los estudios anteriores. Los ingresos suelen tener una relación positiva con la tasa de generación de RSU. El aumento del desempleo es una indicación de la disminución de los ingresos por persona. Como resultado, la disminución de los ingresos conduce a una menor tasa de generación de RSU en Turquía. Por su parte, la proporción de carreteras asfaltadas en las zonas rurales

muestra una relación positiva con la tasa de generación de RSU, lo que evidencia que, a mayor proporción de carreteras asfaltadas, mayor generación de RSU en Turquía.

Como indicaron los resultados de GWR, diferentes variables pueden ser significativas para afectar a la generación de RSU en diferentes provincias. Una determinada variable explicativa puede incluso tener un impacto contradictorio en diferentes provincias. Además, cabe mencionar que este estudio se destaca por ser uno de los raros estudios que ha tomado en cuenta la incidencia de los determinantes de la generación de residuos en algunas zonas/provincias rurales.

## Capítulo 2. Diseño de Investigación

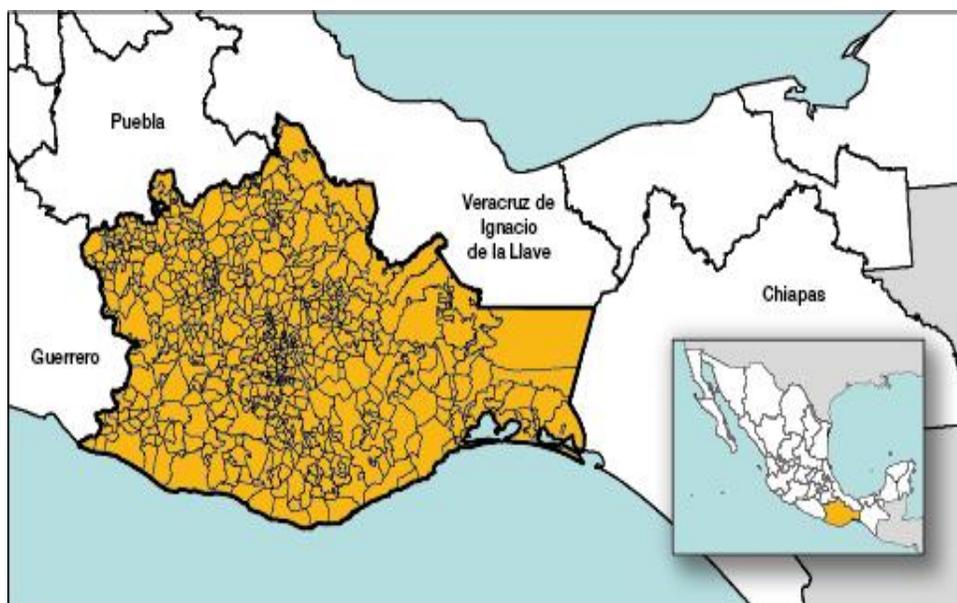
### 2.1 Delimitación del tema

#### 2.1.1 Localización del estado de Oaxaca

El Estado de Oaxaca ocupa una extensión territorial de 93,757.6 km<sup>2</sup> y representa el 4.8 % de la superficie del territorio mexicano. Colinda al norte con Puebla y Veracruz-Llave; al este con Chiapas; al sur con el Océano Pacífico y al oeste con Guerrero (Figura 1).

#### Figura 1

*Localización del estado de Oaxaca*



Fuente: INEGI, 2020a<sup>3</sup>

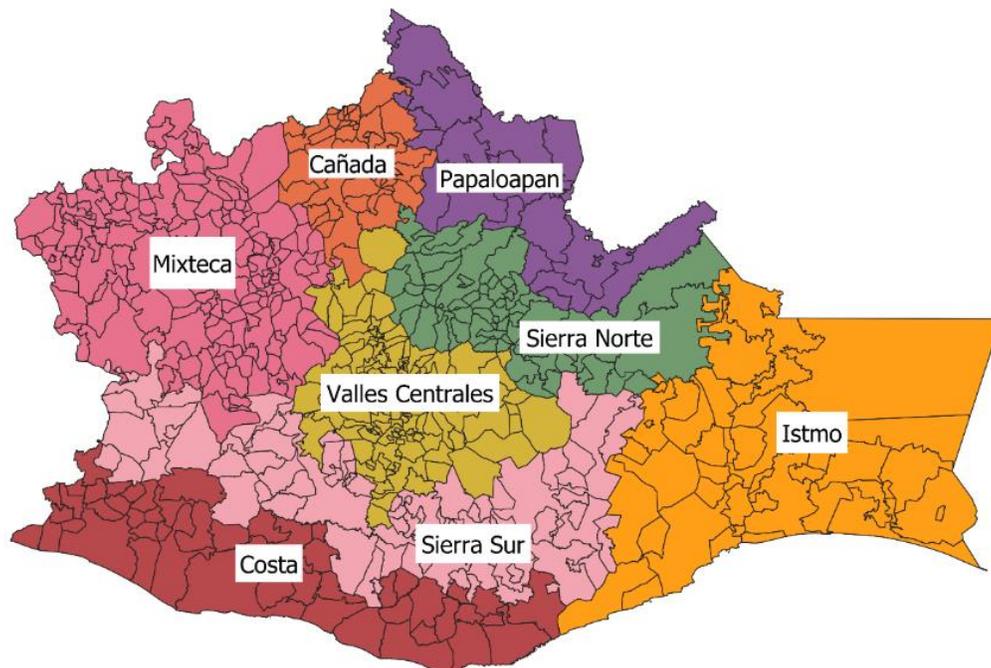
#### 2.1.2 Regionalización

De acuerdo con la clasificación etnográfico-folclórica, el estado de Oaxaca se divide en ocho (8) regiones: Cañada, Costa, Istmo, Mixteca, Cuenca del Papaloapan, Sierra Sur, Sierra Norte y Valles Centrales (Figura 2).

<sup>3</sup> <http://en.www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=20#collapse-Resumen>

**Figura 2**

*Regiones socio-culturales de Oaxaca*



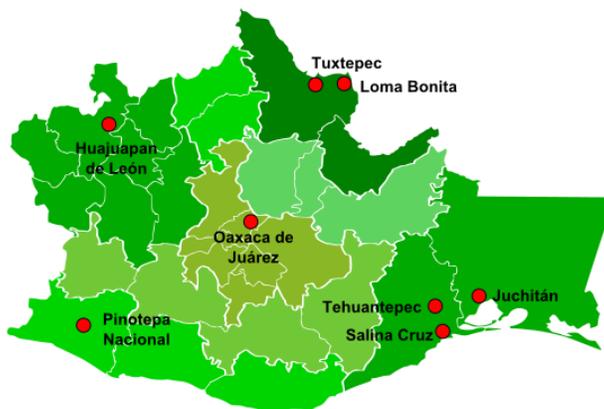
Fuente: Elaboración propia en QGis

### **2.1.3 Principales ciudades**

La mayor parte de la población de Oaxaca (aproximadamente el 90%) se asienta en las zonas rurales y semi-rurales, a excepción de las regiones de Valles Centrales, Cuenca del Papaloapan y el Istmo que es donde se acentúan las grandes urbes del estado (Figura 3).

**Figura 3**

*Principales ciudades*



Fuente: Juárez Betanzos, 2016a<sup>4</sup>

### 2.1.4 Actividad económica

La actividad económica más practicada en el estado de Oaxaca es la agricultura, siendo la zona de mayor potencial agrícola la Región Cuenca del Papaloapan, específicamente en Tuxtepec. El segundo polo económico es el sector terciario, particularmente en la Ciudad de Oaxaca por su condición de capital; resaltando las actividades comerciales y de servicios como restaurantes, hoteles y transportes.

Las principales actividades manufactureras son: la producción de mezcal en los Valles Centrales; la refinación de petróleo, la producción de cemento tipo Portland y la generación de energía limpia en el Istmo; la producción de cerveza, azúcar refinada, papel y biocombustible (Etanol) San Juan Bautista Tuxtepec y la generación de energía eléctrica en la presa Miguel Alemán Valdez.

De acuerdo con el panorama sociodemográfico de Oaxaca a partir del Censo de Población y Vivienda (CPV) 2020, la población económicamente activa (PEA) representa el 56.8 % de la población total en donde 40.2 % son mujeres y 59.8 % son hombres.

### 2.2 Justificación del tema

*¿Por qué Oaxaca es un caso pertinente de estudio?*

<sup>4</sup> <https://sites.google.com/site/jazminjuarezbetanzos/x/principales-ciudades>

Primero, la revisión de literatura revela que no existen, por el momento, suficientes estudios empíricos que hayan considerado las regiones con fuertes localidades rurales. Generalmente, la investigación acerca de los determinantes de generación de residuos sólidos urbanos se concentra en zonas urbanas. Por lo tanto, esta investigación es de fundamental importancia, dado que permita mostrar avances obtenidos en un área relativamente inexplorada en los estudios de determinantes de la generación de residuos sólidos urbanos.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2020b), más de 2 millones de oaxaqueños (51% de la población total del estado) habitan en localidades rurales, esto es, localidades con menos de 2,500 habitantes y el resto de la población habita en localidades urbanas. Este porcentaje está por debajo de la media nacional, siendo que en el país 79% de los mexicanos habitan en localidades urbanas, 21% en localidades rurales. Si se observa esta realidad, en términos de cantidad de localidades, de las 10,723 localidades del estado de Oaxaca, 10,523 (98.13%) son rurales mientras que tan solo 200 (1.87%) son urbanas.

Por otro lado, el estado de Oaxaca presenta una gran heterogeneidad territorial. No solo se registra una fuerte cantidad de localidades rurales sino también según el Sistema Urbano Nacional (SUN, 2018)<sup>5</sup>, en la entidad existe dos zonas metropolitanas, nueve conurbaciones y cinco centros urbanos, todos marcados por una gran diversidad institucional que van desde regímenes políticos administrativos diferentes. En Oaxaca, además del sistema de partidos políticos, más del 70% de los municipios se rigen por usos y costumbres conocidos como Sistema Normativo Indígena (SNI)<sup>6</sup>, lo que pone en duda la capacidad que se tiene para llevar a cabo proyectos o propuestas de políticas no solo de gestión de residuos sólidos sino también que encaminan hacia una Economía Circular.

Asimismo, el estado de Oaxaca se caracteriza por una predominancia de empleos informales y una gran cantidad de empresas pequeñas. Según el INEGI, de los establecimientos existentes en la entidad, 97.9 por ciento son Micro y concentran el 72.8 por ciento del Personal ocupado, seguidos por los Pymes con 2.1 por ciento de establecimientos

---

<sup>5</sup> <https://www.gob.mx/conapo/documentos/sistema-urbano-nacional-2018>

<sup>6</sup> <https://www.ieepco.org.mx/sistemas-normativos/municipios-sujetos-al-regimen-de-sistemas-normativos-indigenas-2018>

que dan empleo a 22.2 por ciento del Personal ocupado y, finalmente, los Grandes que representan solo dos centésimas porcentuales de establecimientos, con 5.1 por ciento de Personal ocupado. Del mismo modo, “el 80 por ciento de los establecimientos son informales y ocuparon a 50.1 por ciento del Personal ocupado. En contraparte, los establecimientos formales, que representan el 20 por ciento, dieron empleo al 49.9 por ciento de todo el Personal ocupado en la entidad” se detalla en los Censos Económicos 2019<sup>7</sup>.

Más allá de la diversidad institucional del estado de Oaxaca, también se encuentra una diversidad sociocultural y sociodemográfica. La división etnográfico-folclórica le hace una entidad federativa muy aparte de todo México. A esto, se añade que el estado se ocupa el primer lugar en cuanto a población indígena se refiere. La entidad concentra el 16.59% de las personas mayores de 3 años y más que habla alguna lengua indígena de todo el país (7,364,645 personas de 3 años y más) (INEGI, 2020b).

Finalmente, el análisis de los determinantes de generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca es un caso de estudio único y completo que nos permite sustraer características sociodemográficas y económicas diversas (usos y costumbres, informalidad, desigualdad) que en estudios anteriores no se han podido tomar en cuenta. Del mismo modo, las técnicas de la econometría espacial que se implementan en este trabajo le hacen un estudio innovador que a la vez contribuye a complementar el enfoque de los estudios de generación de residuos sólidos urbanos, así como servir de base para el diseño y mejoramiento de políticas públicas de gestión integral de residuos sólidos urbanos del estado.

### **2.3 Problemática de la investigación**

“La administración de los residuos sólidos urbanos en México, y específicamente en el estado de Oaxaca ha representado una problemática alarmante debido a la generación masiva y a la ineficiente gestión de los mismos”(Aguilar Fernández et al., 2020).

Partiendo de esta cita, no nos vamos a concentrar en el problema de la ineficiente gestión de los residuos sólidos urbanos en el estado de Oaxaca sino más bien, en el análisis de los diferentes factores que están detrás de la generación masiva de estos residuos mencionados por los autores. Esto con el fin de tener un mejor panorama de las distintas

---

<sup>7</sup> [https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Informacion\\_general](https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Informacion_general)

causas de la alta generación de residuos sólidos urbanos generada en los municipios del estado.

Considerando lo anterior, según INEGI (2022), a través del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021 (CNGMD), se ha recolectado en el estado de Oaxaca 2 194 257 kilogramos por día de residuos sólidos urbanos. Asimismo, este censo evidencia una gran heterogeneidad en la cantidad de residuos sólidos urbanos recolectada en los diferentes municipios del estado de Oaxaca. Por ejemplo, los municipios de Oaxaca de Juárez, San Juan Bautista de Tuxtepec y Juchitán de Zaragoza sobresalen entre los que más RSU se recolectan mientras que San Pedro Tidaá, San Miguel Piedras y San Miguel Tenango están entre los que menos residuos se recolectan. Cabe señalar que los primeros tres municipios que se han mencionado son los tres más poblados a nivel estatal y, cada uno de ellos está en un distrito diferente y, al mismo tiempo, en una región diferente. Se nota que el municipio de Oaxaca de Juárez, por ser la capital del estado, genera casi el doble de la generación estimada de RSU en el municipio de San Juan Bautista de Tuxtepec y más de cuatro veces la del municipio de Juchitán de Zaragoza; es decir, la generación de residuos sólidos urbanos en una zona en particular está relacionada con diversos factores. Su incremento o variación en el tiempo también estará vinculada a múltiples factores. Bajo esta perspectiva, Nagelhout et al. (1990) han señalado que la generación de residuos es proporcional al crecimiento de la producción y el consumo. Beede y Bloom (1995) han llegado a la conclusión general de que la producción de residuos sólidos urbanos esté relacionada con el ingreso y, en menor medida, con la población. Coopers y Lybrand (1996) resaltaron que el crecimiento de las cantidades de residuos domésticos es proporcional al crecimiento del consumo privado de alimentos y bienes de lujo. Andersen et al. (1998) advirtieron que la generación de residuos evoluciona proporcionalmente con el nivel de actividad de los sectores económicos que los generan. Por su parte, Christiansen et al. (1999) establecieron una relación proporcional entre el flujo de residuos y la actividad económica, en particular entre la generación de determinadas categorías de residuos y el nivel de actividad de los sectores económicos que los generan. Los autores han llegado a la conclusión de que cuando la actividad económica aumenta un 10%, la producción de residuos aumenta un 10%, lo que es una constante de

proporcionalidad. Así que, la actividad económica, en algunas medidas, puede explicar la producción de residuos.

Como se ha visto, existe una amplia gama de estudios en cuanto a los factores que participan en la generación de los residuos sólidos. En este trabajo, inspirándose a estos estudios, se identificarán y analizarán los determinantes sociodemográficos y económicos que inciden en la generación de los residuos sólidos urbanos de los municipios del estado de Oaxaca, un análisis que al mismo tiempo permitirá conocer el impacto de la actividad económica dentro de un municipio sobre la generación de sus residuos sólidos urbanos a través de las diferentes variables que se considerarán en este proyecto.

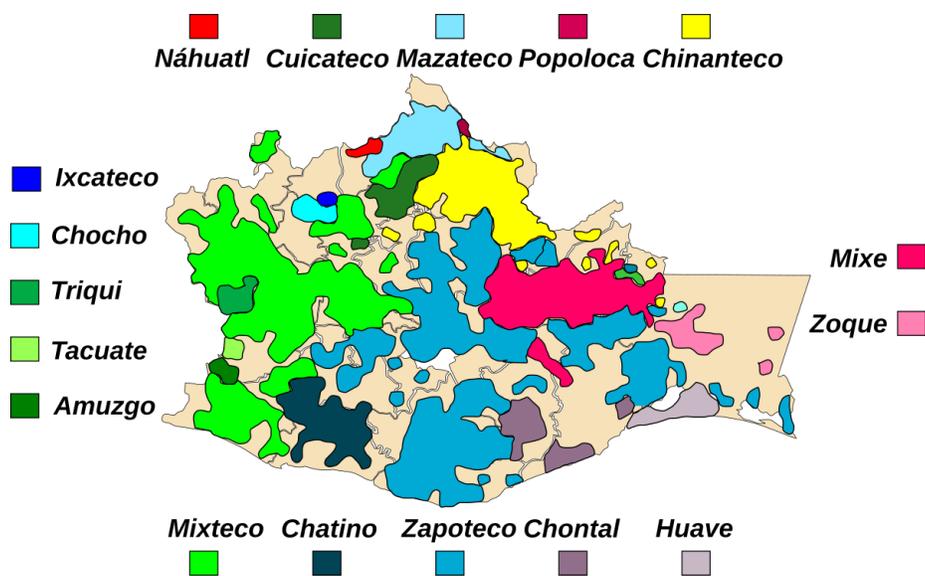
## Capítulo 3. Panorama Sociodemográfico del Estado de Oaxaca

### 3.1 Grupos étnicos

El estado de Oaxaca tiene casi una cuarta parte de todos los municipios del país. Está formado por 570 municipios, agrupados en 30 distritos, donde conviven más de 16 grupos culturales con tradiciones y costumbres totalmente distintas entre sí. Entre ellos se encuentran: los amuzgos, cuicatecos, chatinos, chinantecos, chochos, chontales, huaves, ixcatecos, mazatecos, mixes, mixtecos, nahuatlecos, triques, zapotecos, zoques y popolucas (Juárez Betanzos, 2016b<sup>8</sup>). En la Figura 4 se muestra la repartición de estos pueblos en el territorio estatal.

**Figura 4**

*Repartición de los pueblos indígenas en Oaxaca*



Fuente: Wikipedia, 2017<sup>9</sup>

### 3.2 Dinámica de la población oaxaqueña

Oaxaca es una de las 10 entidades federativas del país con mayor densidad poblacional, 44.1 habitantes por kilómetro cuadrado. Su población se eleva a 4 132 148 habitantes en donde el 52.2% son mujeres. La tasa de crecimiento anual es de 0.9% y la edad media de los

<sup>8</sup> <https://sites.google.com/site/jazminjuarezbetanzos/x/p>

<sup>9</sup> <https://www.freepng.es/png-0ji5ol/>

oaxaqueños es de 28 años (INEGI, 2020b). En la Tabla 2 se muestra la distribución de la población oaxaqueña según las ocho regiones.

**Tabla 2**

*Distribución territorial de la población oaxaqueña por región*

<b>Región</b>	<b>Extensión territorial</b>	<b>Número de distritos</b>	<b>Número de municipios</b>	<b>Número de habitantes</b>	<b>Porcentaje de Hombre</b>	<b>Porcentaje de mujeres</b>
<b>Cañada</b>	4,272.74 km <sup>2</sup>	2	45	200,325	48 %	52 %
<b>Costa</b>	12,501.79 km <sup>2</sup>	3	50	594,088	48 %	52 %
<b>Istmo</b>	19,975.57 km <sup>2</sup>	2	41	642,979	48 %	52 %
<b>Mixteca</b>	16,333.10 km <sup>2</sup>	7	155	484,216	47 %	53 %
<b>Papaloapan</b>	8,678.15 km <sup>2</sup>	2	20	477,389	48 %	52 %
<b>Sierra Norte</b>	9,347.96 km <sup>2</sup>	3	68	177,079	48 %	52 %
<b>Sierra Sur</b>	15,492.33 km <sup>2</sup>	4	70	357,753	48 %	52 %
<b>Valles Centrales</b>	8,762.36 km <sup>2</sup>	7	121	1,198,319	47 %	53 %

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo de Población y Vivienda 2020.

### **3.3 Pobreza**

De acuerdo con los resultados de la medición de la pobreza 2020, el 61.7% de la población de la entidad vivía en situación de pobreza, es decir, 2,569,823 personas, aproximadamente. De este universo, el 41.0% (cerca de 1,709,359 personas) estaba en situación de pobreza moderada, mientras que el 20.6% de la población se encontraba en situación de pobreza extrema (alrededor de 860,464 personas). El porcentaje de pobreza en Oaxaca es 17.8 puntos porcentuales mayor que el porcentaje nacional (43.9%).

En ese mismo año, el porcentaje de población vulnerable por carencias sociales en Oaxaca fue de 25.3%, es decir, 1,052,354 personas, aproximadamente, presentaron al menos una carencia. Al mismo tiempo, 2.4% de la población era vulnerable por ingresos, lo que significa que alrededor de 101,417 personas no tenían los ingresos suficientes para satisfacer

sus necesidades básicas. Finalmente, la población no pobre y no vulnerable de la entidad federativa representó el 10.7%, aproximadamente 443,850 personas (CONEVAL, 2020)<sup>10</sup>.

### 3.4 Marginación

En el estado de Oaxaca, de acuerdo a los resultados del índice de marginación (IM) 2020, 1,760,541 millones de personas (42.60% de la población total) habitan en 326 municipios que se caracterizaron con un grado de marginación alto y muy alto. Por otro lado, del total de municipios, 32 tienen un grado de marginación muy bajo, 61 municipios tienen un grado de marginación bajo mientras que 151 tienen un grado de marginación medio (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Situación de la marginación en Oaxaca*

<b>Grado de marginación</b>	<b>Municipios</b>	<b>Población residente</b>	<b>% de población residente</b>
<b>Total general</b>	570	4,132,148	---
<b>Muy bajo</b>	32	861,374	20.8
<b>Bajo</b>	61	740,843	17.9
<b>Medio</b>	151	769,390	18.6
<b>Alto</b>	234	1,167,511	28.3
<b>Muy alto</b>	92	593,030	14.4

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020.

### 3.5 Rezago social

De acuerdo a las estimaciones del CONEVAL (2020)<sup>11</sup>, Oaxaca tiene un índice de rezago social (IRS) identificado como muy alto, y ocupa el lugar número 2 a nivel nacional, teniendo la primera posición el estado de Chiapas.

<sup>10</sup> <https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Oaxaca/Paginas/principal.aspx>

<sup>11</sup> <https://www.oaxaca.gob.mx/copeval/resultados-del-indice-de-rezago-social-irs-2020-para-oaxaca/>

Los municipios caracterizados con un grado de IRS muy bajo en el estado de Oaxaca, representan el 5.4 % del número total de municipios (31 municipios) en la entidad y en ellos residen el 17.5% de la población total Oaxaqueña.

Por su parte, los municipios identificados con un grado de IRS muy alto en el estado de Oaxaca, representan el 13.3 % del total de municipios (76 municipios) en la entidad y en los cuales reside el 11.1% de la población total del Estado (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Situación del rezago social en Oaxaca*

<b>Grado de IRS</b>	<b>Número de Municipios</b>	<b>Porcentaje sobre el número de municipios</b>	<b>Población residente</b>	<b>Porcentaje de población residente</b>
<b>Total general</b>	570	---	4,132,148	---
<b>Muy bajo</b>	31	5.4	723,044	17.5
<b>Bajo</b>	145	25.4	1,361,496	32.9
<b>Medio</b>	176	30.9	919,523	22.3
<b>Alto</b>	142	24.9	671,327	16.2
<b>Muy alto</b>	76	13.3	456,758	11.1

Fuente: Elaboración propia con datos de CONEVAL, 2020

### **3.6 Accesibilidad geográfica**

El estado de Oaxaca es la entidad federativa que cuenta con el mayor número de municipios (570) en el país, y es una de las primeras entidades a nivel nacional que presenten los menores índices de accesibilidad (mayor índice de aislamiento) de sus localidades que la componen.

Cabe mencionar que la condición de difícil acceso y aislamiento se expresa en las localidades cercanas a caminos rurales y aisladas, con una manifiesta dispersión en todo el territorio estatal, pero con algunas intensas concentraciones en las regiones más deprimidas de la Mixteca, Cañada, Sierra Norte y Sierra Sur, en las que gran parte de la población es indígena, agudizándose sus condiciones de exclusión, marginación y pobreza (González Moreno et al., 2020).

De acuerdo a los resultados del Grado de Accesibilidad a Carretera Pavimentada (GACP)<sup>12</sup>, el estado de Oaxaca ocupa el segundo lugar con el mayor porcentaje de población con GACP bajo o muy bajo (20.6% de la población total) asentada en más del 50% de las localidades del estado. Se encuentra entre los estados de Chiapas (21.3%) y Guerrero (14.5%) (Tabla 5).

**Tabla 5**

*Resultados del GACP 2020 para el Estado de Oaxaca*

GACP	Localidades		Población	
	No. de localidades	Porcentaje	Población	Porcentaje
<b>Total general</b>	10 723	---	4 132 148	---
<b>Muy bajo</b>	333	3.1	82 456	2.0
<b>Bajo</b>	5 302	49.4	767 526	18.6
<b>Medio</b>	725	6.8	94 126	2.3
<b>Alto</b>	2 044	19.1	225 859	5.5
<b>Muy alto</b>	2 319	21.6	2 962 281	71.7

Fuente: Resultados del Grado de Accesibilidad a Carretera Pavimentada (GACP) 2020.  
Estimaciones del CONEVAL

### 3.7 Sistema Normativo Indígena (SNI)

Oaxaca es la entidad con mayor diversidad étnica, cultural, lingüística y natural de México, misma que se expresa en la presencia de sus pueblos indígenas reconocidos desde 1990 en el artículo 16 de la Constitución local. Esta diversidad ha dado lugar a un marco jurídico que reconoce y garantiza la pluralidad política en la elección de autoridades municipales. Por reforma de 1995, se dispuso que los municipios podrían renovar a sus autoridades mediante el régimen de partidos políticos o a través del régimen de sistemas normativos indígenas, antes usos y costumbres.

De los 570 municipios de Oaxaca, 418 (casi tres cuartas partes) se rigen por el sistema de normativos indígenas (usos y costumbres) y sólo 152 por el sistema de partidos políticos.

<sup>12</sup> [https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Grado\\_accesibilidad\\_carretera.aspx](https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Grado_accesibilidad_carretera.aspx)

Los usos y costumbres reivindican al pueblo y le da identidad además de conservar sus costumbres. En el régimen de "usos y costumbres", las "autoridades" municipales no son extraídas de ningún partido político; es la comunidad quien elige para el cargo en la asamblea, considerando los servicios y la calidad moral de cada persona. Siendo así el Topil (autoridad municipal equivalente al policía) hasta el presidente municipal los cuales el tiempo en el cargo es variable, eligiéndolos en su cargo la asamblea popular (reunión de personas de avanzada edad) (Juárez Betanzos, 2016c<sup>13</sup>).

---

<sup>13</sup> <https://sites.google.com/site/jazminjuarezbetanzos/politica-y-gobierno/o>

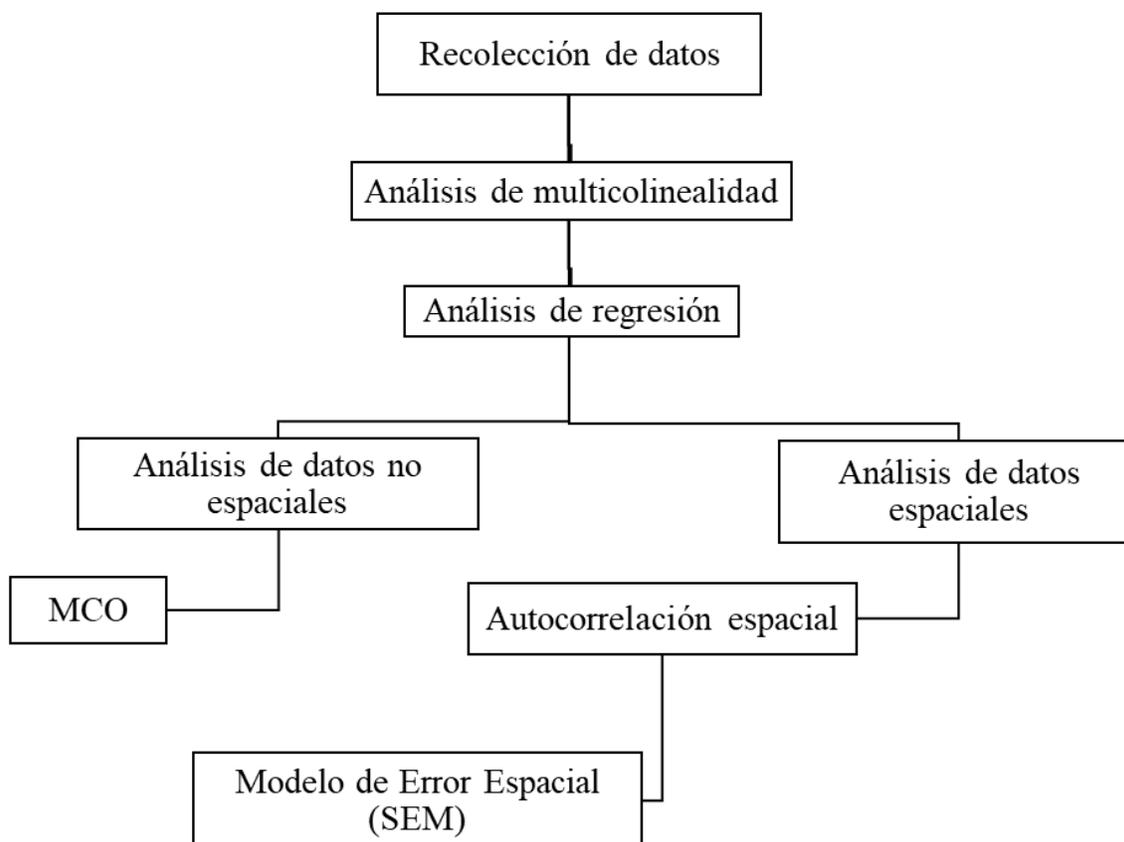
## Capítulo 4. Marco General de la Metodología

En esta sección se describe brevemente la metodología. El diagrama de flujo de la metodología seguida se presenta en la Figura 5. El primer y crucial paso de este trabajo fue la recopilación de los datos. En este paso se recopilaron los datos tanto de la generación de residuos sólidos urbanos como de los indicadores sociodemográficos y económicos. A continuación, esas variables se sometieron a un análisis de multicolinealidad, garantizando que éstas sean independientes entre sí para poder introducirlas en los análisis de regresión.

En primer lugar, se aplicó una regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) a los datos para obtener coeficientes globales sin tener en cuenta la dependencia espacial, un procedimiento que permitirá comparar los resultados de los modelos espacial y no espacial. En el análisis espacial, se inspeccionó principalmente la autocorrelación espacial de la generación de los residuos sólidos urbanos. A continuación, se planteó un modelo de error espacial (SEM). Sin embargo, se hizo una prueba de diagnóstico de dependencia espacial para saber qué modelo espacial era el adecuado. Los detalles en cuanto a esta decisión se explican en el capítulo cinco (5) dedicado a la implementación y resultados de esta metodología. En fin, los análisis de los datos espacial y no espacial se realizaron utilizando GeoDa y QGIS para la cartografía, STATA y R 4.1.1 (R-project, 2020) los cuales están disponibles en el dominio público y proporcionan un entorno para una amplia variedad de cálculos estadísticos e interfaces gráficas.

**Figura 5**

*Diagrama de flujo de la metodología*



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1 Recolección de datos

La recolección de datos puede ser la parte más problemática de los estudios de generación de residuos sólidos urbanos. La recopilación de todos los datos necesarios y el mantenimiento de la fiabilidad de los datos son esenciales. En México, una de las principales fuentes de datos para diversos indicadores es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la mayoría de sus datos están abiertos al público en su sitio web<sup>14</sup>.

La cantidad de residuos sólidos urbanos recolectada se utilizó como variable dependiente (respuesta) en los análisis de regresión espacial y no espacial. Los datos sobre esta variable proceden del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones

<sup>14</sup> <https://www.inegi.org.mx/>

Territoriales de la Ciudad de México 2021 (CNGMD), un censo llevado a cabo por la anterior institución mencionada cada dos años desde 2011. A través de este censo, el INEGI mediante un cuestionario cuantifica la cantidad de residuos sólidos urbanos recolectada en todos los municipios del país. Sin embargo, con respecto a los 570 municipios que conforman el estado de Oaxaca, cabe mencionar que no todos reportan la cantidad de RSU recolectada (133 municipios), por lo tanto, en este proyecto cabe especificar que nuestra variable dependiente hace referencia a los 437 municipios cuyos datos están disponibles (INEGI, 2022). Asimismo, cabe resaltar que se ha decidido de no imputar los datos del 23.3% de los municipios de Oaxaca que no declaran la cantidad de residuos sólidos urbanos debido a que ocupar algún método de imputación sería incorrecto, principalmente porque sería erróneo asignarle un valor a un municipio que no tiene datos.

#### **4.2 Análisis de multicolinealidad**

Entre las variables explicativas recopiladas, tal y como se ha indicado en la metodología del presente trabajo de investigación, hubo que realizar una eliminación por multicolinealidad o, en otras palabras, para satisfacer la independencia de las variables.

Cabe resaltar que existe multicolinealidad cuando una de las variables explicativas tiene una relación lineal con otra variable explicativa o con la combinación de otras variables explicativas. Si esta relación lineal es perfecta (es decir, la relación lineal de dos variables explicativas tiene un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 1), se denomina multicolinealidad perfecta o extrema. Aunque la multicolinealidad perfecta es un caso raro, existe el riesgo de obtenerla artificialmente cuando el conjunto de datos es muy pequeño (por ejemplo, el número de la muestra es menor o igual al número de variables explicativas). En caso de multicolinealidad perfecta entre las variables explicativas, los análisis de regresión no pueden realizarse. Aunque la multicolinealidad no es un impedimento para realizar los análisis mientras no sea perfecta, sigue teniendo algunas consecuencias que vienen determinadas por el grado de correlación entre las variables explicativas (Berry y Feldman, 1985).

La multicolinealidad aumenta los errores estándar y, por tanto, la incertidumbre de las estimaciones de los coeficientes en la regresión, lo que da lugar a una menor significación de las estimaciones de los coeficientes de las variables explicativas y a intervalos de

confianza más amplios. Esto hace que las estimaciones de los coeficientes de las variables explicativas no sean significativas, aunque la ecuación global sea significativa. Dado que es imposible diferenciar los efectos de las variables explicativas cuando covarían (Miles y Shevlin, 2001), la multicolinealidad dificulta la interpretación de los resultados de los análisis y debe evitarse en la medida de lo posible.

La multicolinealidad puede deberse a la inclusión de varias variables explicativas que son indicadores del mismo fenómeno o a la inclusión de una variable explicativa creada por otras variables explicativas que también se consideran en la ecuación. En algunos casos puede no detectarse fácilmente; sin embargo, hay síntomas que revelan la multicolinealidad. El signo de las estimaciones de los coeficientes de las variables explicativas puede ser inverosímil o una variable puede resultar insignificante a pesar de que se espera que tenga un efecto importante sobre la variable dependiente. La alta sensibilidad de los resultados a ligeros cambios, como la exclusión de una variable o una muestra, también puede ser un indicio de multicolinealidad. Sin embargo, la multicolinealidad no siempre se traduce en esto y puede haber otras motivaciones de estos síntomas (Belsley et al., 1980). Por ello, en este estudio se realizan pruebas más concretas.

Se utilizó el factor de inflación de la varianza (VIF) y el coeficiente de correlación del momento del producto de Pearson ( $r$ ) para detectar y eliminar la multicolinealidad. Por su parte,  $r$  se utiliza para detectar la asociación bivariada, mientras que VIF nos permite analizar las correlaciones multivariadas. En otras palabras, el análisis basado en  $r$  descubre la multicolinealidad causada por la correlación de sólo dos variables. Sin embargo, una variable puede tener correlación no sólo con otra variable, sino también con la combinación de más de una variable, lo que también da cuenta de la multicolinealidad, como puede deducirse de la definición, y esto se supera inspeccionando los VIF.

El VIF se calcula utilizando el coeficiente de determinación ( $R_k^2$ ) de la ecuación de regresión en la que una variable explicativa denotada por  $k$  se convierte en la variable dependiente mientras que las demás son variables independientes. La fórmula para calcular el VIF es la siguiente (Belsley et al., 1980):

$$VIF_k = \frac{1}{1 - R_k^2}$$

Como se ve en la fórmula, el VIF aumenta cuando  $R_k^2$  o la correlación de una variable con otras aumenta. Por lo tanto, la multicolinealidad está indicada por un VIF alto. Estadísticamente, la raíz cuadrada del VIF revela cuánto se multiplican los errores estándar como resultado de la multicolinealidad (Miles y Shevlin, 2001). Existe una amplia gama de VIF de corte que se puede encontrar en la literatura. Un valor de umbral para el VIF que se suele utilizar es 10, por encima del cual la multicolinealidad afecta gravemente a las estimaciones de los coeficientes (Freund et al., 1998). Otro valor de corte utilizado a menudo es 4, que tiene una base teórica. Dado que la raíz cuadrada de este valor es 2, los errores estándar se duplican en este punto y se acepta que la multicolinealidad afecta a los resultados más allá de este valor (Miles y Shevlin, 2001). Además, Cho et al. (2009) comprueba la existencia de multicolinealidad utilizando el valor de corte de 10 para el VIF más alto y también se asegura de que la media de todos los VIF no sea sustancialmente mayor que 1. Aunque, el umbral para el VIF contra la multicolinealidad varía en la literatura, la aceptación general es que el VIF no debe exceder de  $\frac{1}{(1-R^2)}$  donde  $R^2$  es el coeficiente de determinación de todo el modelo (Freund et al., 1998).

La fórmula para calcular r se obtiene dividiendo la covarianza de las variables por el producto de su desviación estándar y se da como sigue:

$$r = \frac{\frac{\Sigma(X_{k_1} - \bar{X}_{k_1})(X_{k_2} - \bar{X}_{k_2})}{n}}{\sqrt{\frac{\Sigma(X_{k_1} - \bar{X}_{k_1})^2}{n}} \sqrt{\frac{\Sigma(X_{k_2} - \bar{X}_{k_2})^2}{n}}}$$

Donde  $X_{k_1}$  y  $X_{k_2}$  son vectores (nx1) de dos variables explicativas cualesquiera con las medias  $\bar{X}_{k_1}$  y  $\bar{X}_{k_2}$ , respectivamente y n es el número de puntos de observación o muestras (Walford, 1995). r se obtiene como una matriz cuadrada simétrica cuando hay más de dos variables. Al inspeccionar esta matriz, se pueden detectar fácilmente los pares de variables explicativas que están altamente correlacionadas. r oscila entre -1 y +1. Un valor en torno a cero indica que no hay correlación entre las variables. La correlación surge cuando r diverge de cero y se acerca a 1 (o -1). Los valores cercanos a 1 y -1 son los indicadores de una alta correlación. Si r tiene signo negativo, las variables están relacionadas negativamente entre sí.

En otras palabras, mientras una de las variables aumenta, la otra disminuye. Si  $r$  es positivo, lo que indica una correlación positiva, las variables aumentan o disminuyen juntas.

Debe determinarse un valor límite de  $r$  para la eliminación por pares de los coeficientes. Generalmente, este valor predeterminado por debajo del cual la multicolinealidad no plantea problemas es 0,80; sin embargo, esto puede no ser siempre apropiado para todos los conjuntos de datos dependiendo del tamaño de la muestra (Berry y Feldman, 1985) y, por tanto, el valor límite para  $r$  varía de un estudio a otro. Harms et al. (2009) no incluye variables con  $r$  superior a 0,40 en el mismo modelo. Sin embargo, Mennis y Jordan (2005) no descartaron ninguna de las variables a pesar de que los valores de  $r$  oscilaban entre 0,50 y 0,60, pero las tuvieron en cuenta durante la interpretación estadística. Banar y Özkan (2008) decidieron que existe una buena correlación entre las variables cuando  $r$  es superior a 0,70.

$r$  nos da una pista sobre la varianza compartida. El cuadrado de este coeficiente es el conocido estadístico  $R^2$ . De este modo, podemos conocer la varianza de una variable compartida con otras variables y, por tanto, la información redundante (Walford, 1995). Por ejemplo, el  $R^2$  es de alrededor de 0,64 si  $r$  es de 0,80 para dos variables cualesquiera. Esto significa que más de la mitad de la variación de una variable puede explicarse por la variación de la otra variable. Por eso es innecesario e inexacto incluir dos variables con alta correlación en el mismo modelo.

El paquete "car" de R puede utilizarse para obtener los VIF y  $r$  puede calcularse con el paquete "stats". Se pueden obtener varios grupos de datos estableciendo diferentes valores de corte para VIF y  $r$ . Entonces, estos grupos de datos comprenden diferentes niveles de multicolinealidad. El paquete "leaps" se utiliza para seleccionar el subconjunto de variables de cualquier longitud con el  $R^2$  más alto. La función utiliza un algoritmo de optimización de rama y límite entero para determinar el mejor subconjunto de variables. Como no se tiene en cuenta la multicolinealidad en esta selección, los paquetes deben utilizarse conjuntamente.

Las variables restantes tras el análisis de multicolinealidad deben añadirse a un shapefile para su análisis espacial. El shapefile es un formato de datos desarrollado por ESRI en el que las características se componen de puntos, líneas o polígonos y cualquier información puede adjuntarse a estas características como un atributo (ESRI, 1998). El

shapefile incluye polígonos que representan las unidades de área de interés y los datos pertenecientes a cada unidad de área compuesta por variables dependientes e independientes y también coordenadas de los centros de estas unidades. Cualquier modificación de los datos puede realizarse a través de un archivo de base de datos vinculado al shapefile y visualizado como una hoja de cálculo. El shapefile puede importarse a R para el posterior análisis de los datos.

### 4.3 Análisis de datos no espaciales

#### 4.3.1 Regresión lineal estándar - Mínimos cuadrados ordinarios (MCO)

El objetivo general del análisis de regresión lineal es encontrar una relación (lineal) entre una variable dependiente y un conjunto de variables explicativas. La fórmula de una regresión lineal se da en notación matricial como sigue (Bailey y Gatrell, 1995):

$$y = X\beta + \varepsilon$$

donde  $y$  es el vector de la variable dependiente y  $X$  es la matriz de variables independientes.  $\beta$  es un vector de coeficientes de regresión o pendientes parciales y  $\varepsilon$  es el vector de error.

El método de estimación por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) se denomina mejor estimador lineal insesgado (BLUE: *best linear unbiased estimator*). El MCO estima  $\beta$  minimizando la suma de los errores de predicción al cuadrado, es decir, los mínimos cuadrados. Para obtener la propiedad BLUE y hacer inferencias estadísticas sobre los coeficientes de regresión de la población a partir de la  $b$  estimada, es necesario hacer ciertas suposiciones sobre el error aleatorio de la ecuación de regresión. Estos incluyen:

- a. los errores aleatorios tienen una media de cero (no hay una mala especificación sistemática o un sesgo en la ecuación de regresión de la población);
- b. los errores aleatorios tienen una varianza constante (homocedasticidad) y no están correlacionados
- c. los errores aleatorios tienen una distribución normal.

Los coeficientes  $\beta$  se estiman por el método OLS. El método consiste en elegir los coeficientes que dan lugar a la mínima suma de residuos al cuadrado (Bailey y Gatrell, 1995).

El residuo es la diferencia entre el valor de los datos observados y el valor predicho por el modelo. La suma de los residuos al cuadrado se conoce como la suma de cuadrados no explicada.  $R^2$  es la relación entre la suma de cuadrados explicada y la suma total de cuadrados, que es una medida de lo bien que el modelo explica la variación de la variable de respuesta (Wesolowsky, 1976). La significación de  $R^2$  se evalúa comprobando el valor  $p$ , que debe ser menor que el nivel de significación ( $\alpha$ ) para demostrar que la probabilidad de cometer un error de tipo I es muy pequeña. El error de tipo I es el error en las pruebas de hipótesis que se produce cuando se rechaza la hipótesis nula, aunque sea correcta (Griffith y Amrhein, 1997). El criterio de información de Akaike (AIC) es otro coeficiente utilizado para comprobar el nivel de ajuste de los modelos. El modelo con un AIC más bajo se ve favorecido en términos de ajuste de los datos.

#### **4.4 Análisis de datos espaciales**

##### **4.4.1 Autocorrelación espacial**

La autocorrelación espacial es la dependencia espacial de una variable sobre el área de estudio. La dependencia espacial implicaría que al tomar en consideración una variable, para diferentes localidades, esperaríamos características más similares en localidades vecinas, que en aquéllas separadas por grandes distancias. Como lo señala la primera ley de la geografía de Tobler, se refiere implícitamente a la autocorrelación espacial al afirmar que "todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las distantes"(Tobler, 1970).

La autocorrelación puede caracterizarse como positiva, nula o negativa. La autocorrelación positiva existe cuando los lugares de observación cercanos presentan valores de las variables similares. Por el contrario, las unidades de observación cercanas pueden tener valores disímiles. Entonces, este patrón se denomina autocorrelación negativa. La autocorrelación espacial cero significa que los valores cercanos no están relacionados entre sí o simplemente que no hay autocorrelación espacial (Gangodagamage et al. 2008).

##### **4.4.2 Índice Global de Moran (I de Moran)**

El Índice Global de Moran es una medida estadística desarrollada por Alfred Pierce Moran (1950) que analiza de forma integral las variaciones de autocorrelación espacial entre valores vecinos más cercanos, los mismos que pueden clasificarse como positivo, negativo y sin

autocorrelación espacial. Cuando los valores tienden a agruparse, se habla de una autocorrelación espacial positiva, pero si estos valores se dispersan, entonces se convierte en una autocorrelación negativa, y si los valores se encuentran dispersos o distribuidos de forma aleatoria, entonces no hay autocorrelación espacial entre los valores analizados (Hidalgo Bucheli, 2019).

El Índice Global de Moran consiste en la medición de la presencia o ausencia de autocorrelación espacial de una variable. El I de Moran se sitúa entre aproximadamente -1 y 1 y toma un valor de cero cuando la variable se distribuye aleatoriamente en lugar de tener un patrón espacial. La autocorrelación espacial es positiva cuando el coeficiente tiene un signo positivo y hay autocorrelación espacial negativa si el coeficiente es negativo. La fuerza de la interdependencia aumenta cuando la I de Moran se desvía de cero y se acerca a -1 y 1 para la autocorrelación negativa y positiva, respectivamente (Zhou y Lin, 2008). La I de Moran se calcula como sigue:

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j \neq w_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{(\sum_i \sum_j \neq w_{ij}) \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}$$

donde n es el número de lugares de observación e Y se refiere a la variable dependiente con los subíndices i y j que denotan las unidades de la zona de observación (Gangodagamage et al. 2008)  $\bar{Y}$  es la media de la variable dependiente.  $w_{ij}$  es el elemento de una matriz de ponderación  $W_{n \times n}$  que incluye pesos para cada par de lugares de observación. Esta matriz de ponderación se denomina matriz de proximidad espacial y permite convertir las definiciones de proximidad (por ejemplo, cercano, próximo, lejano, etc.) en términos matemáticos para poder incorporarlas a la formulación. Otros nombres que se utilizan para designar la matriz son matrices de conectividad espacial, de enlaces espaciales, de pesos geográficos, etc.

Los pesos espaciales se crean antes del análisis de los datos espaciales para poder definir la proximidad. Hay muchas formas de construir la matriz de proximidad espacial basada en la definición de vecino espacial y los pesos asignados a estos vecinos (Bivand et al. 2008). La vecindad de las unidades de área puede depender de la distancia y la contigüidad. La distancia puede determinarse a partir de los centroides de las unidades de área. Compartir un límite es el criterio para ser vecinos basado en la contigüidad. Los tipos

de vecinos pueden diversificarse en función de cómo se utilice la información sobre la distancia y la contigüidad. Además, las matrices difieren en cuanto a los pesos asignados a los vecinos definidos. El peso puede definirse en función de la distancia entre centros.

*¿Por qué se produce la dependencia espacial?*

Suelen aducirse dos razones. En primer lugar, la recolección de datos de observaciones asociadas a unidades espaciales puede reflejar un error de medición. Esto ocurre cuando los límites para los que se recoge la información no reflejan con exactitud la naturaleza del proceso subyacente que genera los datos de la muestra. Una segunda razón para la dependencia espacial es que la dimensión espacial de una característica social o económica puede ser un aspecto importante del fenómeno.

Los datos espaciales pueden mostrar dependencia espacial en las variables y en los términos de error, por lo tanto, hay dos tipos principales de dependencia espacial:

- a. Rezago espacial: la variable dependiente  $y$  en el lugar  $i$  se ve afectada por las variables independientes tanto en el lugar  $i$  como en el  $j$ .

Con el rezago espacial en la regresión MCO, se viola el supuesto de términos de error no correlacionados; además, también se viola el supuesto de observaciones independientes. Como resultado, las estimaciones son sesgadas e ineficientes. El desfase espacial sugiere un posible proceso de difusión: los sucesos ocurridos en un lugar predicen una mayor probabilidad de sucesos similares en lugares vecinos.

- b. Error espacial: los términos de error en las diferentes unidades espaciales están correlacionados

Con el error espacial en la regresión MCO, se viola el supuesto de términos de error no correlacionados. Como resultado, las estimaciones son ineficientes. El error espacial indica la existencia de covariables omitidas (correlacionadas espacialmente) que, si no se tienen en cuenta, afectarían a la inferencia.

#### **4.4.3 Índice Local de Asociación Espacial (LISA)**

El Índice Local de Asociación Espacial (LISA), permite la identificación de patrones locales de asociación espacial, descomponiendo el Índice Moran para evaluar la influencia de

ubicaciones individuales en la estadística global que amplía las capacidades de visualización de los valores analizados a través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Anselin, 1995).

Este índice se encarga de representar aquellas localizaciones con valores significativos en indicadores estadísticos de asociación espacial local, alertando así de la presencia de puntos calientes *hot spots* o atípicos espaciales, cuya intensidad depende de la significativa asociada de los datos estadísticos analizados. Este análisis se basa en la autocorrelación espacial local que representa las localizaciones con valores significativos en determinados indicadores estadísticos de asociación espacial local (Lizama, 2012).

Para analizar LISA se recurre al programa GeoDa que maneja amplios formatos de información geográfica disponible y permite trabajar con la cobertura geográfica de la generación de los residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca del año 2021.

El resultado tangible radica en la visualización del comportamiento mediante la generación de dos tipos de mapas. El primero se denomina mapa de significancia (valor  $p$ ), partiendo de un procedimiento de aleatorización se muestra para cada unidad espacial la probabilidad de que sus relaciones de contigüidad se produzcan de manera aleatoria (Figura 8). El segundo mapa se denomina de agrupamiento o clúster (Figura 9). En este se observa como cada unidad espacial se diferencia de sus unidades espaciales vecinas (Buzai y Baxendale, 2006).

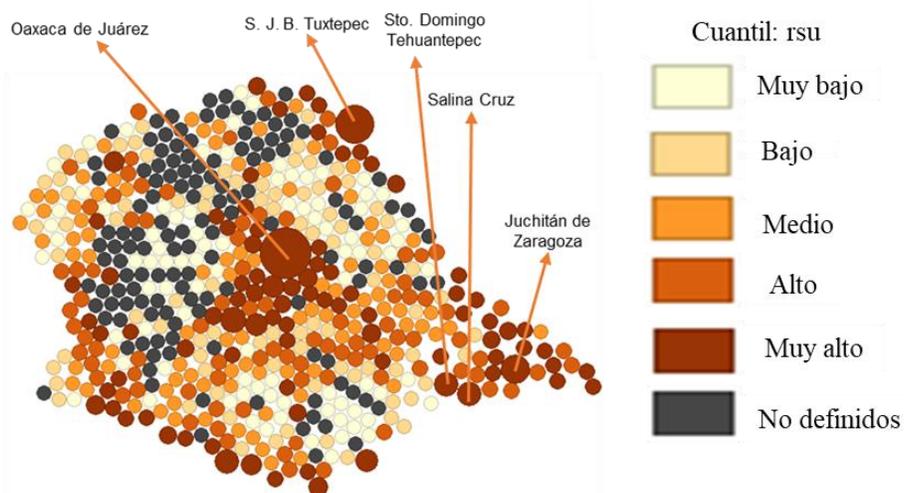
## Capítulo 5. Implementación de la Metodología y Resultados

### 5.1 Generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca

En la Figura 6 se muestra el cartograma<sup>15</sup> de la cantidad de residuos sólidos urbanos generada por municipio en Oaxaca para el año 2021. Se observa que los valores altos se agrupan en el centro del estado principalmente en la zona metropolitana de Oaxaca (ZMO), en el sureste del estado, precisamente en la zona metropolitana de Tehuantepec (ZMT) y en las periferias del estado. Además, el cartograma evidencia que el municipio de Oaxaca de Juárez puede considerarse como un caso atípico debido a sus valores muy altos con respecto a todos los demás municipios del estado, así mismo, los municipios San Juan Bautista Tuxtepec, Juchitán de Zaragoza, Santo Domingo Tehuantepec y Salina Cruz se destacan entre los que más basuras se generen. Asimismo, se puede apreciar que existe 133 municipios cuyos datos no fueron reportados por el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021 (CNGMD). La mayoría de estos municipios se encuentran al norte y oeste del estado de Oaxaca.

**Figura 6**

*Cartograma de la cantidad de residuos sólidos urbanos recolectada*



Fuente: Elaboración propia en GeoDa

<sup>15</sup> El objetivo principal del cartograma es ilustrar de forma impactante la distribución de la cantidad de residuos sólidos urbanos (variable dependiente) en el estado de Oaxaca teniendo en cuenta que la superficie de los municipios adquiere un tamaño proporcional al valor de la variable dependiente.

## 5.2 Descripción de las variables predictoras

Las variables explicativas (predictoras o independientes) están compuestas por variables sociodemográficas y económicas. Según la literatura, esas variables se destinan principalmente a ser investigadas como determinantes de la generación de residuos sólidos urbanos.

El nivel de educación, los ingresos, el tipo de empleo y el tamaño medio de los hogares o de las viviendas son las variables más utilizadas en los estudios sobre la generación de residuos sólidos urbanos. Teniendo en cuenta esto, las variables de este proyecto fueron seleccionadas entre las utilizadas en Keser et al. (2012). Como resultado, se recopilieron veinte variables explicativas, entre las que las variables sociodemográficas son mayoritarias, como se observa en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Variables independientes*

<b>ID</b>	<b>Fuente</b>	<b>Nombre de las Variables</b>	<b>Abreviaturas</b>	<b>Unidad</b>
<b>1</b>	IEEPCO <sup>16</sup>	Municipios según usos y costumbres	mun_uc	-
<b>2</b>	INEGI	Población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena	p3ym_hli	habitantes
<b>3</b>	INEGI	Porcentaje de población urbana	ppu	%
<b>4</b>	INEGI	Población	pobtot	habitantes
<b>5</b>	INEGI	Densidad	dens	<i>habitantes</i> <i>/km<sup>2</sup></i>
<b>6</b>	INEGI	Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas	prom_ocup	habitantes
<b>7</b>	CONEVAL	Porcentaje de vivienda con algún grado de hacinamiento	vhac	%
<b>8</b>	CONAPO	Índice de marginación	im	%
<b>9</b>	CONEVAL	Índice de rezago social	irs	%
<b>10</b>	CONEVAL	Coficiente de Gini	gini	%
<b>11</b>	CONEVAL	Porcentaje de población con GACP bajo o muy bajo	ppgacpbm	%

<sup>16</sup> Catálogo de Municipios Sujetos al Régimen de Sistemas Normativos Indígenas 2018 (ieepco.org.mx)

12	INEGI	Población de 15 años y más con primaria completa	p15pri_co	habitantes
13	INEGI	Población de 15 años y más con secundaria completa	p15sec_co	habitantes
14	INEGI	Población de 18 años y más con educación posbásica	p18ym_pb	habitantes
15	INEGI	Grado promedio de escolaridad	grapros	-
16	Sánchez Almanza (2015) <sup>17</sup>	PIB per cápita	pib_pc	miles de pesos
17	INEGI	Población económicamente activa ocupada	pocupada	habitantes
18	DENUE	Comercios al mayoreo	com_m	número
19	DENUE	Comercios al menudeo	com_d	número
20	DENUE	Instalaciones manufactureras	cim	número

Las variables explicativas sociodemográficas y económicas se recopilaron en su mayoría en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2020b) considerando particularmente el Censo de Población y Vivienda, el panorama sociodemográfico de Oaxaca, el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)<sup>18</sup>, el Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE)<sup>19</sup>, el Sistema de Consulta de Integración Territorial, Entorno Urbano y Localidad (SCITEL)<sup>20</sup> del año 2020. Otras de las variables consideradas encuentran su fuente en instituciones como el Consejo Nacional de Población (CONAPO), el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) y el Instituto Estatal Electoral y de Participación Ciudadana de Oaxaca (IEEPCO)<sup>21</sup>. Los datos se reunieron en una hoja de cálculo de MS Excel para prepararlos para los análisis de multicolinealidad y de regresión.

La variable municipios según usos y costumbres es una variable categórica que toma en cuenta los municipios que se rigen o no por usos y costumbres en el estado de Oaxaca. Se trata de una variable político-cultural que refleja la relación de la generación de residuos

<sup>17</sup> Sánchez Almanza A. (2015). Producto interno bruto de los municipios de México, 1970-2015. Estimaciones para el análisis territorial. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.

<sup>18</sup> <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>

<sup>19</sup> <https://gaia.inegi.org.mx/scince2020/>

<sup>20</sup> <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9>

<sup>21</sup> <https://www.ieepco.org.mx/>

sólidos urbanos con la diversidad cultural, ecológica, política y social de los municipios que se rigen por normas indígenas.

Asimismo, la incorporación de la población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena es una variable étnica adicional que se integra para considerar el aporte de los municipios indígenas en la cantidad de residuos sólidos urbanos generada. Esta variable étnica considera a las personas de 3 a 130 años de edad que hablan alguna lengua indígena (INEGI, 2020b).

El grado de urbanización es una de las variables demográficas que se suele utilizar y en el proyecto para medir su efecto se ha considerado el porcentaje de población urbana de cada uno de los municipios.

La población total representa el total de personas que residen habitualmente en el municipio. Incluye la estimación del número de personas en viviendas particulares sin información de ocupantes, así como a la población que no especificó su edad.

La densidad de población es una variable demográfica que es la población por kilómetro cuadrado.

El promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas resulta de dividir el número de personas que residen en viviendas particulares habitadas, entre el número de esas viviendas. Se trata de una variable sociodemográfica muy utilizada en los estudios de generación de residuos sólidos urbanos.

Otra variable similar al promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas, es el porcentaje de vivienda con algún grado de hacinamiento que considera el porcentaje de vivienda en donde hay 2.5 habitantes por dormitorio. Se trata de una variable que hace referencia a la aglomeración de personas en un espacio o superficie reducida o que no es suficiente para albergar a todos los individuos de manera segura y confortable. Por lo tanto, es una variable de síntoma de carencias y pobreza en las viviendas.

Sin embargo, para obtener un mayor peso de las carencias, se ha agregado dos variables adicionales. El índice de marginación que es una medida-resumen que permite diferenciar los estados y municipios del país según el impacto global de las carencias que padece la población como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en

viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas, así como el índice de rezago social que proporciona el resumen de cuatro carencias sociales de la medición de pobreza del CONEVAL: rezago educativo, acceso a los servicios de salud, acceso a los servicios básicos en la vivienda y la calidad y espacios en la vivienda.

También se incluye el coeficiente de Gini de lo cual mide la desigualdad económica de los municipios, mediante la exploración del nivel de concentración que existe en la distribución de los ingresos entre la población. El coeficiente de Gini toma valores entre 0 y 1; un valor que tiende a 1 refleja mayor desigualdad en la distribución del ingreso.

Como indicador relacionado con la infraestructura, se incluyó el porcentaje de población con grado de accesibilidad a carretera pavimentada bajo o muy bajo. Se trata de una variable que no solo expone la ausencia o mala condición de la infraestructura vial sino también el aislamiento geográfico que repercute en el bienestar de las personas, así como en el acceso a diversos servicios básicos que podrían recibir de parte de las autoridades municipales como es el caso de los vehículos de recolección de residuos sólidos urbanos.

Hay cuatro indicadores educativos. Se trata de la población de 15 años y más con primaria completa, la población de 15 años y más con secundaria completa, la población de 18 años y más con educación posbásica y el grado promedio de escolaridad. El fundamento del cálculo de las tres primeras variables es similar. La primera se refiere a las personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad 6 grados aprobados en primaria. La segunda se refiere a las personas de 15 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad 3 grados aprobados en secundaria. La tercera toma en cuenta las personas de 18 a 130 años de edad que tienen como máxima escolaridad algún grado aprobado en preparatoria o bachillerato; normal básica; estudios técnicos o comerciales con secundaria terminada; estudios técnicos o comerciales con preparatoria terminada; normal de licenciatura; licenciatura o profesional; especialidad; maestría o doctorado. También, incluye a las personas que no especificaron los grados aprobados en los niveles señalados. Finalmente, la cuarta y última variable resulta de dividir el monto de grados escolares aprobados por las personas de 15 a 130 años de edad entre las personas del mismo grupo de edad y excluye a las personas que no especificaron los grados aprobados (INEGI, 2020b).

El pib per cápita es una variable muy utilizada que refleja el desarrollo económico. Es importante en este trabajo por su relación directa con los gastos de consumo. Asimismo, se ha integrado la población de 12 años y más ocupada, un importante indicador socioeconómico que se utiliza para reflejar la situación económica de las personas. Se supone que una gran cantidad de población económicamente activa ocupada es fuente del poder adquisitivo y, por lo tanto, del consumo.

La cantidad de comercios al menudeo, la cantidad de comercios al mayoreo y la cantidad de instalaciones manufactureras son indicadores industriales que reflejan la actividad económica de cada uno de los municipios. Los comercios al mayoreo agrupan a siete subgrupos de comercio al por mayor, los cuales son los siguientes: comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco, comercio al por mayor de productos textiles y calzado, comercio al por mayor de productos farmacéuticos, de perfumería, artículos para el esparcimiento, electrodomésticos menores y aparatos de línea blanca, comercio al por mayor de materias primas agropecuarias y forestales, para la industria, y materiales de desecho, comercio al por mayor de maquinaria, equipo y mobiliario para actividades agropecuarias, industriales, de servicios y comerciales, y de otra maquinaria y equipo de uso general, comercio al por mayor de camiones y de partes y refacciones nuevas para automóviles, camionetas y camiones, Intermediación de comercio al por mayor (excepto a través de internet y de otros medios electrónicos)

Por su parte, los comercios al menudeo agrupan a nueve subgrupos de comercio al por menor, los cuales son los siguientes: comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco, comercio al por menor en tiendas de autoservicio y departamentales, comercio al por menor de productos textiles, bisutería, accesorios de vestir y calzado, comercio al por menor de artículos para el cuidado de la salud, comercio al por menor de artículos de papelería, para el esparcimiento y otros artículos de uso personal, comercio al por menor de enseres domésticos, computadoras, artículos para la decoración de interiores y artículos usados, comercio al por menor de artículos de ferretería, tlapalería y vidrios, comercio al por menor de vehículos de motor, refacciones, combustibles y lubricantes, comercio al por menor exclusivamente a través de internet y catálogos impresos, televisión y similares.

En cuanto a las instalaciones manufactureras, se encuentran a más de veinte sectores de actividad económica entre los cuales se destacan, industria alimentaria, industria de las bebidas y del tabaco, fabricación de insumo textiles y acabado de textiles. fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir, fabricación de prendas de vestir, industria química, etc.

En estas variables se tiene en cuenta el número de todos los establecimientos con todos los tamaños, es decir, de 0 a 5 empleados, de 6 a 10 empleados, de 251 y más.

### **5.3 Análisis de Multicolinealidad**

Los valores de corte para el factor de inflación de la varianza (VIF) y el coeficiente de Pearson ( $r$ ) se tomaron como 4 y 0.40, respectivamente, ya que son los umbrales más estrictos de la literatura. En primer lugar, se calcularon los valores del VIF para las 20 variables que figuran en la Tabla 6.

Los cálculos se realizaron de forma iterativa eliminando la variable con el VIF más alto hasta que se alcanzó el valor de corte de 4. En cada paso, se eliminó la variable con el VIF más alto y se volvió a calcular los VIF. El valor máximo del VIF descendió por debajo de 4 cuando se eliminaron seis variables explicativas. Las etapas de iteración del análisis del VIF se indican en la Tabla 7. Las variables restantes en la última iteración del análisis del VIF se comprobaron a continuación investigando la matriz de correlación que incluye los valores  $r$  que figuran en la Tabla 8.

Se realizaron nuevas eliminaciones, tomando 0.40 como valor umbral para el  $r$ . Para eliminar el menor número de variables y seguir sin superar un  $r$  de 0.40, se eliminaron en cinco iteraciones las variables `prom_ocup` y `vhac`, `com_m` y `cim`, `p3ym_hli` y `p15pri_co`, `dens` y `ppu`, `pib_pc` y `grapros`, respectivamente.

Estas variables eran las únicas que tenían un  $r$  con un valor encima de 0.40, lo que demuestra una asociación significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95%.

Por último, considerando el VIF de 4 y el  $r$  de 0.40, el análisis de multicolinealidad dio como resultado cuatro variables explicativas. Estas variables constituyeron el primer grupo de datos (G1) para el que se eliminaron los efectos graves de la multicolinealidad.

**Tabla 7**
*Iteraciones para obtener un VIF < 4 para las variables explicativas del G1*

<b>Iteración</b>	<b># de variables entrantes</b>	<b>VIF máximo</b>	<b>Variables eliminadas</b>	<b>VIF promedio</b>
<b>1</b>	14	148.21	pobtot	18.14
<b>2</b>	13	40.25	pocupada	8.76
<b>3</b>	12	20.17	P15sec_co	6.21
<b>4</b>	11	15.48	p18ym_pb	4.79
<b>5</b>	10	13.39	im	3.53
<b>6</b>	9	4.73	irs	2.34
<b>7</b>	8	<b>2.98</b>	-	1.98

Fuente: Elaboración propia en Stata

**Tabla 8**

*Matriz de correlaciones*

	<b>p15pri_co</b>	<b>cim</b>	<b>vhac</b>	<b>p3ym_hli</b>	<b>graproes</b>	<b>prom_ocup</b>	<b>ppu</b>	<b>dens</b>	<b>ppgacpbm</b>	<b>pib_pc</b>	<b>com_m</b>	<b>gini</b>	<b>mun_uc</b>	<b>com_d</b>
<b>p15pri_co</b>	1.000													
<b>cim</b>	0.497	1.000												
<b>vhac</b>	0.217	0.023	1.000											
<b>p3ym_hli</b>	0.551	0.593	0.264	1.000										
<b>graproes</b>	0.256	0.249	-0.505	-0.033	1.000									
<b>prom_ocup</b>	0.306	0.098	0.613	0.247	-0.193	1.000								
<b>ppu</b>	0.536	0.441	-0.081	0.215	0.417	0.103	1.000							
<b>dens</b>	0.439	0.353	-0.129	0.208	0.480	0.206	0.530	1.000						
<b>ppgacpbm</b>	0.087	-0.188	0.437	0.139	-0.370	0.327	-0.326	-0.288	1.000					
<b>pib_pc</b>	0.398	0.372	-0.257	0.141	0.506	-0.089	0.416	0.406	-0.361	1.000				
<b>com_m</b>	0.434	0.609	-0.071	0.375	0.276	0.002	0.285	0.299	-0.106	0.336	1.000			
<b>gini</b>	0.498	0.265	0.103	0.399	0.267	0.244	0.340	0.327	-0.034	0.347	0.241	1.000		
<b>mun_uc</b>	-0.415	-0.256	0.081	-0.216	-0.230	0.105	-0.328	-0.175	0.189	-0.267	-0.228	-0.319	1.000	
<b>com_d</b>	0.093	0.104	0.060	0.138	0.000	0.020	0.092	0.027	-0.042	0.027	0.024	-0.024	-0.036	1.000

Fuente: Elaboración propia en Stata

Otro grupo de datos (G2) se obtuvo flexibilizando el umbral para incluir en los modelos algunas variables explicativas importantes y generalmente utilizadas en los estudios de determinantes de generación de residuos sólidos urbanos. Por lo tanto, en esta parte se incorporó el juicio personal. Tomando un valor umbral de 10 para el VIF y 0.60 para el r, se logró obtener nueve variables explicativas, las cuales se enumeran en la Tabla 9. Se nota que ambos grupos se diferencian por las variables población de 15 años y más con primaria completa (p15pri\_co), población de tres años y más que habla alguna lengua indígena (p3ym\_hli), porcentaje de población urbana (ppu), densidad (dens), pib per cápita (pib\_pc).

**Tabla 9**

*Variables explicativas en los grupos de datos (G1 y G2)*

<b>Variables</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>
<b>p15pri_co</b>		x
<b>p3ym_hli</b>		x
<b>ppu</b>		x
<b>dens</b>		x
<b>ppgacpbm</b>	x	x
<b>pib_pc</b>		x
<b>gini</b>	x	x
<b>mun_uc</b>	x	x
<b>com_d</b>	x	x

Fuente: Elaboración propia en Stata

Finalmente, en la Tabla 10 se muestra la lista de las variables que no se han considerado en el análisis por presentar multicolinealidad.

**Tabla 10**

*Variables explicativas en las que tuvieron multicolinealidad*

<b>ID</b>	<b>Fuente</b>	<b>Nombre de las Variables</b>	<b>Abreviaturas</b>	<b>Unidad</b>
<b>1</b>	INEGI	Población	pobtot	habitantes
<b>2</b>	INEGI	Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas	prom_ocup	habitantes
<b>3</b>	CONEVAL	Porcentaje de vivienda con algún grado de hacinamiento	vhac	%
<b>4</b>	CONAPO	Índice de marginación	im	%
<b>5</b>	CONEVAL	Índice de rezago social	irs	%
<b>6</b>	INEGI	Población de 15 años y más con secundaria completa	p15sec_co	habitantes
<b>7</b>	INEGI	Población de 18 años y más con educación posbásica	p18ym_pb	habitantes
<b>8</b>	INEGI	Grado promedio de escolaridad	grapros	-
<b>9</b>	INEGI	Población económicamente activa ocupada	pocupada	habitantes
<b>10</b>	DENUE	Comercios al por mayor	com_m	número
<b>11</b>	DENUE	Industrias manufactureras	cim	número

#### **5. 4 Planteamiento del modelo no espacial**

Se presenta, a continuación, el modelo de regresión por MCO construido para investigar la incidencia de los determinantes sociodemográficos y económicos en la generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) de los municipios del estado de Oaxaca.

Como variable endógena del modelo de regresión se toma la cantidad de RSU recolectada en cada uno de los municipios del estado de Oaxaca<sup>22</sup>, medida en kilogramos por día (kg/día). Como variables exógenas del modelo se han elegido aquellas que han sido señaladas en estudios anteriores como determinantes de la generación de residuos sólidos urbanos y tras haber realizado el análisis de multicolinealidad en la sección anterior, se ha quedado con las siguientes variables exógenas: población de 15 años y más con primaria completa (p15pri\_co), población de tres años y más que habla alguna lengua indígena

<sup>22</sup> Se considera los 437 municipios que cuentan con el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021 (CNGMD).

(p3ym\_hli), porcentaje de población urbana (ppu), densidad (dens), porcentaje de población con grado de accesibilidad a carretera bajo o muy bajo (ppgacpbm), PIB per cápita (pib\_pc), coeficiente de Gini (gini), municipio según usos y costumbres (mun\_uc) y cantidad de comercios al menudeo (com\_d), formando respectivamente dos grupos de variables (G1 y G2).

#### 5.4.1 Modelo de regresión tradicional o mínimos cuadrados ordinarios (MCO)

En el contexto del análisis no espacial, la regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) se llevó a cabo con la ayuda del software RStudio. A continuación, se plantea la ecuación de la regresión de los dos grupos de variables (G1 y G2) y en la Tabla 11 se presentan los resultados obtenidos.

- a. Primer grupo de variables (G1)

$$\ln(RSU) = \alpha + \beta_1(ppgacpbm) + \beta_2(gini) + \beta_3(mun\_uc) + \beta_4(com\_d) + \varepsilon$$

- b. Segundo grupo de variables (G2)

$$\begin{aligned} \ln(RSU) = & \alpha + \beta_1 \ln(p15pri\_co) + \beta_2(p3ym\_hli) + \beta_3(ppu) + \beta_4 \ln(dens) \\ & + \beta_5(ppgapbm) + \beta_6 \ln(pib\_pc) + \beta_7(gini) + \beta_8(mun\_uc) \\ & + \beta_9(com\_d) + \varepsilon \end{aligned}$$

**Tabla 11**

*Resultados de la regresión por MCO de los dos grupos (G1 y G2)*

<b>Información general de la ejecución</b>		
	<b>G1</b>	<b>G2</b>
<b>Media</b>	6.5168	6.5168
<b>Desviación estándar</b>	1.7064	1.7064
<b>R<sup>2</sup> ajustada</b>	0.3512	0.7302
<b>AIC</b>	1524.14	1145.63
<b>BIC</b>	1544.54	1186.43
<b>Estimación de los coeficientes</b>		
<b>Variabes</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>
constante	0.6701	-1.08003
p15pri_co		0.9354 ***
p3ym_hli		-1.1704e-006
ppu		0.00399 *

dens		0.1111 **
ppgacpbm	-0.0076 **	-0.0082 ***
pib_pc		0.1117 ***
gini	20.4897 ***	2.4619
mun_uc	-1.1712 ***	-0.3672 ***
com_d	0.000102	-4.9744e-005

**Códigos de significancia estadística: \*\*\* <0.001; \*\* <0.01; \* <0.05; · <0.1**

Fuente: Elaboración propia en RStudio

En primer lugar, la tabla anterior muestra la información general de la ejecución, incluida la media y la desviación estándar de la variable dependiente, el coeficiente de determinación del modelo de regresión de cada uno de los grupos y los valores del criterio de Akaike, así como del criterio de Schwartz. A continuación, se muestran los coeficientes y la significación de las variables. Podemos ver que, entre los cuatro indicadores del primer grupo de variables (G1), el coeficiente de gini (gini) y los comercios al menudeo (com\_d) están relacionados positivamente con la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca; mientras que el porcentaje de población con grado de accesibilidad a carretera pavimentada bajo o muy bajo (ppgacpbm) y el municipio según usos y costumbres (mun\_uc) están relacionados negativamente con la generación de RSU de los municipios de Oaxaca; y la constante tiene efecto insignificante.

Por su parte, de los nueve indicadores del segundo grupo de variables (G2), la población de 15 años y más con primaria completa (p15pri\_co), el porcentaje de población urbana (ppu), la densidad (dens) y el pib per cápita (pib\_pc) están relacionados positivamente con la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca; mientras que el porcentaje de población con grado de accesibilidad a carretera pavimentada bajo o muy bajo (ppgacpbm) y el municipio según usos y costumbres (mun\_uc) están relacionados negativamente con la generación de RSU de los municipios de Oaxaca; la población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena (p3ym\_hli), el coeficiente de gini (gini), los comercios al menudeo (com\_d) y la constante tienen efectos insignificantes.

### 5.5 Pertinencia del análisis espacial

Para analizar la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca con factores sociodemográficos y económicos desde una perspectiva espacial, Lizama (2012) propone el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), aplicando las técnicas

geoestadísticas de autocorrelación espacial: 1) Índice Global de Moran y 2) Índice de Asociación Espacial Local (LISA) proveniente de la expresión anglosajona: *Local Indicator of Spatial Association* (Tabla 12).

**Tabla 12**

*Técnica de AEDE para determinar el tipo de asociación espacial a nivel global y local*

	Global	1) Índice de Moran	Reporte de autocorrelación espacial
Asociación espacial			Mapa de significancia
	Local	2) LISA	Mapa de clústers

Fuente: Lizama, 2012

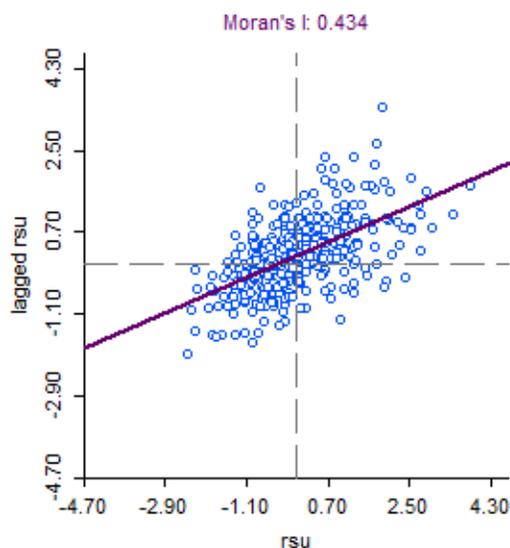
La Tabla 12 muestra las técnicas empleadas para determinar el tipo de asociación espacial. Para el nivel general o global, radica en el análisis del Índice de Moran que tiene por objetivo expresar el tipo de autocorrelación espacial mediante un reporte estadístico (Figura 7) y el segundo análisis a nivel local, se expresa en el resultado de dos mapas de significancia estadística y visualización de distribuciones geográficas (Figuras 8 y 9).

### 5.5.1 Índice Global de Moran

Para determinar el comportamiento de autocorrelación espacial de la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca y si éstos presentan datos agrupados, dispersos o aleatorios, se utiliza la herramienta del Índice de Moran a través de GeoDa. Como resultado, la Figura 7, muestra para el año 2021 un Índice de Moran de 0.434, lo que al 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula de que la variable dependiente se distribuye aleatoriamente. Por lo tanto, se puede confirmar la dependencia espacial de la cantidad de RSU generada en los municipios del estado de Oaxaca.

## Figura 7

### Índice de Moran



Fuente: Elaboración propia en GeoDa

### 5.5.2 Índice Local de Asociación Espacial (LISA)

El análisis se realizó con los residuos sólidos urbanos de los 437 municipios cuyos datos fueron reportados por el CNGMD 2021 como se aprecia en la Figura 8. Esta, muestra el nivel de significancia de cada conglomerado de los RSU de los municipios y presenta la localización espacial de los estadísticos locales que han resultado ser estadísticamente significativos, manifestados en distintas tonalidades, de forma que las áreas de verde más oscuras corresponden a los municipios en los que la significatividad del estadístico local ha sido más alta.

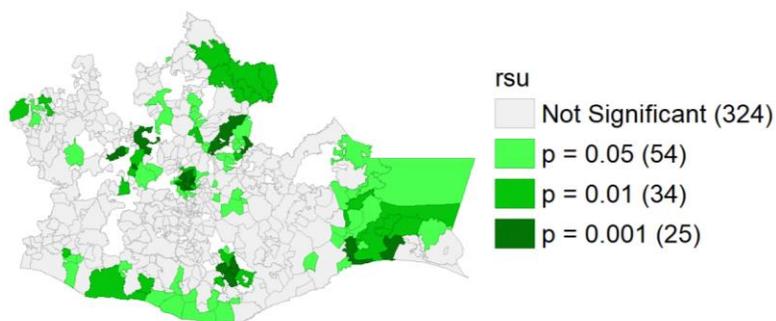
Las zonas con los valores más significativos se presentan en el centro y este del estado de Oaxaca. Existen 324 zonas sin conglomerados que denota falta de significancia, 54 municipios donde existen procesos espaciales aleatorios ubicados en la parte central, norte, sur y sureste del estado. Seguido con un nivel de significancia de 0.01 en 34 municipios y con un nivel de 0.001 de significancia se encuentran 25 municipios.

Para confirmar la presencia de asociación a nivel local, se muestra en la Figura 9 la formación de clústers y atípicos espaciales. Se observa la existencia de diversos clústers espaciales tanto de valores altos, bajos y otros que no presentan significancia:

- Sin significancia estadística: 324 municipios
- Clústers con valores altos de residuos sólidos urbanos (*hot spots*): 63 municipios
- Clúster con un valor bajo de residuos sólidos urbanos (*cold spots*): 34 municipios
- Clústers bajos rodeados de valores altos: 11 municipios
- Clústers altos rodeados de valores bajos: hay cinco municipios con esta característica de conglomerado, Asunción Nochixtlán, Ixtlán de Juárez, Mariscala de Juárez, San Juan Bautista Cuicatlán y Zapotitlán Lagunas.

### Figura 8

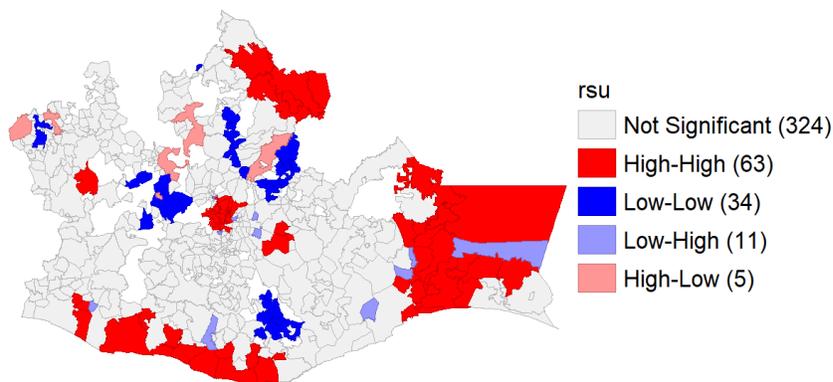
Mapa de significancia (LISA) de los residuos sólidos urbanos



Fuente: Elaboración propia en GeoDa

### Figura 9

Mapa Clúster (LISA) de la generación de residuos sólidos urbanos



Fuente: Elaboración propia en GeoDa

## 5.6 Pruebas de diagnóstico sobre la dependencia espacial del análisis

En cada uno de los dos grupos (G1 y G2), se realizan seis pruebas para evaluar la dependencia espacial del análisis. En primer lugar, la puntuación I de Moran de 0,4289 del primer grupo de variables (G1) es altamente significativa, lo que indica una fuerte autocorrelación espacial de los residuos. Un mismo caso observado en el segundo grupo de variables (G2) con una puntuación I de Moran de 0,1897. Además, en ambos grupos, la función informa de las estimaciones de las pruebas elegidas entre cinco estadísticas para comprobar la dependencia espacial en los modelos lineales: los multiplicadores de Lagrange con su robusto para la dependencia espacial de la variable endógena (LM-lag y RLM-lag) y de los errores (LM-err y RLM-err), además del multiplicador de Lagrange del modelo SARMA.

Mientras que el Robusto del Multiplicador de Lagrange del error prueba la dependencia del error en la posible presencia de una variable dependiente rezagada que falta, el Robusto del Multiplicador de Lagrange del rezago lo hace al revés. Por último, está el Multiplicador de Lagrange del modelo SARMA que resulta de la suma del Multiplicador de Lagrange (error) y del LM robusto (rezago)). La idea principal que subyace al modelo SARMA es identificar si existe alguna estructura de dependencia que aún no se explica por el modelo ajustado.

En cuanto a las pruebas basadas en el multiplicador de Lagrange, se puede observar que los tres tipos de modelos espaciales evaluados -rezago espacial, error espacial y SARMA- arrojan valores altamente significativos en ambos grupos, si bien el robusto del modelo de rezago espacial (RLM-lag) presenta un p-valor no significativo en el primer grupo de variables (G1) a diferencia del segundo grupo de variables (G2). Por lo tanto, a partir de estas pruebas no es posible discriminar cuál es el modelo espacial más apropiado, por lo que se procede a calcularlos todos. Las Tablas 13 y 14 presentan la prueba de diagnóstico sobre la dependencia espacial del análisis considerando el primer y segundo grupo de variables (G1 y G2), respectivamente.

**Tabla 13**

*Prueba de diagnóstico sobre la dependencia espacial del modelo (G1)*

Test	MI/DF	Valor	P-valor
I de Moran (error)	0.4408	13.8884	0.00000***
Multiplicador de Lagrange del rezago (LM-lag)	1	139.1834	0.00000***
Robusto del Multiplicador de Lagrange del rezago (RLM-lag)	1	1.7900	0.18093
Multiplicador de Lagrange del error (LM-err)	1	184.3864	0.00000***
Robusto del Multiplicador de Lagrange del error (RLM-err)	1	46.9930	0.00001***
Multiplicador de Lagrange del modelo SARMA	2	186.1764	0.00000***

Fuente: Elaboración propia en GeoDa

**Tabla 14**

*Prueba de diagnóstico sobre la dependencia espacial del modelo (G2)*

Test	MI/DF	Valor	P-valor
I de Moran (error)	0.1861	6.0831	0.00000***
Multiplicador de Lagrange del rezago (LM-lag)	1	51.4940	0.00000***
Robusto del Multiplicador de Lagrange del rezago (RLM-lag)	1	22.3726	0.00000***
Multiplicador de Lagrange del error (LM-err)	1	32.8551	0.00000***
Robusto del Multiplicador de Lagrange del error (RLM-err)	1	3.7337	0.05332
Multiplicador de Lagrange del modelo SARMA	2	55.2277	0.00000***

Fuente: Elaboración propia en GeoDa

### 5.7 Planteamiento de los modelos espaciales

A partir de esta evidencia, en ambos grupos de variables (G1 y G2), se calculan cuatro modelos espaciales de regresión y se comparan sus resultados entre sí. Para el cálculo de la matriz de pesos espaciales  $W$  se ha empleado el criterio de contigüidad física tipo reina de orden 1; es decir, se consideran vecinos los municipios que comparten algún lado o vértice. El rango de contigüidad varía entre un solo vecino y 20 vecinos. El promedio y la mediana en el número de unidades espaciales contiguas es de 5.01 y 5, respectivamente.

### 5.7.1 Modelo de regresión con rezago espacial o Spatial Lag Model (SLM)

$$y = \rho W y_i + \beta X_i + \varepsilon_i$$

Este modelo considera autocorrelación espacial en la variable endógena  $y$ , siendo  $\rho$  el coeficiente que recoge el efecto espacial de la variable endógena.

### 5.7.2 Modelo de regresión del error espacial o Spatial Error Model (SEM)

$$y = \beta X_i + \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_i = \lambda W \varepsilon_i + u_i$$

En este caso se considera únicamente el efecto espacial existente en los errores del modelo  $\varepsilon_i$ , siendo el coeficiente  $\lambda$  el que recoge tal efecto.

### 5.7.3 Modelo SARMA o SARAR

$$y = \rho W y_i + \beta X_i + \varepsilon_i$$

$$\varepsilon_i = \lambda W \varepsilon_i + u_i$$

El modelo SARMA considera simultáneamente el efecto de autocorrelación espacial en la variable endógena  $y$  (reflejados a través del coeficiente  $\rho$ ) y los efectos espaciales contenidos en los errores (recogidos mediante el coeficiente  $\lambda$ ).

### 5.7.4 Modelo Durbin espacial o Spatial Durbin Model (SDM)

$$y = \rho W y_i + \beta X_i + W X_i \theta + \varepsilon_i$$

Este modelo tiene en cuenta, por un lado, la dependencia espacial de la variable endógena  $y$  (coeficiente  $\rho$ ) y los efectos de autocorrelación espacial de las variables exógenas, con un coeficiente  $\theta$  para recoger el efecto espacial de cada una de estas variables.

## 5.8 Resultados de los modelos espaciales

En las Tablas 15 y 16, se presentan los resultados de los cuatro modelos espaciales, así como de la regresión por MCO para fines de comparación de los dos grupos de variables G1 y G2, respectivamente.

**Tabla 15**

*Resultados de los modelos espaciales (G1)*

VARIABLES	MCO	SLM	SEM	SARMA	SDM
w_rsu		0.4911 ***			
constante	0.6701	-2.154 **	0.4703	1.7880e+00	-2.4303e-01
ppgacpbm	-0.0076 **	-0.003	-	-1.1593e-03	-5.8700e-04
gini	20.4897 ***	18.0858***	20.0118 ***	1.9063e+01***	2.0313e+01***
mun_uc	-1.1712 ***	-0.9322 ***	-1.0735 ***	-1.0167+00***	-
com_d	0.000102	0.000134	6.968e-005	6.0598e-05	8.8741e-05
lag. ppgacpbm	$\theta$				-6.5676e-03
lag. gini	$\theta$				-1.047e+01***
lag.mun_uc	$\theta$				6.296e-01**
lag.com_d	$\theta$				-9.9180e-06
	$\rho$	0.4911 ***		-0.16439	0.59285 ***
	$\lambda$		0.6090 ***	0.70826 ***	
<b>R<sup>2</sup> AJUSTADA</b>	35.12%	53.52%	57.72%		
<b>AIC</b>	1524.14	1408.78	1381.09	1385.5	1387.5
<b>BIC</b>	1544.54	1433.26	1401.49	1526.1	1523.4

**Códigos de significancia estadística: \*\*\* <0.001; \*\* <0.01; \* <0.05; · <0.1**

Fuente: Elaboración propia en GeoDa y RStudio

**Tabla 16**

*Resultados de los modelos espaciales (G2)*

VARIABLES	MCO	SLM	SEM	SARMA	DURBIN
w_rsu		0.250 ***			
constante	-1.08003	-2.433 ***	-0.9065	-2.287e+00***	-2.3000e+00*
p15pri_co	0.9354 ***	0.836 ***	0.8540 ***	8.4149e-01***	8.1643e-01***
p3ym_hli	-1.1704e-006	-1.223e-006	-4.621e-007	-2.3439e-07	6.9134e-07
ppu	0.00399 *	0.0029	0.0025	2.8291e-03	2.0365e-03
dens	0.1111 **	0.0501	0.1485 **	6.5248e-02	1.5659e-01*
ppgacpbm	-0.0082 ***	-0.0062 **	-0.0071 ***	-6.3863e-03**	-4.9062e-03*
pib_pc	0.1117 ***	0.1211 ***	0.0861 ***	1.1479e-01***	9.7986e-02***

gini		2.4619	3.5850 *	3.7183 *	3.7055e+00 *	5.1617e+00**
mun_uc		-0.3672 ***	-0.3322 ***	-0.3646 ***	-3.4372e-01***	-3.7928e-01 ***
com_d		-4.9744e-005	-1.8063e-005	-5.479e-006	-1.2043e-05	-3.2219e-05
lag. p15pri_co	$\theta$					5.4986e-02
lag. p3ym_hli	$\theta$					-1.0185e-05
lag. ppu	$\theta$					2.5637e-03
lag. dens	$\theta$					-2.0006e-01 *
lag. ppgacpbm	$\theta$					-7.2798e-04
lag. pib_pc	$\theta$					9.5982e-02 *
lag. gini	$\theta$					-3.9377e+00
lag. mun_uc	$\theta$					1.8595e-01
lag. com_d	$\theta$					-1.5299e-04 *
	$\rho$		0.250 ***		0.2192***	0.26804 ***
	$\lambda$			0.3713 ***	0.084004	
<b>R<sup>2</sup> AJUSTADA</b>		73.02%	76.56%	76.22%		
<b>AIC</b>		1145.63	1101.1	1112.83	1104.4	1101.9
<b>BIC</b>		1186.43	1145.98	1153.63	1147.6	1118.9

**Códigos de significancia estadística: \*\*\* <0.001; \*\* <0.01; \* <0.05; · <0.1**

Fuente: Elaboración propia en GeoDa y RStudio

Una vez calculados todos los modelos espaciales de los dos grupos de variables (G1 y G2), se realizan comprobaciones para decidir cuál es el más apropiado para representar el fenómeno de estudio. Se constata, en primer lugar, que es preciso descartar el modelo SARMA o SARAR del primer grupo de variables (G1), ya que el coeficiente  $\rho$  arroja un p-valor insignificante si bien el coeficiente  $\lambda$  es significativo, lo cual invalida el modelo para la explicación de este fenómeno, que muestra autocorrelación espacial positiva. Para este grupo de variables (G1), la presentación e interpretación de los resultados se centrará, así, en estos tres modelos espaciales restantes: el modelo de rezago espacial (SLM), el modelo de error espacial (SEM) y el modelo Durbin espacial (SDM).

Sabiendo que en el modelo de rezago espacial (SLM),  $\rho$  es el coeficiente que recoge el efecto espacial de la variable endógena y en el modelo de error espacial (SEM),  $\lambda$  es el coeficiente que recoge el efecto espacial de los errores, se observa que el modelo SEM presenta un parámetro mucho mayor, asimismo considerando la  $R^2$  ajustada de ambos modelos, la del modelo SEM tiene un mayor poder explicativo a favor (57.72%) y un menor valor del criterio de Akaike (1381.09), por lo tanto, se descarta el modelo de rezago espacial

(SLM). Así que, queda contrastar el modelo SEM y el modelo Durbin espacial (SDM). De estos dos modelos, cabe recordar que el modelo SDM, tiene en cuenta, por un lado, la dependencia espacial de la variable endógena  $\rho$  y los efectos de autocorrelación espacial de las variables exógenas, con un coeficiente  $\theta$  para recoger el efecto espacial de cada una de estas variables, se observa que este último coeficiente resulta significativo nada más para dos variables exógenas y que su parámetro  $\theta$ , si bien es altamente significativo, sin embargo, es aún menor que el parámetro  $\lambda$  del modelo SEM. Por lo tanto, considerando el primer grupo de variables (G1), el modelo más apropiado a implementar es el modelo de error espacial (SEM).

Considerando el segundo grupo de variables (G2), también se descarta el modelo SARMA dado que el parámetro  $\lambda$  tiene un p-valor no significativo. Entonces, conviene contrastar los tres modelos restantes: rezago espacial (SLM), error espacial (SEM) y Durbin espacial (SDM).

Analizando el modelo de rezago espacial de este segundo grupo de variables (G2), se observa que dicho modelo comparado con el modelo de error espacial (SEM), presenta un coeficiente  $\rho$  mucho menor, por lo que conviene descartar este modelo. Entonces, queda contrastar de nuevo el modelo de error espacial (SEM) y el modelo Durbin espacial (SDM). De estos dos modelos, se observa que en el caso del modelo SDM, el coeficiente  $\theta$  resulta significativo para dos variables exógenas y que el coeficiente  $\rho$  comparado con el efecto del coeficiente  $\lambda$  del modelo SEM es aún menor por lo tanto se descarta este modelo SDM y se queda con el modelo de error espacial (SEM).

Del mismo modo, se observa que el control de la dependencia espacial mejora el rendimiento del modelo básico sin efectos espaciales. Por ejemplo, el modelo básico alcanza a explicar un 35.54% de la heterogeneidad de la generación de los RSU, frente al 57.61% del modelo de error espacial (SEM) considerando las variables del primer grupo (G1) y de 72.98% del modelo tradicional frente al 76.24% del modelo SEM, considerando las variables del segundo grupo (G2).

Por lo que, de los dos grupos de variables, nos quedamos con el segundo grupo (G2) por tener una mayor cantidad de variables explicativas a favor y estimamos un modelo de

error espacial (SEM) dado que es el modelo de regresión espacial que mejor tome en cuenta la dependencia espacial de los datos con un poder explicativo de 76.24%.

Asimismo, vale la pena mencionar que, llama la atención el valor de  $\lambda$  de 0.37 de este grupo de variables (G2) y significativo al 99% de confianza, por lo que puede afirmarse que el efecto de autocorrelación espacial que queda recogido a través de los errores es grande. Conviene recalcar que este valor de  $\lambda$  es muy superior al de los coeficientes  $\beta_i$  de cualquiera de las variables exógenas incluidas en este modelo SEM, salvo la población de 15 años y más con primaria completa (0.85) y el coeficiente de gini (3.68). Es decir, existen efectos espaciales que no guardan relación ni con la variable endógena ni con las variables exógenas consideradas, sino que proceden de factores no recogidos en el modelo y que, por tanto, se muestran en las perturbaciones.

## Capítulo 6. Discusiones de los Resultados

Aquí la idea principal es indicar cuales fueron los determinantes significativos de la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca y cuales no, y si los resultados obtenidos son similares o contrastantes con lo que ya se había observado en otros estudios científicos (Tabla 17).

**Tabla 17**

*Lista de las variables significativas con efecto positivo/negativo y no significativas*

<b>Variables significativas con efecto positivo</b>	<b>Variables significativas con efecto negativo</b>	<b>Variables no significativas</b>
p15pri_co	ppgacpbm	p3ym_hli
dens	mun_uc	ppu
pib	gini	com_d

Una de las primeras variables muy importante que se tiene que considerar es la población de 15 años y más con primaria completa (p15pri\_co). Tal como lo señalan van Houtven y Morris (1999), Kinnaman y Fullerton (1997), se supone que a medida que aumenta la educación, la generación de residuos sólidos urbanos disminuye ya que los ciudadanos más educados preferirían un medio ambiente más limpio y reciclar una parte de los residuos. Por lo que, se ha visto que, en el caso de los municipios de Oaxaca, dentro de las cuatro variables educativas que se han tomado en cuenta, la población de 15 años y más con primaria completa-variable que resalta el menor nivel educativo de los municipios- resulta ser la única variable significativa y que afecta de manera positiva la generación de RSU de los municipios. Se trata de un resultado que va de acorde con lo estipulado por los autores citados en este párrafo, en el sentido de que se espera una mayor producción de desechos a menor nivel de escolaridad.

La densidad poblacional y el pib per cápita también son determinantes a considerar. La significancia de la densidad poblacional (dens) se explica por una concentración de la población en los municipios más desarrollados, donde las actividades de generación de residuos son mayores. Se supone que una mayor concentración de la población conduce a una mayor concentración del consumo y por tanto a una mayor generación de residuos

sólidos urbanos, lo que se ve reflejado en el mapa bivariado de la densidad con la generación de los RSU del anexo C.2.

Con respecto al pib per cápita (*pib\_pc*), lo cual es un importante determinante para evaluar el bienestar económico de las personas. El signo positivo del coeficiente de esta variable señala su efecto positivo a la generación de los residuos sólidos urbanos. Es decir, si la población tiene más dinero, su consumo será mayor y producirá más desechos. Un resultado muy similar al estudio de Beede y Bloom (1995), donde los autores han llegado a la conclusión general de que la producción de residuos sólidos urbanos esté relacionada con el ingreso y, en menor medida, con la población.

Por otro lado, los resultados han dado cuenta que también existen otros factores significativos pero que guardan una relación negativa con la generación de los residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca tales como el porcentaje de población con grado de accesibilidad a carretera pavimentada bajo o muy bajo (*ppgacpbm*) y el municipio según usos y costumbres (*mun\_uc*). En cuanto a la variable *ppgacpbm*, se trata de una variable que no solo expone la ausencia o mala condición de la infraestructura vial de las localidades de los municipios de Oaxaca, el aislamiento geográfico que repercute en el bienestar de las personas, así como en el acceso a diversos servicios básicos que podrían recibir de parte de las autoridades municipales como es el caso de los vehículos de recolección de residuos sólidos urbanos, sino también resalta el aspecto técnico de una gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU).

Sabiendo que más del 50% de las localidades del estado de Oaxaca se encuentra en una condición de difícil acceso y aislamiento, la relación negativa de esta variable *ppgacpbm* con la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca es un resultado esperado. Tal como lo señala Ogwueleka (2009), la infraestructura vial de una ciudad, la estrechez de las carreteras y las duras condiciones del camino hacia el lugar de eliminación pueden contribuir a la ineficacia de la recolección de residuos sólidos.

Por su parte, se observa que los municipios que se rigen por usos y costumbres tienden a recolectar menos residuos sólidos urbanos. Esto se podría explicar por la capacidad institucional de los gobiernos municipales con este régimen político, sin embargo, tampoco es una explicación suficiente, a lo mejor puede haber municipios bajo este régimen político

que hace una mejor gestión de sus residuos, por lo tanto, para medir el efecto de esta variable se requiere de una mayor investigación.

Las variables no significativas con la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca son la población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena, donde la revisión de literatura no destaca un estudio que resalta el efecto de esta variable; el porcentaje de población urbana-resultado muy similar al estudio de Rhyner (1976) y muy contrastante a los estudios de Cailas et al (1993) y Henricks (1994)-quienes mostraron una correlación positiva entre el grado de urbanización y la generación de residuos sólidos urbanos. Finalmente, los comercios al menudeo que son fuentes de grandes cantidades de residuos sólidos, sin embargo, cabe señalar que estos establecimientos pueden contribuir a la gestión de los residuos, de modo que la generación de residuos disminuye en comparación con la situación en la que estos comercios se dispersan de forma independiente en los municipios. Como resultado, esta variable puede tener efectos contradictorios en la generación de residuos sólidos urbanos y estos efectos en diferentes direcciones pueden oscurecerse mutuamente como en el caso de la densidad de población. De todo modo, la literatura revela que el signo positivo de esta variable indicaría que a mayor cantidad de comercios al por menor, se esperaría a una mayor generación de residuos sólidos urbanos.

En suma, la determinación de los factores significativos ayuda a comprender el proceso de generación de residuos sólidos urbanos. En consecuencia, los métodos que detectan los factores significativos pueden utilizarse como herramientas en los intentos de reducir la generación de residuos sólidos urbanos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

En este trabajo de investigación, se identificaron los determinantes de la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca.

En primer lugar, se realizó un análisis de multicolinealidad para garantizar que las variables sean independientes entre sí. A partir de este análisis se logró obtener dos grupos de variables G1 y G2. En segundo lugar, se aplicó una regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) a cada uno de estos grupos de variables para obtener los coeficientes globales sin tener en cuenta la dependencia espacial de los datos. Los resultados de la regresión clásica muestran que, de los dos grupos de variables G1 y G2, el segundo grupo sale más significativo con un poder explicativo de 72.98%. Del mismo modo, los determinantes significativos de la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca sin tomar en cuenta el efecto espacial de los datos fueron prácticamente la población de 15 años y más con primaria completa, la densidad poblacional y el pib per cápita, todos con un efecto positivo mientras que las variables que tienen un efecto negativo a la generación de RSU fueron los municipios según usos y costumbres y el porcentaje de población con grado de accesibilidad a carretera pavimentada bajo o muy bajo. Asimismo, queda señalar el resultado inesperado de la variable coeficiente de gini, si bien fue significativo, sin embargo, se esperaba que tenga una relación negativa para explicar la generación de los RSU. Finalmente, se ha visto que la población de 3 años y más que habla alguna lengua indígena y los comercios al por menor no tienen un efecto significativo para explicar el fenómeno.

Luego, se realizó el análisis espacial inspeccionando primero la dependencia espacial de los datos. En base a este análisis se ha obtenido un índice de Moran de 0.434, lo que confirma la pertinencia espacial del estudio. Asimismo, cabe reiterar que de los cuatro modelos espaciales que se ha calculado, el modelo de error espacial (SEM) fue el más apropiado para explicar la generación de RSU de los municipios de Oaxaca.

En síntesis, los resultados de MCO y SEM fueron similares entre sí en cuanto a las estimaciones de los coeficientes, el cambio más notable que se ha visto es que el control de

la dependencia espacial mejora el rendimiento del modelo básico sin efectos espaciales en un 76.24%.

De la misma manera, considerando ambos modelos (MCO y SEM) las variables que sí son determinantes para la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca fueron la población de 15 años y más con primaria completa, la densidad poblacional, el pib per cápita, el porcentaje de población con grado de accesibilidad a carretera pavimentada bajo o muy bajo y los municipios según usos y costumbres.

Finalmente, se puede concluir que los determinantes significativos de la generación de residuos sólidos urbanos en otros municipios del país pueden no ser válidos para los municipios de Oaxaca, debido a la variación y heterogeneidad espacial de las características de los residuos sólidos urbanos de cada región (Djemaci, 2016; Keser et al., 2012). De ahí una de las importancias de este trabajo de investigación. Además, en este trabajo se ha tenido en cuenta por primera vez en Oaxaca, la dependencia espacial en un estudio relacionado con la generación de residuos sólidos urbanos mediante la aplicación de un modelo de error espacial (SEM) y una regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO).

### **Recomendaciones de políticas públicas**

La gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) es todo un universo de medidas para solucionar un problema tan grande como es el de la basura y específicamente en los municipios del estado de Oaxaca. Cabe destacar que las políticas públicas son la columna vertebral de esa gestión dado que involucran decisiones y acciones de los gobiernos a manera de toma de posición frente a la problemática en cuestión, involucrando a todos los sectores de la sociedad, ya sean entes públicos o privados.

Desde una perspectiva demográfica, existe un desafío enorme a la hora de analizar el problema. Si bien la reducción de la generación de residuos sólidos urbanos está en primera línea en la gestión que hacen los gobiernos municipales de Oaxaca, pero se ha visto que básicamente consiste en prácticas de recogida y eliminación, lo que representa en sí, una falla de los programas de prevención y de gestión vigente en esta entidad federativa para lograr una eficiencia en la gestión de los desechos.

Hoy en día, existen estudios que se están haciendo para demostrar como una gestión efectiva y eficiente de los residuos sólidos urbanos no se pueden lograr sin contemplar previamente la incidencia de determinantes sociodemográficos y económicos (patrón de consumo, densidad poblacional, grado educativo, ingreso per cápita, etc.) (Djemaci, 2014; Keser et al., 2012; Lebersorger y Beigl, 2011). Por lo tanto, a la hora de planear y diseñar una política pública entorno al problema de la basura, se da la necesidad de que las autoridades municipales del estado de Oaxaca consideren el impacto de aquellos factores.

Con base a los resultados de esta investigación, la variable población de 15 años y más con primaria completa ha sido un determinante relevante en explicar la generación de residuos sólidos urbanos de los municipios de Oaxaca, por lo tanto, se puede recomendar una política de educación ambiental cuyo aspecto relativo a la sensibilización acerca de los problemas ambientales, manejo de residuos y participación social dirigido a los estudiantes sea fundamental, ya que son ellos una población altamente potenciadora de los cambios estructurales que mejorarán el panorama general del problema de los residuos sólidos urbanos. Asimismo, se requiere una atención a las escuelas en donde al interior de estos espacios resulta muy factible poner en marcha actividades relacionadas a la educación ambiental y el manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos pues los alumnos se involucran en las estrategias, las adoptan como hábitos que llevan a cabo en la propia escuela y en otros contextos, como lo son el hogar y los espacios urbanos.

Asimismo, la gran importancia y el impacto positivo del pib per cápita revelan que la gente tiende a generar más residuos a medida que aumenta su poder adquisitivo, por lo tanto, las campañas dirigidas a los consumidores de alto nivel cobran importancia con el fin de aumentar la responsabilidad medioambiental entre estos consumidores.

Finalmente, la implementación de una comunicación educativa para lograr que la población se involucre activamente en las acciones de reducción, separación, reciclaje, reúso y manejo responsable, por lo que es imperioso efectuar estrategias tendientes a la comunicación, con miras educacionales acerca del tema.

### **Recomendaciones para futuros trabajos**

Aquí la idea central es precisar qué estudios futuros hacen falta para el caso del estado de Oaxaca. Como se ha visto en la discusión de los resultados, tanto la regresión por MCO como

el modelo SEM, son modelos a efectos globales, por lo que se recomienda para futuros trabajos implementar un modelo a efecto local que permitirá examinar la autocorrelación espacial local misma que puede estimular el análisis de valores atípicos. Para ello, se podría aplicar un método a efecto local como es el caso de la regresión ponderada geográficamente (GWR). En base este modelo de regresión local, algunas de las variables, que no son significativas en los modelos globales (MCO y SEM), pueden tener una alta significación en municipios específicos.

Por lo tanto, al aplicar un método de estimación local como la regresión ponderada geográficamente (GWR), los coeficientes locales pueden contradecirse con los coeficientes globales en términos de nivel de significancia, es decir dependiendo de la región del estado, las variables significativas y no significativas pueden cambiar. De esta manera, el método local de la regresión ponderada geográficamente (GWR) permitirá designar las regiones o en este caso los municipios en los que cada factor o determinante es significativo. Es decir, en vez de obtener un solo  $\beta$  que resume el impacto de una variable dependiente para todas las observaciones, se obtendrá diferentes  $\beta$  de una misma variable dependiente para cada una de las observaciones. En otras palabras, dado que la GWR indica las regiones en las que cada variable es insignificante, a la hora de aplicar una política de gestión de residuos sólidos urbanos, se pueden evitar los esfuerzos innecesarios causados por tomar en consideración un factor insignificante en estas regiones.

Adicionalmente, al aplicar una regresión ponderada geográficamente, permitiría evaluar, por ejemplo, la generación de los municipios turísticos, así como tomar precauciones contra la generación de residuos de los municipios dedicados a la producción agrícola sobre todo en el Norte del estado de Oaxaca.

Reconociendo que lo seleccionado no es en absoluto una lista exclusiva de variables exploratorias, así que, otra de las recomendaciones para futuros trabajos es que, las variables utilizadas en este trabajo de investigación pueden modificarse o sustituirse por indicadores alternativos que simbolizen el mismo fenómeno. Por ejemplo, el “pib per cápita” o la “población económicamente activa ocupada” puede sustituirse por otros indicadores que miden el poder adquisitivo. Al respecto, Keser et al. (2012) utilizaron la cantidad de vehículos que poseen las personas.

Finalmente, para realizar un estudio detallado se pueden obtener datos sobre la composición de los residuos sólidos urbanos dividiéndolos en residuos orgánicos e inorgánicos. Asimismo, para un futuro trabajo se desearía investigar, ¿Qué otros estudios se podrían hacer en otros contextos geográficos?

## Referencias bibliográficas

- Abu Qdais, H. A., Hamoda, M. F., & Newham, J. (1997). *Analysis of residential solid waste at generation sites*. <https://sci-hub.hkvisa.net/10.1177/0734242X9701500407>
- Afon, A. (2007). An analysis of solid waste generation in a traditional African city: The example of Ogbomoso, Nigeria. *Environment and Urbanization*, 19(2), 527–537. <https://doi.org/10.1177/0956247807082834>
- Aguilar Fernández, M., Álvarez Sánchez, T., & Antonio Álvarez Cedillo, J. (2020). *Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Oaxaca, México, desde el Enfoque Sistemático*. 85–108.
- Ali Khan, M. Z., & Burney, F. A. (1989). *Forecasting Solid Waste Composition-An Important Consideration in Resource Recovery and Recycling* (Vol. 3).
- Andersen, F. M., Fenhann, J., Larsen, H., & Schleisner, L. (1998). *A Scenario Model for the Generation of Waste*.
- Anselin, L. (1995). *Local Indicators of Spatial Association-LISA*.
- Bach, H., Mild, A., Natter, M., & Weber, A. (2004). Combining socio-demographic and logistic factors to explain the generation and collection of waste paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 41(1), 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2003.08.004>
- Bailey, T. C., & Gatrell, A. C. (1995). *Interactive Spatial Data Analysis*. Essex: Longman Scientific & Technical.
- Banar, M., & Özkan, A. (2008). Characterization of the municipal solid waste in Eskisehir City, Turkey. *Environmental Engineering Science*, 25(8), 1213–1219. <https://doi.org/10.1089/ees.2007.0164>
- Beede, D. N., & Bloom, D. E. (1995). *The economics of municipal solid waste*.
- Beigl, P., Lebersorger, S., & Salhofer, S. (2008). Modelling municipal solid waste generation: A review. *Waste Management*, 28(1), 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.011>
- Beigl, P., Wassermann, G., Schneider, F., & Salhofer, S. (2004). *Forecasting Municipal Solid Waste Generation in Major European Cities*. <http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/regional/beigfore.pdf>
- Belsley, D. A., Kuh, E., & Welsch, R. E. (1980). *Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity*. Wiley.
- Berry, WD. and Feldman, S. (1985) *Multiple Regression in Practice* (Quantitative Applications in the Social Sciences). SAGE Publications, Thousand Oaks, CA.

- Bivand, R. S., Pebesma, E. J., & Gómez-Rubio, V. (2008). *Applied Spatial Data Analysis with R*. New York; London: Springer.
- Buenrostro, O., Bocco, G., & Vence, J. (2001). Forecasting generation of urban solid waste in developing countries - A case study in Mexico. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 51(1), 86–93. <https://doi.org/10.1080/10473289.2001.10464258>
- Buzai, G. D., & Baxendale, C. A. (2006). *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica, Buenos Aires, Argentina*.
- Cailas, M. D., Kerzee, R. G., Swager, R. and Anderson, R. 1993. Development and Application of a Comprehensive Approach for Estimating Solid Waste Generation in Illinois: First Phase Results. Urbana, ILL: The Center for Solid Waste management and Research University of Illinois Urbana-Champaign.
- Cho, S. H., Kim, S. G., Roberts, R. K., & Jung, S. (2009). Amenity values of spatial configurations of forest landscapes over space and time in the Southern Appalachian Highlands. *Ecological Economics*, 68(10), 2646–2657. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.04.017>
- Christiansen, K. M., Fischer, C., Azkona, A., & Ribeiro, M. T. (1999). *Baseline projections of selected waste streams Development of a methodology*. <http://europa.eu.int>
- Coopers y Lybrand. (1996). *Cost-benefit analysis of the different municipal solid waste management systems: objectives and instruments for the year 2000: final report*. Office for Official Publications of the European Communities. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1e95075a-b338-49a5-9517-43559aa3583f>
- Daskalopoulos, E., Badr, O., & Probert, S. D. (1998). Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and the United States of America. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 24).
- Dayal, G., Yadav, A., Singh, R. P., & Upadhyay, R. (1993). *Impact of climatic conditions and socio-economic status on solid waste characteristics: a case study*.
- Dennison, G. J., Dodd, V. A., & Whelanb, B. (1996). *A socio-economic based survey of household waste characteristics in the city of Dublin, Ireland - II. Waste Quantities* (Vol. 17).
- Dennison, G. J., Dodda, V. A., & Whelanb, B. (1996). *A socio-economic based survey of household waste characteristics in the city of Dublin, Ireland*. (Vol. 17).

- Djemaci, B. (2014). Impact des facteurs d'attractivité des territoires sur la production future des déchets urbains en Algérie. *Mondes En Développement*, 42(2), 113–130. <https://doi.org/10.3917/med.166.0113>
- Emery, A. D., Griffiths, A. J., & Williams, K. P. (2003). *An in-depth study of the effects of socio-economic conditions on household waste recycling practices*. 180–190.
- ESRI. (1998). *ESRI Shapefile Technical Description*. [www.esri.com](http://www.esri.com),
- Freund, R. J., Wilson, W. J., & Sa, P. (1998). *Regression Analysis: Statistical Modeling of a Response Variable*. San Diego, USA: Academic Press.
- Gangodagamage, C., Zhou, X., & Lin, H. (2008). Spatial Autocorrelation. S. Shekhar, & H. Xiong, Encyclopedia of GIS. New York: Springer. In *Encyclopedia of GIS* (pp. 1–8). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6\\_83-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6_83-2)
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- González Moreno, J. O., Backhoff Pohls, M. Á., Morales Bautista, E. M., & Vázquez Paulino, J. C. (2020). *Análisis tempo-espacial de la Red Nacional de Caminos para la determinación de la Accesibilidad Geográfica de las Localidades Rurales de México*.
- Grazhdani, D. (2016). Assessing the variables affecting on the rate of solid waste generation and recycling: An empirical analysis in Prespa Park. In *Waste Management* (Vol. 48, pp. 3–13). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.028>
- Griffith, D. A., & Amrhein, C. G. (1997). *Multivariate Statistical Analysis for Geographers*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
- Harms, T. K., Wentz, E. A., & Grimm, N. B. (2009). Spatial heterogeneity of denitrification in semi-arid floodplains. *Ecosystems*, 12(1), 129–143. <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9212-6>
- Henricks, S. L. (1994). Socio-economic Determinants of Solid Waste Generation and Composition in Florida. Master's thesis. Durham, NC: Duke University School of the Environment.
- Hidalgo Bucheli, G. E. (2019). *Uso del Índice de Moran y LISA para explicar el ausentismo electoral rural en Ecuador*.
- Hockett, D., Lober, D. J., & Pilgrim, K. (1995). Determinants of Per Capita Municipal Solid Waste Generation in the Southeastern United States. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 45).

- Hong, S., & Adams, R. M. (1993). *An Economic Analysis of Household Recycling of Solid Wastes: The Case of Portland, Oregon*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020b). *Censo de población y vivienda. Presentación de resultados. Oaxaca*.
- Karak, T., Bhagat, R. M., & Bhattacharyya, P. (2012). Municipal solid waste generation, composition, and management: The world scenario. In *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* (Vol. 42, Issue 15, pp. 1509–1630). <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.569871>
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Keser, S., Duzgun, S., & Aksoy, A. (2012). Application of spatial and non-spatial data analysis in determination of the factors that impact municipal solid waste generation rates in Turkey. *Waste Management*, 32(3), 359–371. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.017>
- Kinnaman, T. C., & Fullerton, D. (1997). *Garbage and Recycling in Communities with Curbside Recycling and Unit-Based Pricing (NBER Working Paper No. 6021)*.
- Lebersorger, S., & Beigl, P. (2011). Municipal solid waste generation in municipalities: Quantifying impacts of household structure, commercial waste and domestic fuel. *Waste Management*, 31(9–10), 1907–1915. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.016>
- Linzner, R. & Beigl, P (2005). Analysing the waste generation in the city of Belgrade. Proceedings of the International Symposium: "Environment for Europe". 6-8 June 2005, Belgrade, Serbia and Montenegro.
- Liu, G., & Yu, J. (2007). Gray correlation analysis and prediction models of living refuse generation in Shanghai city. *Waste Management*, 27(3), 345–351. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.010>
- Lizama Carrasco, G. (2012). *Geografía electoral del abstencionismo en los municipios de México (1994-2009)*.
- Mazzanti, M., Montini, A., & Zoboli, R. (2008). Municipal waste generation and socioeconomic drivers: Evidence from comparing Northern and Southern Italy. *Journal of Environment and Development*, 17(1), 51–69. <https://doi.org/10.1177/1070496507312575>

- Mennis, J. L., & Jordan, L. (2005). *The Distribution of Environmental Equity: Exploring Spatial Nonstationarity in Multivariate Models of Air Toxic Releases*. *Annals of the Association of American Geographers*, 95 (2), 249-268.
- Miles, J., Shevlin, M., 2001. *Applying Regression and Correlation: A Guide for Students and Researchers*. Sage Publications, London.
- Nagelhout, D., Joosten, M., & Wieringa, K. (1990). *Future waste disposal in The Netherlands* (Vol. 4).
- OECD. *Environmental indicators development, measurement and use*. (2004).
- Ogwueleka, T. C. (2009). Municipal solid waste characteristics and management in Nigeria. In *J. Environ. Health. Sci. Eng* (Vol. 6, Issue 3). <https://www.researchgate.net/publication/40542918>
- Ojeda-Benítez, S., Vega, C. A. de, & Marquez-Montenegro, M. Y. (2008). Household solid waste characterization by family socioeconomic profile as unit of analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(7), 992–999. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.004>
- Orccosupa Rivera, J. (2002). *Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos*. <https://www.researchgate.net/publication/30751398>
- Ordóñez-Ponce, E. A. (2004). A Model for Assessing Waste Generation Factors and Forecasting Waste Generation using Artificial Neural Networks: A Case Study of Chile. Proceedings of ‘Waste and Recycle 2004’ Conference. 21-24 September 2004, Fremantle, Australia.
- Parfitt, J. P., & Flowerdew, R. (1997). Methodological problems in the generation of household waste statistics. An analysis of the United Kingdom’s National Household Waste Analysis Programme. In *Elsevm Science Ltd* (Vol. 17, Issue 3).
- Purcell, M., & Magette, W. L. (2009). Prediction of household and commercial BMW generation according to socio-economic and other factors for the Dublin region. *Waste Management*, 29(4), 1237–1250. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10.011>
- Rhyner, C. R. (1976). Domestic Solid Waste and Household Characteristics. *Waste Age*. April. 29–39, 50. Statistical Abstract of North Carolina Counties for 1991. State Data Center, Management and Information Services, Office of State Budget and Management. May.
- Richardson, R. A., & Havlicek, J. (1978). *Economic Analysis of the Composition of Household Solid Wastes*.
- Tobler, W. R. (1970). *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*. *Economic Geography*, 46 (2), 234-240.

- van Houtven, G. L., & Morris, G. E. (1999). Household Behavior Under Alternative Pay- As-You-Throw Systems for Solid Waste Disposal. *Land Economics*, 75(4), 515-537. In *Source: Land Economics* (Vol. 75, Issue 4).
- Walford, N. (1995). *Geographical Data Analysis*. Chichester, New York: Wiley. (Vol. 38, Issue 2).
- Wertz, K. L. (1976). Economic Factors Influencing Households' Production of Refuse. In *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ECONOMICS AND MANAGEMENT* (Vol. 2).
- Wesolowsky, G. O. (1976). *Multiple Regression and Analysis of Variance*. New York: Wiley.
- Zhou, X., & Lin, H. (2008). Moran's I. S. Shekhar, & H. Xiong, Encyclopedia of GIS. New York: Springer. In *Encyclopedia of GIS* (pp. 1–1). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6\\_817-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23519-6_817-2)

## APÉNDICE A

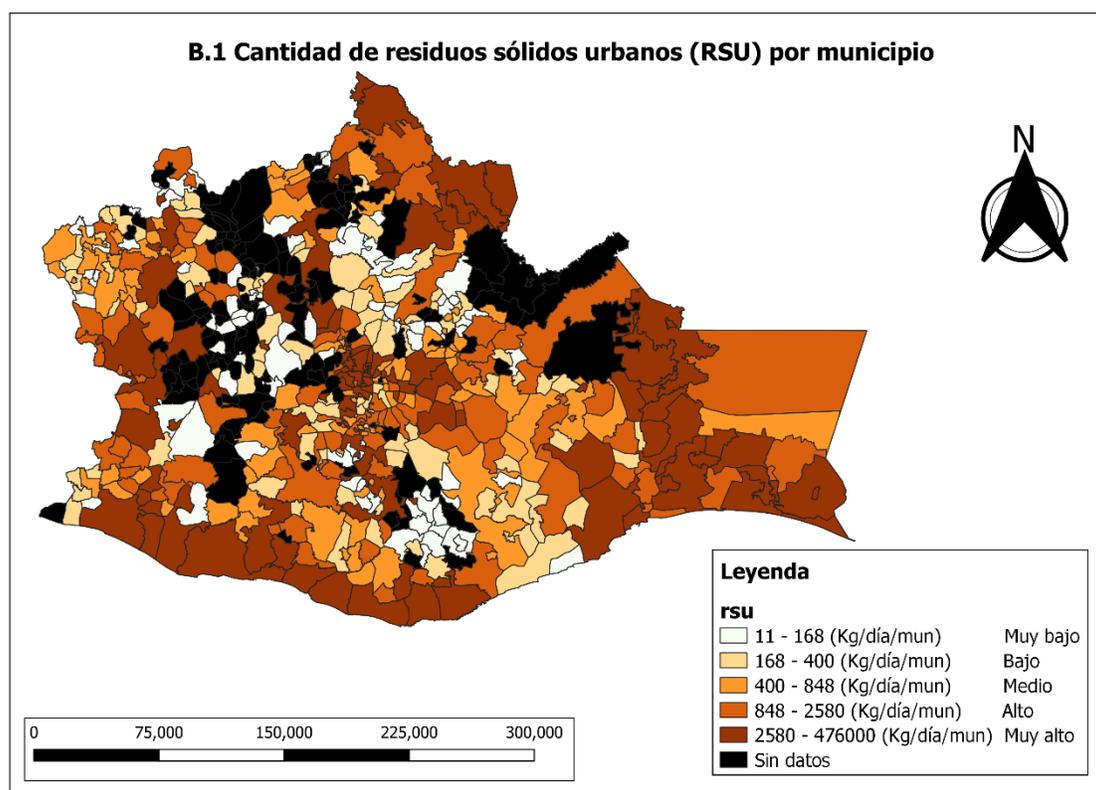
### A.1 Estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en el análisis empírico

Variable	Observación	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
p15pri_co	437	6.24	1.12	3.93	9.98
p3ym_hli	437	2318.65	4839.85	0	63800
urba	437	24.72	36.27	0	100
dens	437	3.73	1.27	0.74	8.67
ppgacpbm	437	20.81	25.5	0	100
pib_pc	437	7.75	1.95	3.65	13.69
gini	437	0.33	0.03	0.27	0.47
mun_uc	437	0.67	0.47	0	1
com_d	437	204.76	694.13	5	12187

Fuente: Elaboración propia en Stata

## APÉNDICE B

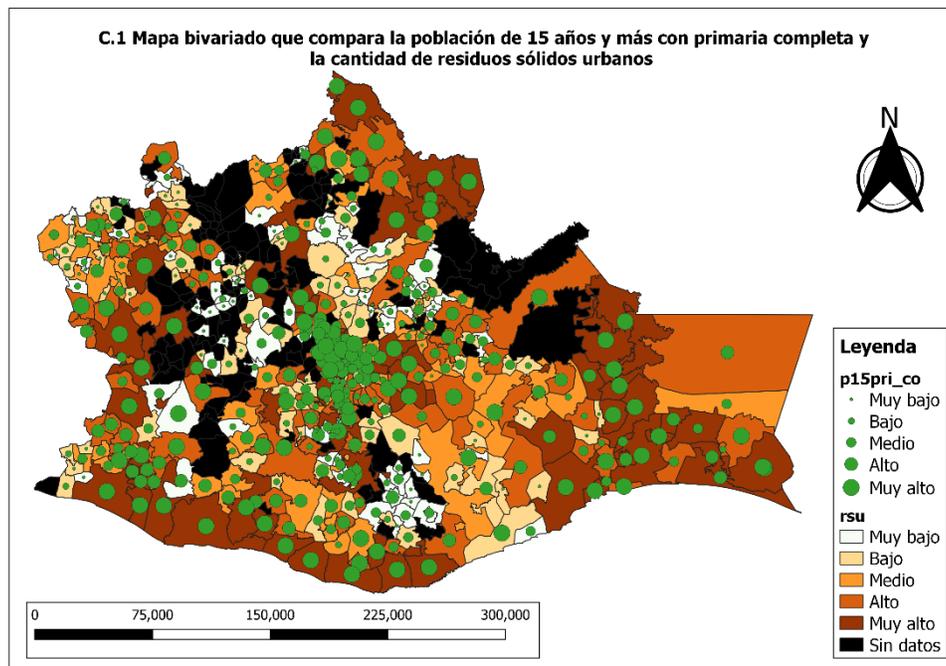
### B.1 Mapa univariado de la variable dependiente



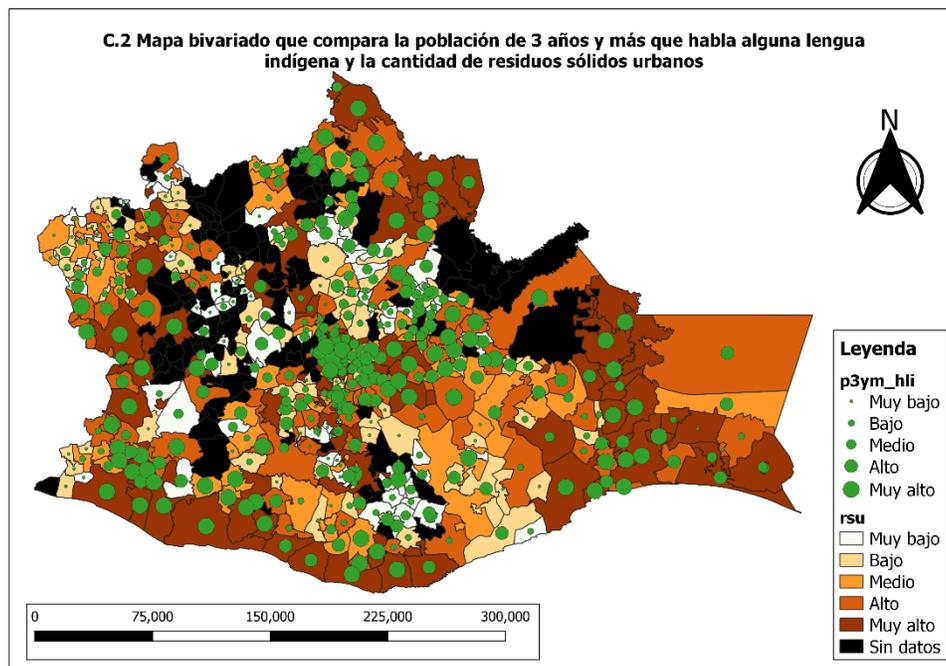
Fuente: Elaboración propia en QGis con datos del CNGMD 2021

## APÉNDICE C

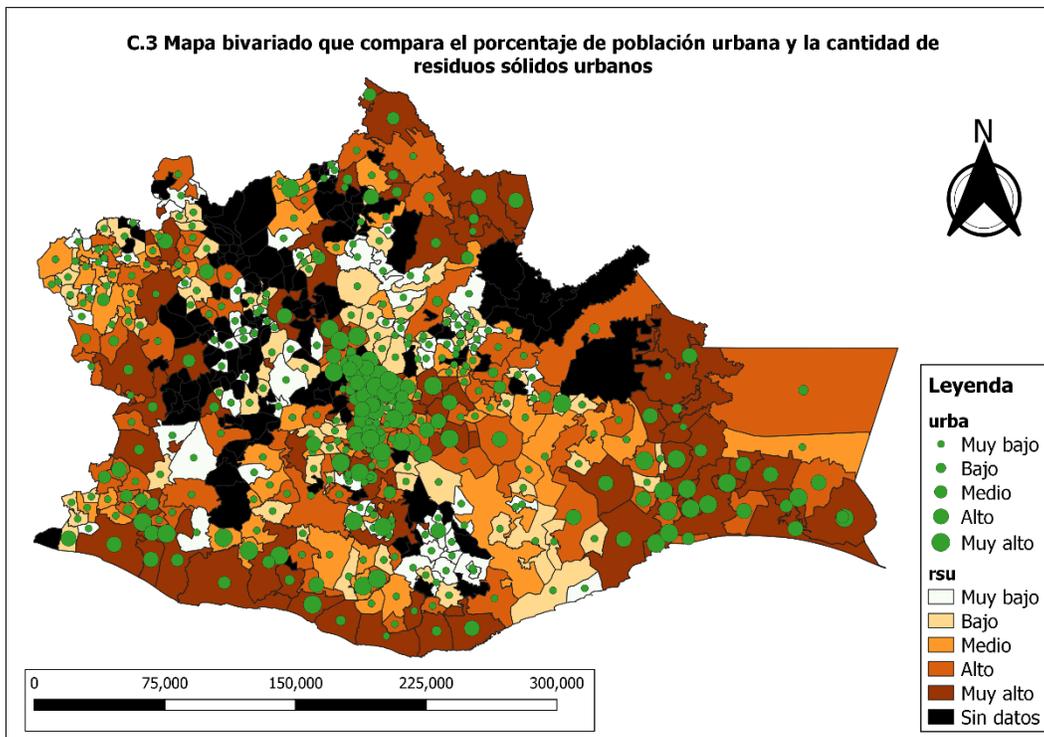
### C.1 Mapas bivariados que comparan las variables independientes y la variable dependiente



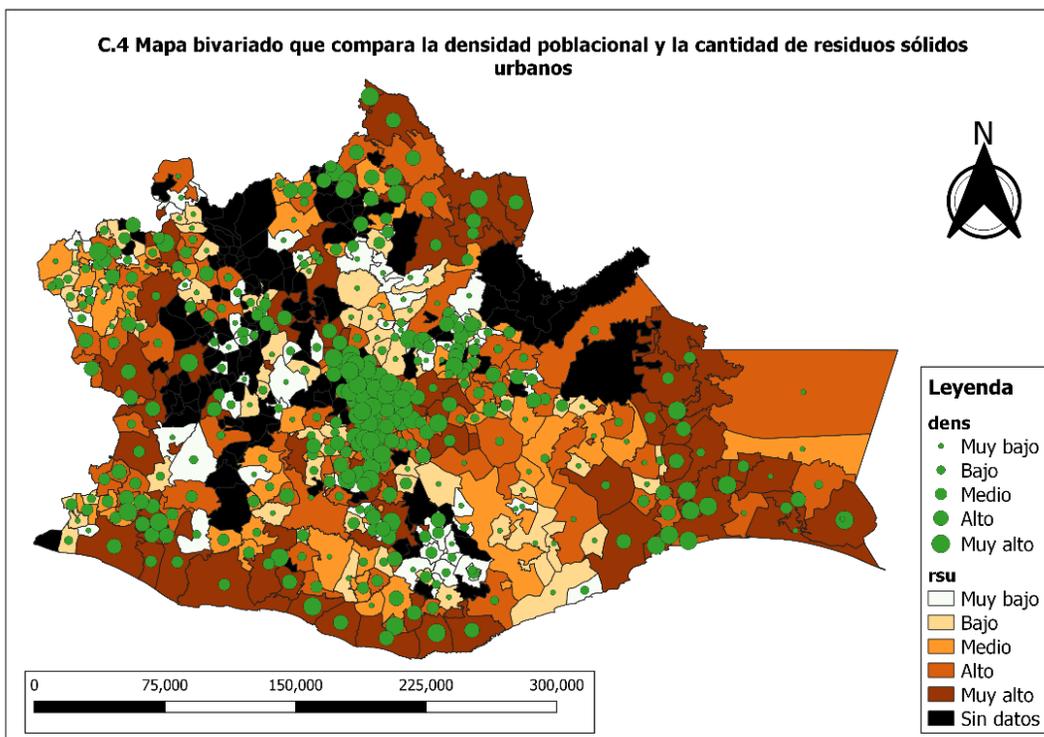
Fuente: elaboración propia en QGis



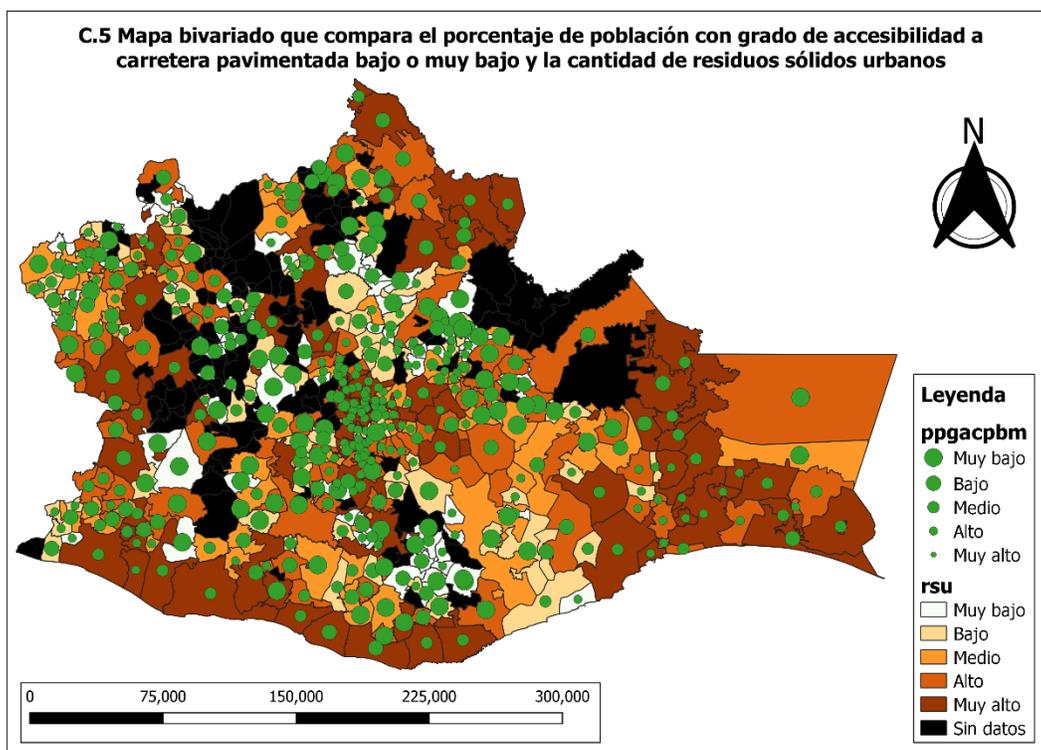
Fuente: elaboración propia en QGis



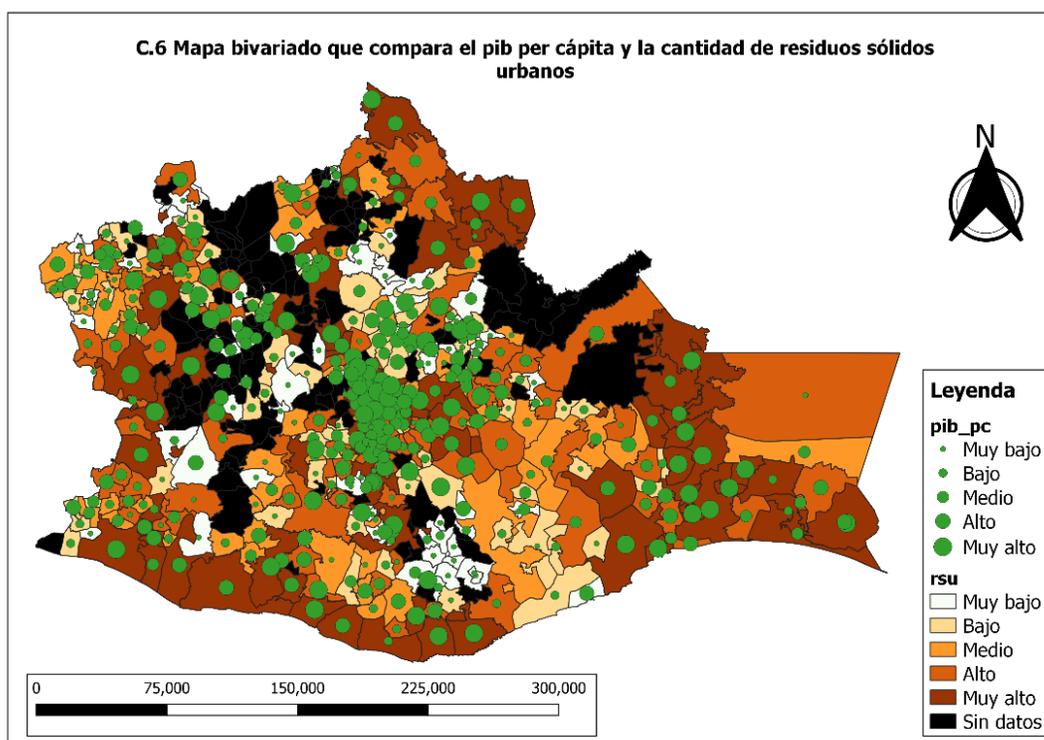
Fuente: Elaboración propia en QGis con datos del CNGMD 2021



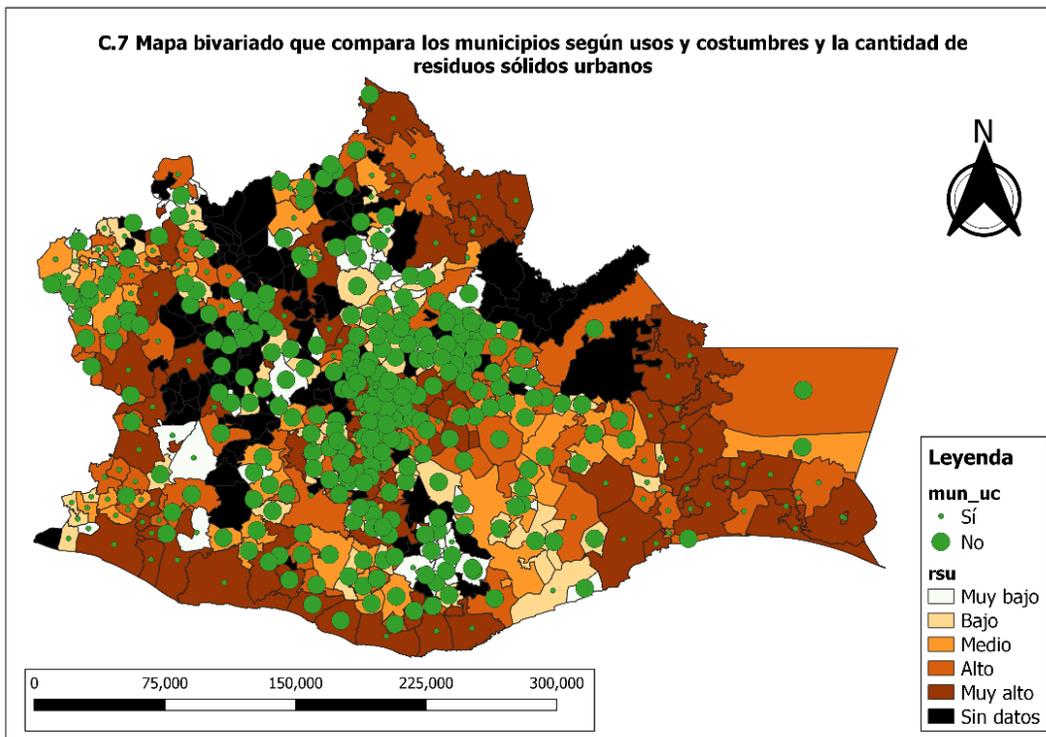
Fuente: Elaboración propia en QGis con datos del CNGMD 2021



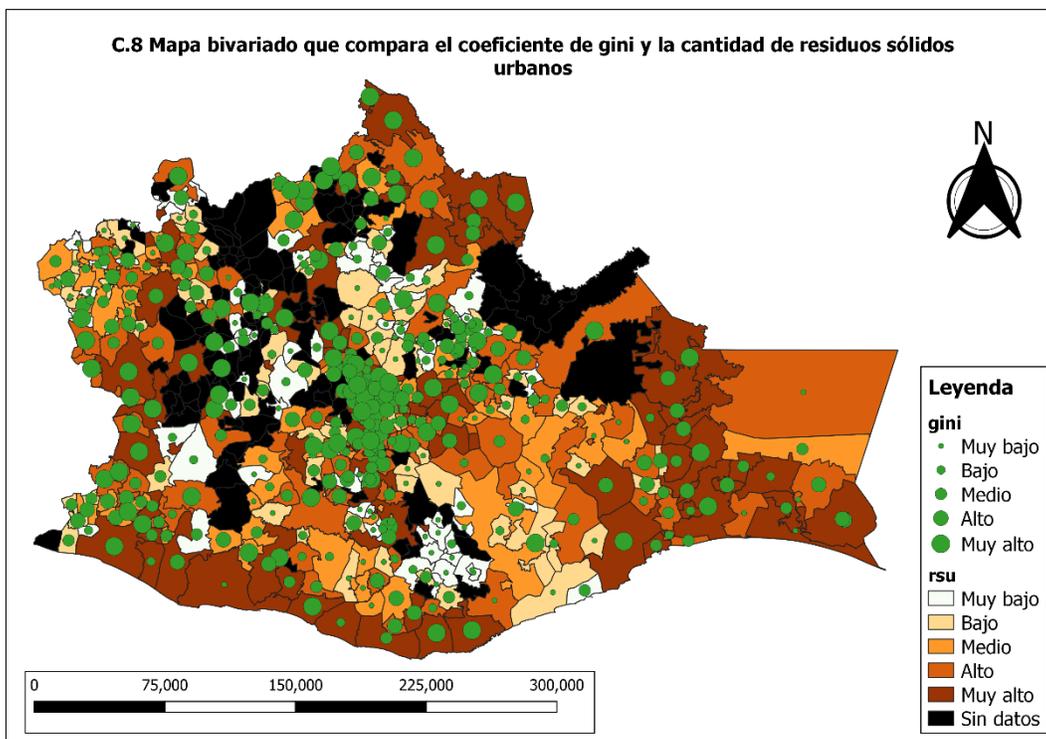
Fuente: Elaboración propia en QGis con datos del CNGMD 2021



Fuente: Elaboración propia en QGis con datos del CNGMD 2021



Fuente: Elaboración propia en QGis con datos del CNGMD 2021



Fuente: Elaboración propia en QGis con datos del CNGMD 2021