



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN GEOGRAFÍA
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

EL CLÚSTER COMO HERRAMIENTA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y SU
POTENCIAL PARA EL DESARROLLO REGIONAL

TESIS
PARA OPTAR AL GRADO DE:
DOCTOR EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:
RODRIGO ANTONIO AGUILAR VERA

DIRECTORA DE TESIS
DRA. SILKE CRAM HEYDRICH
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Cada ser vivo tiene su propio metabolismo,
hay especies que florecen todo el año, como
los geranios, y otras como las orquídeas,
solo una vez.*

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos al Posgrado de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la oportunidad de cursar mis estudios de doctorado. De igual manera un agradecimiento al Instituto de Geografía y al Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la UNAM, por brindarme el espacio que me permitió conocer a grandes investigadores, compañeros, y mucho más importante, a grandes personas.

A mi tutora, la Dra. Silke Cram Heydrich, cuyo apoyo constante fue fundamental para la realización de este trabajo. A mi comité tutorial, por el conocimiento y dedicación entregados: Dra. María Teresa Sánchez Salazar, Dra. Sandra Murillo López, Dra. María Neftalí Rojas Valencia, Dra. María Josefina Morales Ramírez y al Dr. Otoniel Buenrostro Delgado.

Al Centro Mario Molina por su amable disposición a contribuir en este trabajo mediante su autorización para la utilización de la información del proyecto realizado junto a la Consultora TAAF y el Mtro. Pablo Alarcón Montero.

Agradecer a mi familia y amigos, quienes han aportado siempre su cariño y preocupación.

Un infinito agradecimiento a todos.

Contenido

Lista de figuras	8
Lista de tablas.....	10
Lista de acrónimos.	11
Resumen.....	12
Abstract	13
1. Introducción	14
1.2. Justificación	15
1.2.1. La valorización de los residuos sólidos urbanos.....	16
1.2.2. El clúster como herramienta de manejo de residuos sólidos	17
1.3. Objetivos	18
1.4. Alcances.....	19
1.5. Metas.....	19
2. El manejo de los residuos sólidos urbanos en México.....	20
2.2. Aspectos históricos de la gestión y manejo de residuos sólidos urbanos	20
2.3. Disposición de los residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México y la zona conurbada	23
2.4. Generación y manejo actual de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México	24
2.4.1. Generación de residuos sólidos	24
2.4.2. Manejo de residuos sólidos.....	24
2.4.3. Situación de la valorización de materiales contenidos en los residuos sólidos urbanos	27
2.5. Marco conceptual y legal del manejo de los residuos sólidos urbanos en México	29
2.5.1. Definiciones	29
2.5.2. Competencias.....	30
2.5.3. Marco legal.....	32
2.6. Investigaciones acerca del tema de los clústeres en México.....	33
2.7. La aglomeración de empresas en el espacio geográfico.....	34
2.7.1. El espacio geográfico.....	34

2.7.2.	El espacio económico	36
2.7.3.	El fenómeno de la aglomeración de empresas	37
2.8.	Los clústeres geográficos	39
2.9.	Identificación de clústeres	40
2.10.	Indicadores utilizados en el manejo de los residuos sólidos urbanos	43
2.10.1.	Elementos geográficos	45
2.10.2.	Elementos económicos	46
2.10.3.	Elementos sociales	47
3.	Metodología.....	49
3.2.	Primera etapa de la metodología.....	50
3.3.	Descripción de las actividades a realizar en la primera etapa de la metodología	50
3.3.1.	Selección del área de estudio.....	50
3.3.2.	Diagnóstico de los servicios de aseo urbano (SAU) de los municipios.....	50
3.3.3.	Recopilación y análisis de la generación y composición de los residuos sólidos urbanos	51
3.3.4.	Estudio y análisis espacial de la valorización de residuos sólidos urbanos.....	51
3.4.	Selección y asociación de variables.....	51
3.5.	Propuesta de análisis de conectividad espacial de la valorización de residuos sólidos urbanos	53
3.5.1.	Localización de ETV y AIN.....	54
3.5.2.	Ubicación de unidades económicas (UE)	55
3.5.3.	Análisis de conectividad	56
3.5.4.	Generación de base de datos geoespacial de los datos recopilados en campo	57
3.6.	Descripción y alcances de las actividades a realizar en la segunda etapa de la metodología	57
3.6.1.	Análisis estadístico exploratorio de la base de datos geoespacial.....	58
3.6.2.	Análisis espacial de la región en estudio.....	58
3.6.3.	Propuesta de modelo espacial de valorización de residuos sólidos urbanos	59
3.7.	Diagrama general de la metodología propuesta para el análisis de clústeres para el manejo y la valorización de RSU.....	59
4.	Selección del área de estudio, muestreo y primer procesamiento de datos	61
4.2.	Selección del área de estudio.....	61
4.3.	Análisis del sistema de manejo de residuos sólidos urbanos	62

4.4.	Generación	65
4.4.1.	Clasificación de los residuos sólidos domiciliarios	66
4.4.2.	Separación de residuos sólidos domiciliarios en la fuente	68
4.5.	Recolección de residuos sólidos urbanos.....	69
4.6.	Tratamiento.....	74
4.7.	Disposición final	75
4.8.	Revisión del sistema actual de valorización de residuos sólidos urbanos	77
4.9.	Estudio de valorización de residuos sólidos urbanos.....	77
4.10.	Resultados del estudio de los acopios informales y empresas de tratamiento y valorización	79
4.10.1.	Valorización de materiales en los acopios informales	81
4.10.2.	Valorización de materiales en las Empresas de Tratamiento y Valorización (ETV) ..	84
4.11.	Análisis de conectividad espacial de la valorización de residuos sólidos urbanos en el Estado de México.	86
4.11.1.	Análisis de encuestas y ubicación espacial de los AIN y de las ETV.	86
4.11.2.	Análisis de conectividad entre AIN y ETV.....	88
4.11.3.	Discusión sobre la determinación del índice de conectividad	92
5.	Análisis de los resultados utilizando un modelo de clúster	94
5.2.	Exploración y selección de variables a integrar en el modelo de clúster	96
5.2.1.	Exploración de los datos estadísticos para las variables seleccionadas.....	96
5.2.2.	Selección de variables	97
5.2.3.	Variables sociales	98
5.2.4.	Variables económicas.....	100
5.2.5.	Variable geográfica.....	102
5.3.	Correlación de variables.....	103
5.4.	Análisis de clústeres utilizando el software R	104
5.4.1.	Correlación de variables utilizando KMO	104
5.4.2.	Análisis de componentes principales	106
5.4.3.	Método K-means.....	108
5.4.4.	Resultados del análisis de clúster de manejo de residuos a nivel municipal.....	109
5.4.5.	Potencial de desarrollo económico regional.....	110
5.4.6.	Selección de municipios	110

5.4.7.	Análisis del potencial de valorización.....	112
6.	Discusión	116
6.2.	Diagnóstico.....	116
6.3.	Relación espacial entre AIN y ETV.....	116
6.4.	Metodología de clúster propuesta.....	117
6.5.	Potencial de desarrollo regional	118
7.	Conclusiones.....	119
8.	Bibliografía	121
Anexo 1.	Generación de residuos sólidos urbanos para los municipios del Estado de México.....	129
Anexo 2.	Propuesta de Clasificación de Residuos Sólidos Urbanos.....	134
Anexo 3.	Algoritmo para la generación de clústeres utilizando software R	139
Anexo 4.	Cédulas de encuesta a Acopios Informales (AIN) y Empresas de Tratamiento y Valorización (ETV)	145

Lista de figuras

Figura 1.1. Promedio diario recolectado por tipo de material, en la República Mexicana	17
Figura 2.1. Barrendero en el municipio de la Paz, Estado de México.	24
Figura 2.2. Acopio de materiales en camión recolector en el municipio de Temoaya.	25
Figura 2.3. Centro de acopio informal en Nezahualcóyotl (a) y formal en Ixtapaluca (b).	26
Figura 2.4. Pepenadores en el sitio de disposición final de Chiconautla, municipio de Ecatepec.	26
Figura 2.5. Diagrama de flujo de los residuos sólidos urbanos.	27
Figura 2.6. Recuperación anual de materiales valorizables contenidos en los residuos sólidos urbanos, expresada en miles de toneladas anuales por material.	28
Figura 2.7. Esquema general de un clúster aplicado a una región geográfica.	39
Figura 2.8. Diamante de Porter.	42
Figura 3.1. Variables que inciden en los elementos del sistema de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos.	52
Figura 3.2. Esquema de la metodología propuesta de análisis de conectividad espacial de la valorización de residuos sólidos urbanos.	54
Figura 3.3. Metodología propuesta para el análisis de clústeres para el manejo y la valorización de residuos sólidos urbanos.	60
Figura 4.1. Concentración de población en el área de estudio: Estado de México.	62
Figura 4.2. Esquema general de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos en el Estado de México.	64
Figura 4.3. Distribución de las fracciones de residuos por grupo de municipios.	67
Figura 4.4. Eficiencia de la recolección de RSU por municipio en el Estado de México.	71
Figura 4.5. Cobertura de recolección de residuos por municipio, en el Estado de México.	72
Figura 4.6. Costo del servicio de recolección por municipio en el Estado de México.	73
Figura 4.7. Acopio de materiales reciclables en vehículos de recolección.	74
Figura 4.8. Ubicación y cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 de los SDF visitados.	76
Figura 4.9. Encuesta tipo aplicada a domicilios.	78
Figura 4.10. Distribución espacial de los acopios informales (AIN) y las empresas de tratamiento y valorización (ETV) encuestadas.	80
Figura 4.11. Tamaño de acopios informales encuestados.	82
Figura 4.12. Cantidad de material total mensual recuperado en los acopios informales encuestados.	83
Figura 4.13. Precios promedios de venta de materiales recuperados en los acopios informales encuestados.	83
Figura 4.14. Cantidad de material mensual recuperado en las empresas de tratamiento y valorización encuestadas.	84
Figura 4.15. Precios promedios de venta de materiales recuperados en las empresas de tratamiento y valorización encuestadas.	85
Figura 4.16. Ubicación de SDF y Empresas de Tratamiento y Valorización encuestadas.	86
Figura 4.17. Distribución espacial de las empresas de tratamiento y valorización (ETV) encuestadas.	88

Figura 4.18. Relación espacial, actual y óptima, entre los acopios informales (AIN) y las empresas de tratamiento y valorización (ETV) encuestadas.....	89
Figura 4.19. Distribución de los datos del indicador de conectividad T', para la relación actual (T'_AC) y la óptima (T'_OP), reunidos en cinco grupos.	92
Figura 5.1. Metodología de análisis de clúster.....	94
Figura 5.2. Gráfico de correlación entre los valores de IDM y población por municipio.....	98
Figura 5.3. Gráfico de correlación entre los valores de IDH y población por municipio.....	99
Figura 5.4. Gráfico de correlación entre los valores de generación de residuos sólidos (RST) y población, por municipio.	100
Figura 5.5. Participación social en actividades de valorización por estrato social.....	101
Figura 5.6. Gráfico de correlación entre los valores del potencial de valorización de residuos (VAL) y población, por municipio.	102
Figura 5.7. Mapa de conectividad entre ETV y cabeceras municipales del Estado de México: A) Rutas y B) Conectividad.....	103
Figura 5.8. Matriz de correlación de las variables consideradas en el análisis, incluye: valor de correlación (Pearson), distribución normal de datos (barra y curva), gráfico bivariado.	104
Figura 5.9. Gráfico de correlación del índice KMO entre cada variable propuesta.	105
Figura 5.10. Gráfico de componentes principales.....	106
Figura 5.11. Gráfico de correlación entre las variables propuestas y los componentes 1 y 2 (Dim1 y Dim2).....	107
Figura 5.12. Diagrama de dispersión de datos del primer y segundo componente resultante del PCA.	108
Figura 5.13. Clústeres municipales, agrupados con base en variables de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos, utilizando el método K-means.	109
Figura 5.14. Ubicación y conexión con ETV para los grupos de municipios A y B analizados.....	111

Lista de tablas

Tabla 1.1. Generación de residuos sólidos urbanos de los estados de la región centro.	16
Tabla 2.1. Tasas de eficiencia de las plantas de selección de materiales valorizables en México....	29
Tabla 2.2. Atribuciones establecidas en la LGPGIR por orden de gobierno.....	31
Tabla 2.3. Normas Técnicas Ambientales Estatales referidas a la separación y valorización de residuos sólidos urbanos.....	32
Tabla 3.1. Actividades a desarrollar en la primera etapa del estudio: recopilación de información, análisis.....	50
Tabla 3.2. Actividades a desarrollar en la segunda etapa de la metodología propuesta.	58
Tabla 4.1. Municipios seleccionados para la determinación de la generación y composición de los residuos en el Estado de México.....	65
Tabla 4.2. Generación promedio de residuos sólidos urbanos (RSU).....	66
Tabla 4.3. Resultados de la pregunta “¿Separa usted sus residuos?”	68
Tabla 4.4. Resultados de la pregunta “¿Cuáles residuos separa usted?”	68
Tabla 4.5. Resultados de la pregunta “¿Cómo los aprovecha?”	69
Tabla 4.6. Resultado de la segunda parte de la pregunta “¿Cómo los aprovecha?”: materiales que presentan mayor interés en la población para su comercialización.....	69
Tabla 4.7. Tratamiento de residuos sólidos disponibles en los municipios.	75
Tabla 4.8. Destinos frecuentes para los materiales valorizados en los acopios informales.	87
Tabla 4.9. Origen-destino, distancia, velocidad promedio y valor del indicador de conectividad T', para la relación actual y óptima entre acopios informales (AIN) y empresas de tratamiento y valorización (ETV).....	90
Tabla 4.10. Rangos, criterios de conectividad T' y frecuencia de datos para el escenario actual y el óptimo.	91
Tabla 5.1. Sistema de clasificación para el puntaje Z.....	97
Tabla 5.2. Clasificación de residuos por grupo de municipios.	101
Tabla 5.3. Grupo de municipios A.	112
Tabla 5.4. Grupo de municipios B.	112
Tabla 5.5. Ingreso anual por venta de materiales valorizables en municipios grupo A.....	113
Tabla 5.6. Ingreso anual por venta de materiales valorizables en municipios grupo B.	113
Tabla 5.7. Ingreso vs. PIB intermunicipalidad grupo A.....	114
Tabla 5.8. Ingresos vs. PIB intermunicipalidad grupo B.	114

Lista de acrónimos.

SAU: Servicios de aseo urbano.

AIN: Acopios informales.

ETV: Empresas de tratamiento y valorización.

RSU: Residuos sólidos urbanos.

RME: Residuos de manejo especial.

NOM: Norma Oficial Mexicana.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

DENUE: Directorio nacional de unidades económicas.

CMM: Centro Mario Molina.

UE: Unidades económicas.

IDH: índice de desarrollo humano.

IDM: Índice de desarrollo municipal.

LGPGIR: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México.

UAM: Universidad Autónoma Metropolitana.

IPN: Instituto Politécnico Nacional.

Resumen

Desde tiempos prehispánicos, el manejo de residuos sólidos, así como su valorización, tuvo un rol relevante en el metabolismo de la ciudad estado de Tenochtitlan, centro neurálgico del imperio Mexica. Seis siglos después, el Estado de México, entidad que fue parte del Imperio Mexica, la valorización de residuos no supera el 20% del total de los residuos, siendo una sus causas, la lejanía a lugares donde puedan ser comercializados y reintegrados a los ciclos industriales. Los municipios más alejados de los grandes centros urbanos y las zonas industriales, tienen como alternativa la creación de clústeres o intermunicipalidad, que permitan incrementar la cantidad de materiales valorizables y dar viabilidad económica a su valorización. Debido a este motivo se presenta en este trabajo un modelo que permita generar clústeres territoriales para incrementar la cantidad de materiales valorizables, utilizando como caso de estudios el Estado de México, México. Para lograr dicho objetivo, realizó un análisis del manejo actual de los residuos sólidos en los 125 municipios del Estado, así como de los resultados de las encuestas aplicadas a empresas formales, informales y domicilios, con el fin de establecer las principales variables a considerar en el modelo. Las variables consideradas abarcan criterios geográficos, económicos y sociales: índice de desarrollo municipal, índice de desarrollo humano municipal, generación de residuos, potencial de valorización de los residuos y el índice de conectividad propuesto. Dentro del análisis de manejo de residuos se observó un gran potencial de valorización en los municipios de tipo rural y semirurales. Finalmente se estableció el impacto en el desarrollo regional de la valorización de los residuos sólidos urbanos, con base en el PIB, de dos grupos de municipios seleccionados para la validación del modelo de clúster regional. El impacto de la valorización de los residuos, para los clústeres municipales rurales y semirurales seleccionados, alcanza valores de 0.18% y 0.24% del PIB de cada grupo de municipios, respectivamente, considerándose un impacto económico significativo al desarrollo regional.

Abstract

Since pre-Hispanic times, the solid waste management, as well as its recovery, had an important role in the metabolism of the city-state of Tenochtitlan, the center of the Mexica empire. Six centuries later, the State of Mexico, state with the largest population in Mexico and that was part of the Mexica Empire, there is a large amount of valuable materials contained in solid urban waste that are not used, one of the causes being the distance to places where they can be traded and integrated into industrial cycles. The municipalities furthest from the large urban centers and industrial zones have as an alternative the creation of clusters or inter-municipalities, which will make it possible to increase the amount of recoverable materials and give economic viability to their recovery. Presented in this work a model that allows generating territorial clusters to increase the amount of valuable materials contained in the solid waste, using the State of Mexico, Mexico as a case study. To achieve this goal, it was carried out an analysis of the current management of solid waste in the 125 municipalities of the State, as well as the results of the surveys applied to formal and informal recycling companies, as well homes, in order to establish the main variables to consider in the model. The variables considered include geographical, economic and social criteria: municipal development index, municipal human development index, waste generation, potential for waste recovery and the proposed connectivity index in this work. As a result of the analysis of waste management, it was observed great potential for recovery material is mainly in rural and semi-rural municipalities. Finally, the impact on regional development of the valuation of urban solid waste, based on GDP, of two groups of municipalities selected for the validation of the regional cluster model was established. The impact of the recovery of waste, for the selected rural and semi-rural municipal clusters, reaches values of 0.18% and 0.24% of the GDP of each group of municipalities, respectively, considering a significant economic impact on regional development.

1. Introducción

Desde tiempos prehispánicos, el manejo y valorización de los residuos generados en la Ciudad Estado de Tenochtitlan, era un tema de importancia no solo desde un punto de vista de aseo urbano, sino también de incrementar el aprovechamiento de los recursos disponibles.

El presente trabajo aborda el tema de manejo y valorización de los residuos sólidos urbanos (RSU) en el Estado de México, planteando el modelo de clúster de empresas de valorización como una alternativa que permita incrementar la recuperación de materiales reciclables y evaluando su potencial en el desarrollo de una región.

El Estado de México genera alrededor de quince mil toneladas diarias de residuos sólidos urbanos, lo que representa el 14.5% del total nacional. Esto plantea un gran potencial de aprovechamiento de materiales reciclables, generando un impacto en el desarrollo regional, desde un punto de vista social, económico y ambiental.

Frente a este escenario ¿es posible que la aplicación de los clústeres territoriales contribuya a mejorar el manejo y valorización de los residuos sólidos urbanos de la región e impacte en el desarrollo regional?

El propósito de este trabajo es describir un modelo de clúster que permita potenciar la cantidad de residuos valorizados en una región, tomando en cuenta aspectos geográficos, económicos y sociales.

En este trabajo se utilizó la información del “Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México”, realizado por el Centro Mario Molina, CCM (2015)¹, datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE, 2010) y la Encuesta Intercensal 2015 (INEGI, 2015).

En el primer capítulo de este trabajo se presenta la justificación por la cual se considera importante la realización de este trabajo; objetivo general y específicos, indicando el área temática y aporte específico que se desea entregar; los alcances que son de tipo exploratorio, descriptivos y explicativos, y finalmente, las metas.

En el segundo capítulo se realiza una recopilación de información respecto al manejo y valorización de los residuos sólidos urbanos en México, abarcando aspectos históricos, manejo actual de los residuos, situación de la valorización, marco legal e investigaciones relacionadas al tema de clúster en México.

Posteriormente, en el tercer capítulo se presenta la metodología propuesta para recabar la información, analizarla, proponer un modelo de clúster que describa la dinámica asociada al tema de valorización, así como la validación de éste utilizando herramientas de análisis espacial.

¹ El desarrollo del proyecto abarco las etapas de diseño, preparación, estudios de campo, análisis de la información y propuesta de alternativas de solución.

El cuarto capítulo presenta los resultados más relevantes del levantamiento de información en campo, lo cuales son analizados en conjunto con las bases de datos oficiales entregadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

El análisis de los resultados, la propuesta de variables a utilizar en el modelo y la aplicación de éste, se presentan en el quinto capítulo. Con el objeto de facilitar la implementación de la metodología propuesta, solo se ha utilizado software de uso libre para el análisis de los datos y aplicación del modelo.

Las conclusiones finales se presentan en el sexto capítulo, así como algunas recomendaciones que permitirían desarrollar nuevas líneas de investigación en torno a la valorización de los residuos sólidos urbanos.

1.2. Justificación

Asociada al área de servicios urbanos en los municipios de México, existe una estructura informal que cumple tareas de manejo de RSU (Kokusai, 1998; Cortinas, 2010). Dicha estructura, compuesta por niños, ancianos, campesinos emigrados, ex convictos y principalmente familias que han encontrado en los residuos una fuente de ingresos mayor del que podrían ganar en el sector formal, tiene por objetivo subsistir mediante la valorización de los residuos reciclables (Dos Santos y Wehenpohl, 2001, Medina, 2005), aportando de manera significativa en la reducción de materiales que van a disposición final y suministrando materias primas como papel, plástico, aluminio, fierro y vidrio, principalmente, para distintas industrias en el país.

De acuerdo con el Programa Nacional de Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012, realizado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se estima que la generación de residuos sólidos urbanos en México es de 102,894 toneladas diarias, equivalentes a más de 47 millones de toneladas anuales. De esta cantidad se estima que el 28% son residuos potencialmente reciclables, el 53% son residuos orgánicos y solo un 19% residuos no aprovechables (SEMARNAT 2009).

Gran parte de estos residuos son generados en la región centro del país, que abarca los Estados de México, Puebla, Hidalgo, Morelos, Tlaxcala y Ciudad de México. De estos Estados solo Tlaxcala no presentan disponibilidad de tratamiento y aprovechamiento para sus residuos sólidos (INEGI, 2010). En la tabla 1.1 se puede ver la generación de residuos sólidos urbanos de los estados correspondientes a la región centro del país.

Tabla 1.1. Generación de residuos sólidos urbanos de los estados de la región centro.

Estado	Generación por población (ton/día)	Porcentaje respecto al total de la región (%)	Porcentaje respecto al total nacional (%)
México	14,970	40.4	14.5
Puebla	4,800	13.0	4.7
Hidalgo	2,059	5.6	2.0
Morelos	1,552	4.2	1.5
Tlaxcala	781	2.1	0.8
Ciudad de México	12,893	34.8	12.5
Total Región	37,054	100.00	
Total Nacional	102,895		36.0

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, 2012 y SEDEMA, 2016.

Se puede observar en la tabla 1.1 que el Estado de México genera el 14.5% de los residuos sólidos urbanos a nivel nacional y el 44.5% del total de la región, seguido por el Ciudad de México con un 9.2% y 28.1%, respectivamente. Esto plantea un gran potencial de aprovechamiento de materiales reciclables, lo que impacta de manera significativa en el aspecto económico y de desarrollo de la región. Esto último con base en las 2990 empresas asociadas a temas de valorización de residuos, conforme al tipo de actividad declarada en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas 2010 de INEGI; Actividad económica (4343): Comercio al por mayor de materiales de desecho.

Aunque en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y el Programa Nacional de Prevención y Gestión Integral de Residuos se establece la necesidad de fomentar la valorización de los residuos, creando mercados y financiamientos adecuados, esto ha sido difícil de llevar a cabo en la práctica por la falta de créditos y apoyos para los pequeños y medianos empresarios debido a la informalidad de sus actividades (GTZ, 2003).

1.2.1. La valorización de los residuos sólidos urbanos

Para lograr una adecuada gestión y manejo de los RSU se plantea en este trabajo una estrategia de fortalecimiento de las cadenas productivas (tratamiento, recuperación y reciclaje) mediante los clústeres espaciales de empresas del rubro, con el fin de potenciar las fuentes de ingreso y empleo formal, así como una reducción de los residuos que van a disposición, implementando políticas públicas que faciliten dicho objetivo.

Los métodos propuestos por la nueva geografía, en especial la cuantitativa, nos permiten acercarnos a la resolución de problemas de tipo socioeconómico, sistemas de jerarquía urbana, factores de localización industrial, área de influencia urbana, modos y redes de comunicación, entre otros, fundamentales en el tema estratégico de manejo de RSU (Capel y Urteaga, 1994). Si bien se le critica a la geografía cuantitativa su alejamiento de la realidad por su conceptualización geométrica o matemática de la realidad (Bosque *et al.*, 1983), es necesario llevar a cabo un exhaustivo trabajo de

campo que permita una lectura incluyente y dinámica de los hechos geográficos que se lleven a cabo en la región de estudio. Lo anterior, debido al fuerte componente social que rodea el tema de valorización de los residuos sólidos urbanos en México (Castillo, 2011).

Un adecuado análisis de la situación actual de la valorización permitirá que la recuperación informal en México pueda transformarse en instrumento para avanzar hacia una gestión integral de RSU y fortalecer el desarrollo regional, donde existan las condiciones para la aplicación de un modelo de clúster, generación de ingresos y fuentes de trabajo formales para las comunidades y sectores más abandonados de la sociedad.

De acuerdo con lo reportado por el INEGI (2011), las cantidades de materiales valorizables que se recuperan diariamente a nivel nacional, superan las 180 toneladas. En la Figura 1.1 se muestran las cantidades diarias recuperadas por tipo de material en la República Mexicana.

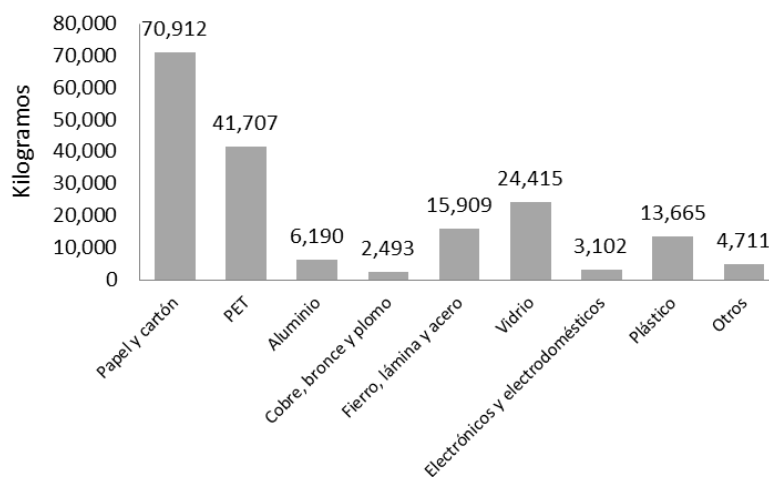


Figura 1.1. Promedio diario recolectado por tipo de material, en la República Mexicana

Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI ,2011.

En la Figura 1.1 se puede observar que los materiales con mayor recuperación, en peso, son el papel y el cartón, con 70,912 kg/día, y el PET con 41,707 kg/día. Esto explica de alguna manera la cantidad de empresas que se dedican a la valorización de materiales plásticos en los últimos años.

Si bien las cantidades de materiales valorizables contenidos en los residuos sólidos urbanos hacen viable el emprendimiento de micro, pequeñas y medianas empresas, existen variables sociales que deben ser tomadas en cuenta con el objetivo de conocer la viabilidad y potencial de negocio en una localidad o región.

1.2.2. El clúster como herramienta de manejo de residuos sólidos

Chung (2004) en Lima y Ruggiero (2011) en Buenos aires, presentan el clúster como alternativa para potenciar el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos y fuente de empleo formal, mediante la creación de pequeñas empresas ubicadas estratégicamente y manejadas por segregadores informales seleccionados.

Las empresas dedicadas a uno o más procesos dentro de la cadena productiva de valorización, pueden desarrollar ventajas competitivas, respecto a otras del mismo rubro, producto de las relaciones positivas desarrolladas entre ellas (Céspedes y Martínez, 2006). Dentro de los factores que inciden en las ventajas competitivas, con el fin de mejorar la producción, está la innovación (Porter, 1998), ya que las empresas pertenecientes al clúster pueden aprovechar las dinámicas de cooperación, asociación y concentración espacial para compartir ideas, nuevos mercados, mano de obra calificada, entre otros.

De acuerdo a McEvily y Zaheer (1999) las asociaciones regionales permiten proveer de conocimiento y crear oportunidades que permitan incrementar las capacidades competitivas de las empresas. De igual manera, Céspedes y Martínez (2006) establecen que dichas asociaciones permiten a las empresas pertenecientes al clúster obtener mayor influencia y legitimidad frente a las administraciones públicas y tomadores de decisiones, permitiendo atraer inversión y conseguir reformas del marco legal. Esta legitimidad puede favorecer el desarrollo de capacidades asociadas a la innovación (Bensal y Roth, 2000).

Las regiones pueden ser de distinto tamaño y características, dependiendo del proceso de asentamiento que generó el núcleo inicial de su población, así como diferir en madurez o jerarquía (Torres *et al.*, 2008). Sin embargo, las regiones, como aglomeración espacial, son los núcleos originales que permiten conquistar mercados y generar distintas configuraciones espaciales, facilitando a las empresas el control y desarrollo de sus inversiones. Por lo anterior, sería posible que un clúster enfocado a la valorización de residuos sólidos urbanos genere dinámicas económicas y sociales que faciliten el desarrollo de una región en torno a este tema.

Estas agrupaciones espaciales, en nuestro caso de manejo y valorización de residuos sólidos, facilitarán la aplicación de medidas y políticas más adecuadas a cada grupo, considerando el potencial de desarrollo para cada uno.

Frente a este panorama cabe la pregunta ¿Es posible agrupar las unidades territoriales en clústeres de manejo de residuos sólidos con el objetivo de incrementar la valorización de los materiales reciclables?

Hipótesis

Los clústeres territoriales identificados con base en variables sociales, económicas y de manejo de sus residuos sólidos urbanos similares, facilitan la propuesta de políticas públicas que incrementen las actividades de valorización de los materiales susceptibles de aprovechamiento, incidiendo en el desarrollo económico y social de la región.

1.3. Objetivos

General

Proponer un modelo de clúster territorial que permita incrementar la valorización de los principales materiales reciclables contenidos en los residuos sólidos urbanos en el Estado de México, utilizando indicadores geográficos, económicos y sociales.

Específicos

1. Realizar un diagnóstico general del servicio de aseo urbano (SAU) de la zona de estudio, recabando información del manejo y valorización de los residuos sólidos urbanos (RSU).
2. Seleccionar las variables geográficas, económicas y sociales que permitan establecer regiones potenciales para desarrollar clústeres de valorización de materiales contenidos en los residuos sólidos urbanos.
3. Crear una base de datos geoespacial con información de los acopios informales y empresas de tratamiento y valorización, para evaluar el potencial de aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México.
4. Realizar un análisis espacial de conectividad y flujo de materiales entre los acopios informales (AIN) y empresas de tratamiento y valorización.
5. Proponer un modelo de clúster territorial de valorización de residuos, aplicable en el Estado de México.
6. Validar el modelo propuesto utilizando escenarios posibles, con el objeto de evaluar su potencial de desarrollo.

1.4. Alcances

1. La zona de estudio abarca los 125 municipios que componen al Estado de México.
2. Con base en la información levantada en campo, se determinan y consideran los principales materiales comercializados.
3. Las variables utilizadas en el modelo abarcan factores geográficos, económicos, sociales y de manejo de residuos sólidos urbanos.
4. La precisión de la evaluación depende directamente de la disposición de información que entreguen las empresas, organizaciones e instituciones municipales y estatales.

1.5. Metas

1. Recabar información para el diagnóstico del manejo y valorización de residuos sólidos urbanos en la zona de estudio.
2. Generar una base de datos geoespacial de los actores involucrados en la valorización de materiales reciclables en la región de estudio.
3. Plantear una metodología para aplicación de clúster de valorización de residuos sólidos urbanos en la zona de estudio.
4. Evaluar el modelo clúster enfocado a la valorización de residuos sólidos urbanos utilizando un escenario base (situación actual) y un escenario proyectado.
5. Determinar el impacto de la valorización de residuos sólidos urbanos en el desarrollo regional de un grupo de municipios.

2. El manejo de los residuos sólidos urbanos en México

2.2. Aspectos históricos de la gestión y manejo de residuos sólidos urbanos

Para comprender de mejor manera el desarrollo del manejo de los residuos sólidos urbanos en México, es necesario conocer un poco del desarrollo histórico que ha tenido a través del tiempo.

Los problemas y desafíos que ha debido enfrentar el buen manejo de los residuos sólidos no es nuevo en México, ya que el padre Francisco Xavier Clavijero afirma que:

“Bajo el gobierno de Moctecuhzoma Xocoyotzin, en las ciudades no había una sola tienda de comercio, no se podía vender ni comprar fuera de los mercados, y por lo tanto, nadie comía en las calles ni tiraban cáscaras ni otros despojos. Había más de mil personas que recorrían la ciudad recogiendo la basura que hubiera tirada; dicen los cronistas que el suelo no ensuciaba el pie desnudo, además los habitantes estaban habituados a no tirar nada en la calle” (Ortiz, 1978: p.6).

De acuerdo a Llanas *et al.* (1996) en esa época los residuos ya eran reutilizados. Respecto a esto, los autores comentan lo siguiente:

“El servicio público de iluminación a base de grandes braseros tiene una doble finalidad: quemar los desperdicios combustibles y dar una solución al problema de acumulación de basura, lo que en esa época en ciudades refinadas de Europa aún no existía.

Por otro parte los residuos biodegradables eran generalmente enterrados en los patios de las casas o se destinaban a ser utilizado por animales, o cuando eran excedentes mayores se enterraban en las afueras de la ciudad en zonas sólidas” (Op. Cit.: p.30).

Estos mismos autores comentan que en esa época se rendía culto a Tlazoltéotl, diosa de la basura, la inmundicia y la lujuria. Con la llegada de los españoles el problema de la basura se tornó un aspecto asociado a los muladares o lugares sucios, por lo cual se debieron tomar medidas para su manejo adecuado:

Ortiz (1978) comenta que en la época colonial, alrededor de 1787:

“Las calles de México se encontraban intransitables por el desaseo, que al menor descuido ensuciaba los pies de los transeúntes y se pasaban muchos meses sin que fueran barridas y los caños estaban llenos de pestilentes lodos; excepto en una que otra calle, veíanse en todas muladares y de mayores proporciones en las casas de vecindad, pues arrojaban la basura a la calle y nadie la recogía.

Debido a lo anterior, Revillagigedo (Virrey de Nueva España) estableció que la basura fuera recogida por carros, con lo que se evitó que subsistieran los muladares en las calles.

Revillagigedo hizo también que los reglamentos municipales se llevaran a cabo para que se barrieran y regaran las calles, con lo que se impulsó el aseo y limpieza en la ciudad” (Op. Cit.: p. 7).

Fue hasta el año 1824 que el coronel del ejército Melchor Múzquiz, encargado de una de las provincias de la capital, estableció las primeras pautas para la recolección domiciliaria (numeración de los carros, rutas de recolección determinadas y tocar la campanilla antes de pasar por las calles), actividades que se siguen observando hasta nuestros días (Castillo, 1990).

En el año 1884 la cobertura del servicio de limpia se veía limitada debido al extenso radio de la ciudad. A esto se le sumaba que el tiradero se encontraba en un extremo de la ciudad lo cual limitaba el número de viajes de los carros. Con el fin de hacer frente a esta situación se les encargo a los ciudadanos Inspectores de Policía que se hicieran cargo de ese ramo del servicio municipal en sus respectivas demarcaciones. Para tal efecto, y mediante un dictamen de las comisiones unidas de Hacienda y Limpia aprobada por el Ayuntamiento, se repartieron los carros y mulas entre los ciudadanos Inspectores.

Este nuevo sistema de hacer la limpia, ha producido los mejores resultados, notándose ya el buen servicio en la ciudad y sin duda será mucho mejor pasado algún tiempo (Op. Cit.: p. 11).

Para el primer año, el Servicio de Limpia contaba con 83 carros, 43 pipas y 136 mulas. Dos años más tarde, en 1886, el servicio de limpia estaba compuesto por 357 peones, 13 camiones recolectores y 70 carretas tiradas por mulas, los que recolectaba un volumen diario de 700 toneladas de residuos al día (Castillo, 1990).

Aunque a principios de 1900 se comenzó a levantar la primera información estadística referida al servicio de limpia, la cual permitía una visión somera de la situación en que operaba el servicio, hasta la década de los 1990 del siglo XIX, se continuaban utilizando los mismos rubros estadísticos en los reportes diarios de labores de aquella época (Castillo, 1990).

En 1936 el Servicio de Limpia pasó a formar parte de la Dirección de Servicio Generales, compuesta por 2500 elementos. Además, se contaba con camiones de volteo y vehículos con caja cilíndrica, especialmente diseñada para llevar a cabo las actividades de recolección de residuos.

A partir del año 1972 se acordó que las delegaciones tomaran a su cargo el servicio de limpia, subdividiéndose en 30 sectores, abarcando las tareas de barrido manual, barrido mecánico y la recolección domiciliaria (Castillo, 1990). En la misma década se crea la primera Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente (Cortinas, 2004).

En 1980 se crea la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, y como resultado a este impulso en el tema ambiental, en 1988 se publica en el Diario Oficial la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). En ella se establecen atribuciones desde el punto de vista del Gobierno Federal, como la emisión de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) así como establecer reglas técnicas para el almacenamiento, recolección, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos (RSU). De igual forma plantea que la gestión y manejo de residuos sólidos no peligrosos quedan bajo la normatividad estatal, o en su caso municipal.

Cabe señalar que la LGEEPA sirve de marco de referencia para la creación de los Bandos de Policía y Buen Gobierno, así como guía para los reglamentos de limpia municipal.

Ya en el 2003 se publica la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (LGPGIR) (SEMARNAT, 2012). En la ley se establecen los tipos de residuos por categorías, con el fin de crear inventarios a los que se encuentren sujetos a planes de manejo. Lo anterior tiene como finalidad conocer su generación, tratamiento y disposición final que permita su manejo seguro para la población y el ambiente.

En el año 2012 se publica el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Este toca los aspectos más relevantes de la gestión y manejo de los residuos sólidos a nivel nacional. En dicho diagnóstico, se recaba datos oficiales duros a nivel nacional y estatal respecto a la generación, composición y cantidad (en porcentaje respecto al peso total).

Actualmente, en muchos municipios el sistema de manejo de residuos es ineficiente y rudimentario (Buenrostro y Bocco, 2003; Ojeda y Beraud, 2003; Arias *et al.*, 2001). Las autoridades responsables del aseo público en los municipios enfrentan un gran desafío y no siempre cuentan con las herramientas y los recursos necesarios para solucionar la problemática asociada con la gestión de sus basuras (Verduzco y García, 2001; Rangel, 2003).

Los esfuerzos del gobierno por industrializar los desechos sólidos han sido escasos y sin mayor trascendencia. La Planta Industrializadora de Desechos Sólidos (PIDS) que construyera el Departamento del Distrito Federal (DDF) en 1974 para procesar 500 ton/día de basura dando empleo a poco más de 80 personas, fue un fracaso, nunca llegó a trabajar a su máxima capacidad; el resto es tema conocido: falta de mantenimiento, rapiña, mala administración (Castillo, 1983). Actualmente existen 241 centros de acopio declarados en todo el país (INEGI, 2011), en los cuales se recuperan diariamente 183 toneladas de materiales, de un total de 86,342 que se recolectan diariamente, o sea que se valoriza solo el 0.2% de los materiales contenidos en los residuos sólidos urbanos recolectados.

Ante este escenario, la SEMARNAT plantea la prevención y gestión integral como un mecanismo que busca fortalecer, a nivel federal, estatal y municipal, el manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU) y los residuos de manejo especial (RME), mediante un incremento en las capacidades operativas y de infraestructura de recolección, separación, reciclaje y aplicación de tecnologías que permitan un máximo aprovechamiento de estos residuos.

Actualmente la gestión integral de los residuos sólidos contempla acciones de educación ambiental orientada a impulsar un manejo diferenciado de los residuos para que sean separados desde la fuente generadora. Esto significa que el sistema de recolección de residuos debe orientarse a recolectarlos ya separados y a mantenerlos así en diferentes tipos de compartimentos, con el fin de transportarlos a plantas de separación de residuos o a una de las siete plantas de compostaje en la Ciudad de México (Bernache, 2006; Sánchez *et al.*, 2016).

Sin embargo, la visión institucional plantea la imposición de un sistema para la resolución de un problema, sin considerar que las costumbres y educación de la población respecto al manejo de los residuos varían dependiendo de las zonas en una ciudad. Frente a esto, es posible que un mismo programa público tenga diferentes resultados para distintas zonas de una ciudad o región.

Por lo anterior, se entiende que un programa de manejo y valorización de residuos debe adecuarse a la realidad de cada zona, localidad o espacio territorial, con el fin de incrementar su eficacia.

2.3. Disposición de los residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México y la zona conurbada

Para comprender de mejor manera las dinámicas de manejo de residuos en el Estado de México, es fundamental definir su interrelación con la Ciudad de México (CDMX)². Por lo anterior definiremos en este estudio como “Zona Conurbada de la Ciudad de México” a las 16 alcaldías que componen la Ciudad de México, los 59 municipios del Estado de México y uno del Estado de Hidalgo.

La expansión de la Ciudad de México en el último siglo ha incidido directamente en el destino de los residuos producto de su metabolismo urbano, ya que a medida que la mancha urbana se expande, los sitios de disposición final se alejan y con ellos las dinámicas económicas asociados a estos.

En la década de los ´40 del siglo XX, el entonces Distrito Federal, presentaba un crecimiento muy acelerado debido a la industrialización, y a una gran migración de zonas rurales. A principios de esta década se estableció que los residuos debían ser reciclados o industrializados, ya que contaminaban el aire, el suelo y el agua. Por otra parte, se decidió que los tiraderos de basura quedarían lo más apartado de la ciudad (Mora, 2004). En esta década la ciudad contaría con dos tiraderos: el de Santa Cruz Meyehualco en la Delegación Iztapalapa y el tiradero de Santa Fe.

En el período comprendido entre 1950 y 1980, el crecimiento urbano rebasó los límites del antiguo Distrito Federal (hoy Ciudad de México), generándose una expansión hacia el norte de la ciudad, abarcando el municipio de Tlalnepantla, para la década del ´50, y los de Naucalpan, Chimalhuacán y Ecatepec de Morelos para la década del ´60 (Sánchez, 1996).

En 1983, el Departamento del Distrito Federal decide la clausura y el saneamiento del tiradero de Santa Cruz Meyehualco. La clausura de este tiradero impulsó el desarrollo y la creación de otros destinos para los residuos generados en la ciudad como Santa Catarina, San Lorenzo Tezonco, Tláhuac, Milpa Alta, Tlalpan y Bordo Xochiaca. Sin embargo, la clausura de estos tiraderos comenzó hasta principios de 1985, donde también se incluía la clausura del tiradero de Santa Fe.

Ya en 1991, los residuos de la Ciudad de México se disponían en tres rellenos sanitarios: Bordo Poniente, ubicado en una zona federal del antiguo lago de Texcoco; Prados de la Montaña, ubicado en Santa Fe dentro de la Delegación Álvaro Obregón, y Santa Catarina, ubicado a un costado de la carretera México-Puebla.

En el 2015, son tres los destinos en el Estado de México autorizados para disponer los residuos sólidos urbanos generados en la Ciudad de México: Cuautitlán Izcalli, los sitios de disposición final ubicados en Ixtapaluca (La Cañada y El Milagro) y Chicoloapan (CMM³, 2015).

² Cabe señalar que en el año 2016 el Distrito Federal cambia de nombre a Ciudad de México, elevando su rango a entidad federativa gozando de autonomía política y administrativa. Así mismo las 16 delegaciones pasaron a convertirse en Alcaldías.

³ Centro Mario Molina (CMM).

2.4. Generación y manejo actual de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México

2.4.1. Generación de residuos sólidos

El Estado de México está constituido por 125 municipios, siendo el estado con mayor población, con 15,175,862 habitantes en el 2010⁴. De acuerdo al “*Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2012*”, en el Estado de México se generaron 14,970 toneladas de residuos sólidos urbanos al día en ese año. Para el año 2014 se reporta una generación de 16,353 toneladas al día (CMM, 2015), considerando residuos sólidos urbanos y de otras fuentes (comerciales e instituciones públicas), lo que representa un incremento de un 9,2% en tan solo dos años.

La cantidad de residuos sólidos urbanos generada en el Estado de México, respecto a otras entidades de la región se presenta en la figura 1.1.

2.4.2. Manejo de residuos sólidos

De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), un bien se convierte en residuo cuando pierde el valor o la utilidad para el cual lo adquirió, almacenándolo generalmente en una bolsa para luego sacarlo de su casa. Los destinos comunes para la bolsa son: la calle, un terreno baldío, entregarla a un camión recolector o entregársela directamente al barrendero a cambio de una compensación económica (Castillo, 2011).

En la Figura 2.1 se muestra a un barrendero en el municipio de La Paz, Edo. de México. Se puede observar cómo alrededor del carro, compuesto por dos tambos sobre una plataforma con ruedas, se disponen bolsas para la juntar los materiales valorizables, como cartón, plásticos y latas de aluminio.



Figura 2.1. Barrendero en el municipio de la Paz, Estado de México.

Fuente: Propia, 2013.

⁴ INEGI, Censo general de población y vivienda 2010.

El carro del barrendero tendrá como fin el camión recolector, donde los ayudantes del chofer, conocidos como “macheteros” (pagados por el municipio), y los “voluntarios” (no reciben paga específica por parte del municipio) se dedican a separar, recuperar y acopiar los materiales (botellas de vidrio, alimento, muebles, fierro, cartón, papel, plástico, etc.) sobre el camión o en bolsas industriales alrededor de este, para luego venderlos en algún centro de acopio o negocio de “compra de desechos industriales” (Castillo, 2011).

En la Figura 2.2 se muestra un camión de recolección del municipio de Temoaya, Estado de México. En la figura se puede observar el acopio de materiales, utilizando distintos tipos de bolsas, alrededor de vehículo y sobre él.



Figura 2.2. Acopio de materiales en camión recolector en el municipio de Temoaya.

Fuente: Propia, 2013.

Los lugares donde finalmente se comercializan los materiales recuperados se conocen como recicladoras, y se definen como todas aquellas empresas (de distinto tamaño, pudiendo ser formales o informales) que se dedican a recolectar, procesar y restituir la materia prima al principio de la cadena de producción para su reciclaje (García, 2012). En la Figura 2.3 se muestran dos tipos de centros de acopio de materiales, formal e informal.



Figura 2.3. Centro de acopio informal en Nezahualc6yotl (a) y formal en Ixtapaluca (b).

Fuente: Propia, 2013.

Una vez que el camión de recolección termina su ruta y ha vendido los materiales recuperados, dispone los residuos en un sitio de disposición final ya convenido por el municipio. En este lugar también se llevan a cabo actividades de pepena de manera informal. Si bien a esta altura la cantidad de materiales valorizables por camión es mucho menor, se aprovechan las ventajas de los grandes volúmenes que se disponen para hacer de esta una actividad rentable. En la Figura 2.4 se muestra a un grupo de pepenadores en el relleno sanitario de Nezahualc6yotl realizando actividades de acopio de materiales.



Figura 2.4. Pepenadores en el sitio de disposición final de Chiconautla, municipio de Ecatepec.

Fuente: Propia, 2013.

Con el fin de determinar los elementos de interés para este estudio, que componen la cadena de valorización de los RSU, se presenta en la figura 2.5 un diagrama de flujo de manejo, recuperación y valorización de los RSU.

En la figura 2.5 se puede observar que la recuperación de materiales se realiza en cuatro puntos: en la etapa de generación, en la pepena realizada en la etapa de recolección, en las plantas de separación y en el sitio de disposición final (principalmente en los tiraderos a cielo abierto). Los materiales recuperados son vendidos a distintos centros de acopio (Castillo, 2005).

Cada acopio determina el periodo de venta de los materiales, de acuerdo a su capacidad económica y de espacio, los cuales son transportados, ya sea por vehículos propios o rentados, a los grandes centros de tratamiento y valorización. En estos centros, en la mayoría de los casos, los residuos

plásticos son triturados, lavados, separados, secados y almacenados, en hojuelas o *pellets*, para ser vendidos como materia prima a las empresas manufactureras (García, 2006). Las empresas manufactureras, utilizan distintos porcentajes de material valorizado para la producción de fibras textiles, resinas, botellas, láminas y flejes, entre otros. Finalmente, estos productos ingresan nuevamente a la cadena industrial de consumo.

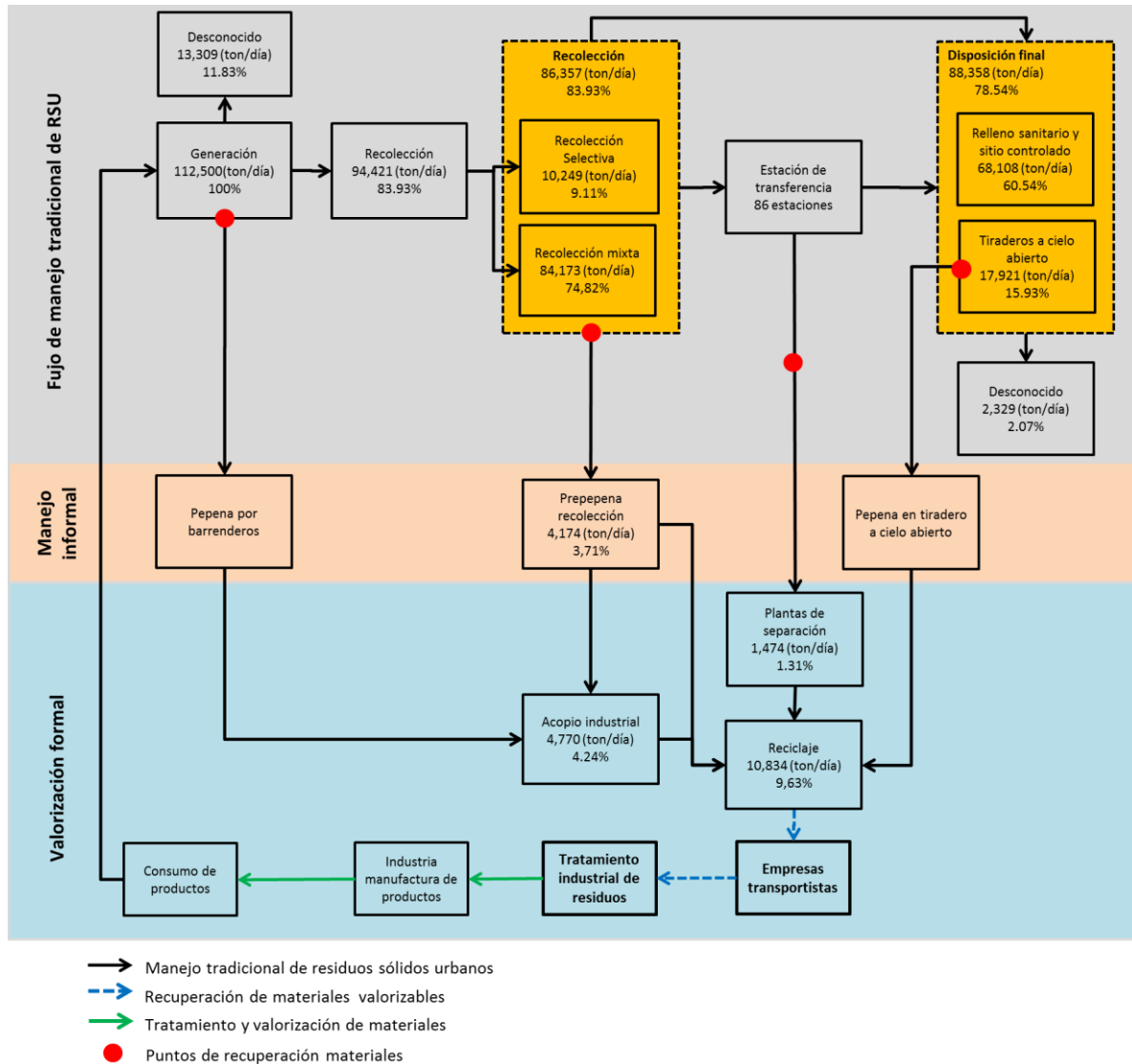


Figura 2.5. Diagrama de flujo de los residuos sólidos urbanos.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SEMARNAT, 2012.

El diagrama de flujo presentado en la figura 2.5, muestra que además del flujo de manejo tradicional de RSU, deben ser considerados al momento de tomar decisiones, al sector formal e informal involucrados en la valorización de los residuos.

2.4.3. Situación de la valorización de materiales contenidos en los residuos sólidos urbanos

Actualmente la recuperación, tratamiento y reincorporación de materiales reciclables a las cadenas productivas de manufactura está recibiendo una atención creciente, muchas veces por la misma

industria que las generó y por las empresas de reciclado (o valorización), en la medida que puedan aportar o sustituir materias primas a bajo costo.

De acuerdo a la LGPGIR, cuando hablamos de tratamiento de los residuos no referimos a la transformación de los residuos mediante un proceso biológico, químico, físico o térmico. De igual manera el concepto de valorización se refiere al aprovechamiento de los materiales como insumos en actividades productivas.

De acuerdo a Quadri *et al.* (2003), el valor de los materiales recuperados, aprovechados y reincorporados como insumos a diferentes procesos ha sido estimado en alrededor de 16.8 millones de pesos diarios, a nivel nacional.

En la figura 2.6 se muestra el incremento (y en algunos casos decremento) en las cantidades de materiales recuperados anualmente en México.

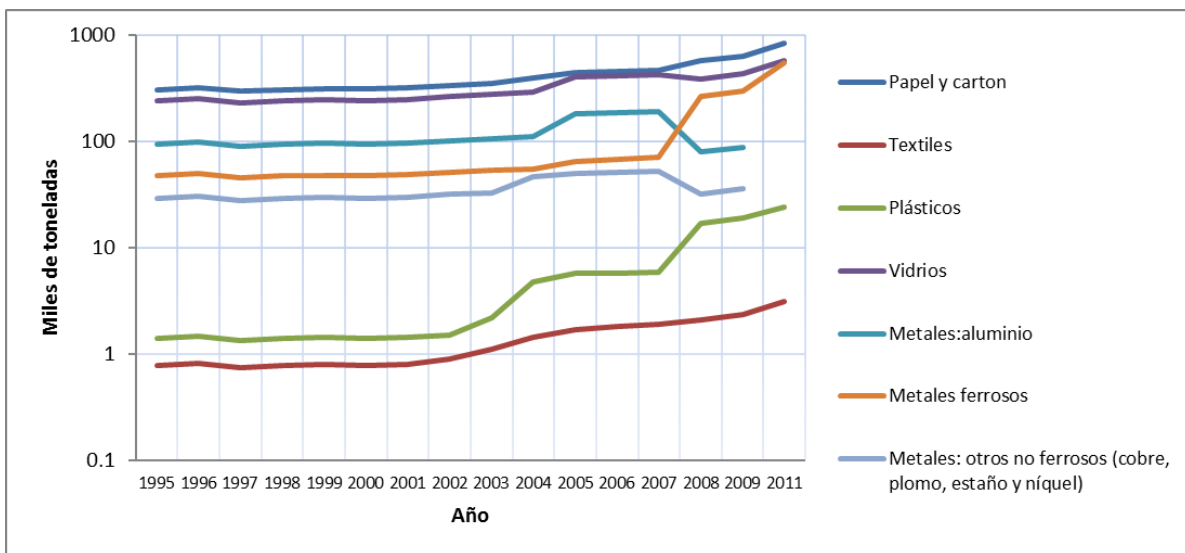


Figura 2.6. Recuperación anual de materiales valorizables contenidos en los residuos sólidos urbanos, expresada en miles de toneladas anuales por material.

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, 2012.

De acuerdo con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos 2012, la fracción susceptible de aprovechamiento es del 39.6% respecto al total de subproductos.

Materiales como el papel y el cartón representan, en peso, el 32.2% de la fracción valorizable contenida en los RSU. De igual manera, el vidrio representa el 16.6% del total de subproductos susceptibles de aprovechamiento.

Respecto a la fluctuación en la cantidad de subproductos recuperados anualmente entre los años 2000 y 2011 (ver figura 2.6), el mayor incremento lo podemos observar en los plásticos, con 1,243%, seguido de los metales no ferrosos, con 517%, y los textiles con 200%. El aluminio muestra una variación negativa del -7% entre los años considerados.

De acuerdo al DENU (INEGI 2010) el total de centros de acopio a nivel nacional, el total de unidades dedicadas al comercio al por mayor de residuos valorizables, con un tamaño de establecimiento mayor a 10 empleados, es de 647 en todo México.

Por otro lado, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha debido recurrir a distintos estudios de la Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN) para recopilación de datos. Se contó con la información entregada por concesionarios, como Proactiva Medio Ambiente, para determinar los porcentajes de eficiencias de algunas plantas privadas.

A continuación, en la tabla 2.1 se presentan solo las plantas que, a nivel nacional, reportan eficiencia.

Tabla 2.1. Tasas de eficiencia de las plantas de selección de materiales valorizables en México.

Ubicación	Ingreso a la planta (ton/día)	Salida a la planta de reciclables (ton/día)	Eficiencia recuperación de productos (%)
Guadalajara, Jalisco	90	5	5.56
Apocada, Nuevo León	3000	65	2.17
Naucalpan, Edo. De México	40	1.19	2.98
Nicolás Romero, Edo de México	300	73.8	24.60
Santa Catarina, D.F.	4500	450	10.00
Querétaro, Querétaro	29.27	3.24	11.07
Puebla, Puebla	60	1.80	3.00

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, 2012.

La eficiencia promedio de este tipo de instalaciones, de acuerdo con la tabla 2.1, no supera el 9% respecto al total de residuos. Debe tomarse en cuenta que los bajos rendimientos se deben a que en muchas ocasiones, los residuos vienen pepenados por el sistema de recolección. De igual manera, no todos los materiales son recuperados, dependiendo de la demanda en el mercado de cada uno.

2.5. Marco conceptual y legal del manejo de los residuos sólidos urbanos en México

2.5.1. Definiciones

Es importante conocer el contexto legal que regula el manejo de los residuos para situar, en una perspectiva adecuada, las normas que guían la estrategia en materia ecológica (Restrepo, 1991).

La definición jurídica de residuos sólidos también es relevante dado que en una ciudad se producen diversos tipos de residuos cuyos modos de tratamiento se distancian considerablemente unos de otros, como los de tipo domésticos peligrosos, que reciben un tratamiento completamente diferente (Léonard *et al.*, 1989).

Una correcta clasificación de los residuos, permite definir de mejor manera el tipo de manejo y tratamiento que se le debe dar a cada material recuperado. Esta clasificación se basa por lo general en la identificación y similitud en las características físicas, químicas y biológicas de estos. Las

definiciones que se presentan a continuación son las que se consideran en la legislación mexicana en sus diferentes ordenamientos.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 28 de enero de 1988 (últimas reformas publicadas el 5 de junio del 2018), en su artículo 3º fracción XXXII y la Ley Ambiental del Distrito Federal, en su artículo 5º, definen el término residuos como:

Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permite usarlo nuevamente en el proceso que se generó.

Por otro lado, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, publicada el 8 de octubre del 2003 (últimas reformas publicadas el 19 de enero de 2018), en su artículo 5º fracción XXIX, entrega una definición para el término residuos:

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 conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.

Es en este artículo donde se menciona la posibilidad de valorizar los residuos sólidos urbanos.

2.5.2. Competencias

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) define la competencia legal a nivel federal, estatal y municipal, en materia de residuos, en sus artículos 7º, 9º y 10, respectivamente. A continuación, se presenta la tabla 2.2 con las atribuciones en cada orden de gobierno.

Tabla 2.2. Atribuciones establecidas en la LGPGIR por orden de gobierno.

Orden de Gobierno	Atribuciones marcadas en la LGPGIR
Federal	I. Formular, conducir y evaluar la política nacional en materia de residuos así como elaborar el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
	II. Expedir Reglamentos y NOM para regular el manejo integral de los residuos peligrosos para determinar que residuos están sujetos a planes de manejo.
	III. Autorizar el manejo integral de los residuos peligrosos, así como la prestación de los servicios correspondientes.
	IV. Coadyuvar con las entidades federativas para la instrumentación de los programas para la prevención y gestión integral de los residuos.
Estatad	I. Formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar los programas en materia de residuos de manejo especial.
	II. Expedir los ordenamientos jurídicos que permitan darle cumplimiento conforme a sus circunstancias particulares, en materia de manejo de residuos de manejo especial, así como de prevención de la contaminación de sitios con dichos residuos y su remediación.
	III. Autorizar el manejo integral de residuos de manejo especial, e identificar los que dentro de su territorio puedan estar sujetos a planes de manejo.
	IV. Autorizar y llevar a cabo el control de los residuos peligrosos generados o manejados por microgeneradores.
Municipal	I. Formular, por sí o en coordinación con las entidades federativas, y con la participación de representantes de los distintos sectores sociales, los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, los cuales deberán observar lo dispuesto en el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos correspondiente.
	II. Emitir los reglamentos y demás disposiciones jurídico-administrativas de observancia general dentro de sus jurisdicciones respectivas, a fin de dar cumplimiento a lo establecido en la presente Ley y en las disposiciones legales que emitan las entidades federativas correspondientes.
	III. Controlar los residuos sólidos urbanos.
	IV. Prestar, por sí o a través de gestores, el servicio público de manejo integral de residuos sólidos urbanos, observando lo dispuesto por esta Ley y la legislación estatal en la materia.
	V. Establecer y mantener actualizado el registro de los grandes generadores de residuos sólidos urbanos.
	VI. Verificar el cumplimiento de las disposiciones de esta Ley, normas oficiales mexicanas y demás ordenamiento jurídicos en materia de residuos sólidos urbanos e imponer las sanciones y medidas de seguridad que resulten aplicables.
	VII. Efectuar el cobro por el pago de los servicios de manejo integral de residuos sólidos urbanos y destinar los ingresos a la operación y el fortalecimiento de los mismos.

Fuente: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2003.

Como se puede observar en la tabla 2.2, SEMARNAT publica el “Programa Nacional para la prevención y gestión integral de los residuos (PNPGIR) 2017-2018” donde se establecen las directrices generales para la separación en la fuente, la reutilización y reciclado, valorización material y energética de los residuos. Además, en 2010 se publica el Directorio de centros de acopio de materiales provenientes de residuos en México. Este directorio solo hace mención de los centros de acopio y no de las empresas que se dedican a su tratamiento, transformación y comercialización, lo que genera un listado incompleto para lograr comprender el encadenamiento industrial de los materiales valorizados.

2.5.3. Marco legal

A nivel Federal, la gestión integral de los residuos sólidos urbanos se enmarca en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos de 2003.

Respecto al destino final de los residuos sólidos, la NOM-083-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

En el marco legal Estatal, trece de las 32 entidades federativas, además de contar con sus leyes con base en lo dispuesto en la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos, cuentan con su reglamento, lo que permite de mejor manera su aplicabilidad, definiendo responsabilidades, medidas de inspección, vigilancia, multas, entre otros aspectos. De los 32 estados, tres han elaborado normas técnicas ambientales. De las cinco normas elaboradas, solo dos tienen relación directa con el tema de acopio y valorización. En la tabla 2.3 se muestran las Normas Técnicas Ambientales Estatales asociadas a la separación y valorización de materiales reciclables en México.

Tabla 2.3. Normas Técnicas Ambientales Estatales referidas a la separación y valorización de residuos sólidos urbanos.

Entidad	Código	Descripción	Año de publicación
Estado de México	NTEA-006-SMA-RS-2008	Norma Técnica Estatal Ambiental que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos	2006
	NTEA-010-SMA-RS-2008	Norma Técnica Estatal Ambiental que establece los requisitos y especificaciones para la instalación, operación y mantenimiento de infraestructura para el acopio, transferencia, separación y tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el Estado de México	2009
	NTEA-013-SMA-RS-2011	Norma Técnica Estatal ambiental, que establece las especificaciones para la separación en la fuente de origen, almacenamiento separado y entrega separada al servicio de recolección de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para el Estado de México.	2011
Ciudad de México	PROYNADF-020-AMBT-2011	Proyecto de Norma Ambiental para el Distrito Federal, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal	2012
Jalisco	NAE-SEMADES-007/2008	Norma Ambiental Estatal, criterios y especificaciones técnicas bajo las cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y valorización de los residuos en el Estado de Jalisco	2008

Fuente: SEMARNAT, 2012.

Dentro de legislación en la cual se pueden enmarcar las actividades de valorización y reciclaje están los Programas Estatales y Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PEPGIRS y PMPGIRS). Además, los ayuntamientos pueden emitir reglamentos, códigos y bandos municipales con el objeto de sustentar la gestión integral de los RSU.

De igual manera, desde un punto de vista de ordenamiento territorial, para el desarrollo de dichas actividades están los Planes Estatales y Municipales de Desarrollo Urbano. En los primeros se hace énfasis en el manejo integral de los RSU, la remediación y restauración de sitios alterados por la

disposición de estos, sin embargo, no se mencionan medidas que impulsen la valorización o aprovechamiento de los subproductos.

Por otra parte, existen diversos factores que inciden en la reducida infraestructura de valorización formal de manejo de residuos sólidos urbanos (IMCO, 2010): falta de continuidad en algunos programas municipales enfocados al reciclaje, no existe la cultura de pago del servicio de aseo, marco regulatorio carente de una visión intersectorial, falta de estrategias para incluir al sector informal, falta de instrumentos económicos y legales que promuevan la valorización, entre otros.

Aunado a esto, se debe considerar el rezago tecnológico, la ineficiencia institucional y la corrupción, que muchas veces confluyen en un escenario urbano, humano y de salud pública muy deteriorado.

2.6. Investigaciones acerca del tema de los clústeres en México

En los últimos años, se ha observado cómo el desarrollo de una empresa depende de muchos factores, no solo internos, sino también incide de manera importante el entorno regional. Dentro de los modelos que han permitido la cooperación de empresas que se desarrollan en el mismo ramo y que comparten una región geográfica, está el del clúster (García, 2012). Distintos autores concuerdan en que las empresas agrupadas en clústeres, potencian su actividad innovadora, elevan su productividad e incrementan la producción económica de la región.

Pocos son los casos documentados de clústeres de valorización de materiales reciclables en América Latina. Chung (2004) propuso un modelo que tiene como principales variables de salida la cantidad de residuos aprovechados y empleos generados. Sin embargo, en este modelo no se consideran variables espaciales ni territoriales, convirtiéndose en una herramienta de evaluación previa del proyecto.

Por su parte, en Argentina, Ruggiero (2011) realizó un diagnóstico de las empresas de valorización de residuos ubicadas en el Área Metropolitana de Buenos Aires, donde propuso un esquema de clúster y analizó las potencialidades de éste. Si bien en esta investigación no se consideran factores geográficos en el análisis, se pudo establecer que los clústeres son instrumentos que deben ser implementados de forma gradual, debiendo aprovechar la infraestructura existente. Por otra parte, concluye que se debe evaluar la implementación de nuevas unidades de valorización sobre las ya existentes en la región, con el objeto de no generar un rezago en la competitividad de las empresas sociales respecto a las capitalistas.

En México, la literatura sobre los clústeres no es muy cuantiosa, y se reduce aún más si consideramos el tema geográfico. Respecto al análisis del clúster en el tema de residuos sólidos se podría decir que es casi nula.

Sin embargo, Mercado y Moreno (2011) logran recabar los trabajos más relevantes realizados en México sobre el tema de los clústeres. Dentro de las líneas de investigación, destaca el trabajo de Unger y Chico (2004) el cual concluye, para el caso de la industria automotriz, que los factores de localización y ventajas económicas del clúster, explican de manera parcial su distribución espacial. Esto se debe a que empresas con grandes escalas de producción tiene mayor libertad de localización y no dependen de los recursos de infraestructura o humanos, ya que pueden ser fácilmente

demandados. Unger *et al.* (2003), destacan la importancia de alinear la educación local y las políticas públicas hacia las áreas industriales que se desean desarrollar, obteniendo una mano de obra de alta productividad y costo moderado.

En el libro “Globalización y clúster regionales en México: Un enfoque evolutivo” (Unger *et al.* 2003) plantea la relevancia de las economías industriales regionales como motor del desarrollo nacional, y los clústeres como herramientas endógenas de desarrollo regional.

En el trabajo de Lara *et al.* (2004), sobre el clúster de autopartes plásticas en el Estado de México, menciona que el análisis de clústeres puede realizarse a tres niveles: a) macro, donde se busca establecer los vínculos de un grupo industrial a una economía en su conjunto, b) meso, cuyo objetivo es establecer el conjunto de relaciones inter e intra-industriales y que corresponde a diferentes etapas en la cadena productiva de bienes similares, y c) micro, donde se busca identificar oferentes especializados en torno a un núcleo o más de empresas líderes.

Otro estudio interesante es el que realiza García (2012), donde evalúa el clúster de empresas que fabrican productos plásticos en Ciudad Juárez. Si bien se estableció la interrelación entre las empresas utilizando un mapa de redes, se concluye que existe una baja interdependencia y comunicación, desde el punto de vista de intercambio tecnológico, entre ellas. Al igual que en trabajos anteriores, el tema geográfico solo se abarca desde un punto de vista de ubicación. En su trabajo García (2012) menciona someramente el tema de valorización de materiales plásticos, por empresas recicladoras, sin embargo, no se mencionan las cantidades de material que reingresan a las cadenas productivas.

Con el objeto de comprender de mejor manera la visión de clúster desde un punto de vista geográfico, se presenta a continuación el desarrollo de la relación entre espacio geográfico y la aglomeración de empresas.

2.7. La aglomeración de empresas en el espacio geográfico

Si bien el concepto de “distrito industrial” nace en Italia de la mano del economista Giacomo Becattini, en el decenio de 1960, retoma los fundamentos socioeconómicos de otro economista inglés, Alfred Marshall (1842-1924); este concepto toma un nuevo auge, principalmente asociado al paradigma del desarrollo local (Sforzi, 1999). El espacio toma una nueva dimensión, donde observa una estrecha relación entre el concepto de clúster, acuñado por Michel Porter en la década de 1990 y la geografía (Cabrera, 2011).

A continuación, se describe la relación existente entre el espacio geográfico y el clúster, definiendo algunos modelos y elementos que lo componen. Dentro de los elementos de interés para este trabajo se pondrá especial atención a la innovación como ventaja competitiva.

2.7.1. El espacio geográfico

El concepto de espacio, como núcleo del saber geográfico, viene del latín *spatium*, que significa *todo lo que nos rodea*, lo cual tiene implícito la idea de extensión y amplitud. De acuerdo con Ortega (2000) este espacio contenedor y delimitado, que concuerda plenamente con la acepción moderna

de *raum* en alemán, es el núcleo del saber geográfico. Sin embargo, Kant en su obra *La geografía física* de 1756, considera que la geografía debe describir los fenómenos que se desarrollan en el tiempo y el espacio (Schaefer, 1988), atribuyendo por un lado singularidad y localización al espacio, y por otra la experiencia humana; sus relaciones, interacciones y los fenómenos generados a partir dicha experiencia en el tiempo.

Si bien el espacio ha tenido distintas connotaciones en el tiempo, a partir del siglo XX se pueden establecer dos enfoques claros: la geografía física, que busca explicar la interacción de elementos como el relieve, la geomorfología, el clima, el suelo y la vegetación; y la geografía humana, cuyo objeto de estudio es el individuo y la sociedad a la que pertenece, cómo desarrolla, construye y vive su espacio (Vargas, 2012).

La corriente determinista de Federico Ratzel (1914), la cual establecía que el ser humano y las sociedades son un objeto del medio natural y su destino está regido por el medio geográfico, se ve enfrentada a la propuesta emancipadora de Eliseo de Reclus (1965), representante de la geografía socialista francesa, quien propone una construcción y reconstrucción del espacio en una acción combinada entre el componente físico y las personas.

Estas múltiples posibilidades que entrega el espacio geográfico permiten al hombre ser creador de su destino, por ello Lucien Febvre denomina esta perspectiva como posibilismo (Vargas, 2012). Vidal de la Blache retoma esta idea y define que los grupos sociales, representados por tradiciones y costumbres, se adaptan y desarrollan en el medio geográfico. Esta unidad espacial es lo que él define como región, convirtiéndose en el principal objeto de estudio de la geografía, en la primera mitad del siglo XX. La región está conformada por unidades espaciales homogéneas, propias y únicas, permitiéndole funcionar de manera armoniosa. Los estudios regionales se vieron reforzados por la visión imperialista de los países europeos en África, la cual basada en estudios climáticos, descripción de especies vegetales, relieve, suelo y principalmente minerales, no tenía otro propósito que conocer las riquezas en recursos naturales y fortalecer el comercio de los países metrópoli con las colonias (Vargas, 2007).

Por su parte, la geografía analítica, que surge tras la segunda guerra mundial, centra su interés en la relación que se produce entre los distintos puntos y objetos del espacio, donde se forman y distribuyen distintos fenómenos sociales (Ortega, 2000).

Hettner (1982), en su estudio de 1927 titulado “La naturaleza de la geografía y sus métodos”, se adelantó casi medio siglo al dar a conocer el concepto de ordenamiento territorial, donde establece que la geografía no puede estudiar la naturaleza y al hombre por separado, sino que debe analizarla como un todo, ya que forman parte de la caracterización de una región. Además, el método no debe centrarse en la distribución local de diversos objetos, sino que fija su atención en la organización del espacio y en el carácter de las regiones y localidades.

Nace entonces la pregunta del geógrafo analítico ¿Por qué ciertas distribuciones espaciales están estructuradas de una determinada forma? En este espacio compuesto de redes, flujos y agrupaciones, es posible establecer relaciones utilizando herramientas de análisis espacial con el fin de comprender la organización de los fenómenos de las poblaciones o grupos sociales (Ortega,

2000). Santos (2000) plantea que dentro del *corpus* de la geografía se fusionan actores sociales y condiciones locales que generan redes que se integran y disuelven en el espacio-tiempo.

De ese espacio complejo nace la región, como expresión de procesos diversos y del espacio abstracto. De acuerdo con Torres *et al.* (2008) el territorio, el espacio y la región confluyen en lo que se entiende como formación regional. Esta formación regional está igualmente delimitada y nace de dinámicas históricas, de búsqueda de identidad cultural y cohesión social. Por lo anterior, es necesario interpretar de manera adecuada la vocación económica y social del territorio con el objeto de evaluar su capacidad para el desarrollo de determinados proyectos productivos.

2.7.2. El espacio económico

Toda actividad económica se desarrolla en el espacio, lo que implica que las decisiones económicas del Estado, las empresas, los consumidores, los obreros y demás componentes se lleva a cabo teniendo en cuenta la localización geográfica y las distancias entre las regiones (Salguero, 2006). Actualmente existe una fuerte relación de la economía local con la global, manifestándose de diferentes maneras, como por ejemplo en la creación de áreas de innovación urbana o rural, la aparición de “Estados-región” vinculados con circuitos económicos locales, entre otros.

Surge una nueva forma de ver el espacio, donde se concibe el desarrollo socioeconómico, el comercio, la tecnología, la competitividad y las actividades productivas. Esto afecta directamente la distribución de la población y la integración física del territorio.

Este desarrollo económico local viene a resaltar los valores territoriales, de identidad, diversidad y flexibilidad. Entenderemos como desarrollo económico local *el proceso de crecimiento y estructural que conduce a incrementar el bienestar de una localidad o región.*

Esta nueva visión retoma la propuesta de Marshall (1920), quien establece como unidad de estudio del desarrollo económico una entidad de base territorial (Alburquerque, 2004). Esto obliga a considerar la organización industrial como un sistema complejo, compuesto por una red de empresas que operan dentro de un territorio o espacio de desarrollo económico.

Dentro de los factores que permiten el desarrollo económico podemos encontrar las economías de escala y las economías externas (Salguero, 2006). Se debe considerar que gran parte de las empresas pertenecen a una economía externa general, que corresponde al grupo de empresas de una cadena productiva vertical, y a una economía externa local, donde se agrupan las empresas de una cadena productiva horizontal, ubicadas en el territorio o espacio económico del clúster (Sforzi, 1999; Porter, 2000).

Si bien las empresas que se encuentran fuera de los límites espaciales del clúster no gozan de los privilegios de la concentración espacial, pertenecen a la red de contactos y permiten que las relaciones comerciales se solidifiquen (Cabrera, 2011). Por lo anterior, la conectividad terrestre entre los clústeres y otros puntos de desarrollo económico cobra gran relevancia, ya que los costos asociados al transporte repercuten directamente sobre los materiales comercializados.

Otros factores relevantes para el desarrollo económico son el desarrollo tecnológico, la competitividad y la innovación, que en su conjunto desempeñan un papel determinante en la teoría

del desarrollo regional. De acuerdo con Porter (2000) las instituciones educativas asumen un papel sumamente importante al proveer de capital intelectual, innovación y desarrollo tecnológico, así como de capacitación para los empleados.

Esta propuesta rompe con la definición inicial de clúster, ya que las ventajas de éste van mucho más allá que únicamente la concentración espacial, como por ejemplo el incremento de la competitividad basadas en la innovación tecnológica e I+D (Investigación y Desarrollo). Porter (2000) redefine el rango de operación del sistema, pudiendo variar su escala al incluir la visión internacional. Esta propuesta permite pasar de un sistema cerrado o local (especialmente hablando), a uno semiabierto, donde la inclusión y el desarrollo basado en el *networking* (o red de contactos) permiten que la red de empresas traspase las fronteras nacionales.

Queda destacar entonces el papel que desempeñan los clústeres en el desarrollo de las economías locales, al acercar la inversión, potenciar los mercados e incrementar las ventajas competitivas mediante la innovación en el sector.

2.7.3. El fenómeno de la aglomeración de empresas

Los esfuerzos por encontrar aquellos factores que inciden en la ubicación de las estructuras industriales, tienen una larga historia. En 1878, Albert Schäßle propuso los primeros modelos locacionales basándose en una analogía física, donde establecía que las industrias son atraídas por las ciudades, ya que ahí es donde se encuentra su mercado (Capel y Urteaga, 1994).

A principios del siglo XX, el trabajo de Marshall sobre distritos industriales, entregó las bases para la mayoría de las teorías propuesta en el tema de clústeres (Cuervo-García *et al.*, 2008), cuyo concepto es inherente a la zona geográfica donde se desarrolla, la cual mejora su eficiencia (Rocha, 2004). Sin embargo, debieron pasar 50 años para que resurgiera el interés en los conglomerados. Esta falta de interés se podría explicar, debido a que entre los años 1920 y 1960, el esquema de las corporaciones tenía una estructura principalmente vertical y se asumía un mercado predecible (Amin, 2000). Posterior a los años '70, los cambios políticos, económicos y tecnológicos inciden en los cambios de los modelos de organización industrial, específicamente en los modelos de producción (Cuervo-García *et al.*, 2008).

Por su parte, en la escuela Weberiana y Neo-Weberiana, cuyo auge abarcó de principios del siglo XX hasta los años 60, se pueden diferenciar dos corrientes principales: la primera cuyo centro de atención era determinar los factores de localización de una empresa, partiendo de las teorías de Alfred Weber; y la segunda buscaba plantear leyes que condujeran al equilibrio espacial, liderada por A. Lösch (Bustos, 1993). Dentro de los modelos elaborados por esta escuela, se establecía que los empresarios buscan la mejor localización para su fábrica permitiendo minimizar los costos totales y que el factor determinante de dicha ubicación son los costos de transporte. Esta dinámica se puede observar al cuantificar los centros de acopios, formales e informales, apostados en las áreas circundantes a algunos de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos más grandes, en el Estado de México.

Por otro lado, y desde un punto de vista más cuantitativo, Ortega (2000), establece que la “nueva” geografía analítica, la cual nace después de la segunda guerra mundial, pone su foco de atención en

el espacio como expresión geométrica de la actividad social. Esta definición de espacio es la adecuada para realizar el análisis de localización e interacción espacial desde un punto de vista geométrico, ya que permite establecer redes, flujos, agrupaciones, permitiendo definir su interrelación.

Si bien la definición de la nueva geografía analítica es una concepción funcionalista del espacio geográfico, acepta que los grupos sociales, mediante sus necesidades y procesos espaciales, sean capaces de determinar la organización del espacio y las estructuras que están en él. Esta capacidad analítica se ve potenciada en los años sesenta con la aparición de las primeras computadoras, permitiendo a los geógrafos cuantificar los fenómenos y procesos estudiados, lo que les permitirá descubrir leyes generales que expliquen la distribución espacial (Capel y Urteaga, 1994). Esta geografía cuantitativa se centrará en los problemas socioeconómicos, entre los que podemos encontrar: los sistemas y jerarquías urbanas, los factores de la localización industrial, la accesibilidad a áreas de mercados, las redes de comunicación, entre otros (Bosque *et al.*, 1983).

Scott (1988) explica el fenómeno de transformación de la cadena productiva industrial rígida hacia una forma de producción más flexible, donde la división de labores, la formación de economías externas, la disolución de un mercado rígido y la aglomeración espacial de la producción han permitido crear riquezas y evidentes ventajas espaciales, tanto en Estados Unidos como en Europa occidental.

La aglomeración de empresas, así como de cadenas productivas en el espacio, muestra que el funcionamiento de la economía está íntimamente relacionado con su organización geográfica (Mercado, 2011). Dentro de las ventajas adquiridas por la conformación de un clúster tenemos: el empleo de infraestructura común, acceso a *pools* de trabajo especializados, insumos de alta calidad (debido a la especialización productiva), experiencia acumulada y difusión del conocimiento, expresado en innovación y/o prácticas dinámicas de alta calidad (Rosenthal y Strange, 2004).

Este desarrollo analítico espacial propicia el nacimiento de los conglomerados industriales o clústeres, como respuesta a las necesidades y demandas de los centros urbanos, permitiendo el aprovechamiento conjunto de equipamiento y servicios, la reducción de costos de producción y de transporte (Capel y Urteaga, 1994). Sin embargo, la complejidad para modelar su ubicación debido a la gran cantidad de variables (incluyendo aspectos de intereses externos como los políticos) ha impulsado que los modelos descriptivos partan siempre de una base empírica.

Si bien el concepto de conglomerados o clústeres está asociado a la cercanía geográfica para aprovechar los efectos del factor de innovación y otras externalidades positivas (Audrestsch y Feldman, 2004), Porter y otros autores extienden la escala de áreas metropolitanas o ciudades, a espacios más grandes como condados o municipios. Frente a esta nueva visión espacial, Mercado (2011) plantea distintas interrogantes que pone en duda cuál es la escala geográfica apropiada para estudiar los clústeres ¿área metropolitana, ciudad, región, estado o región de estados para un país como México? Frente a esta interrogante y en la búsqueda de una respuesta, volvemos al concepto básico de clúster: *encadenamiento productivo geográficamente localizado*. Esta definición espacial nos abre las puertas al análisis espacial de los clústeres mientras se utilice una región definida.

2.8. Los clústeres geográficos

El concepto de especialización industrial por áreas geográficas fue planteado por Marshall (1920) en sus estudios en Inglaterra sobre distritos industriales. Décadas después, Porter publicó *“The competitive advantage of nations”* en 1998, retomándose el interés por los clústeres o conglomerados industriales, siendo los economistas, geógrafos y sociólogos quienes más han contribuido al desarrollo de estudios del tema (Salom, 2005; Cabrera, 2011).

De acuerdo con Porter (1998), quien acuñó el concepto, el clúster se define como “un grupo geográficamente próximo de compañías interconectadas e instituciones asociadas, en un campo particular, vinculadas por características comunes y complementarias, incluyendo empresas de productos finales o servicios, proveedores, instituciones financieras y empresas de industrias conexas”.

Tiene sus orígenes en el pensamiento capitalista y tiene como objetivo establecer una red de intercambio de información y conocimiento para potenciar su competitividad, aprovechando condiciones como aglomeración, economía de escala y disponibilidad de infraestructura, equipos especializados y servicio (Porter, 1998; Ramos, 1998; Ruggerio, 2011). En la figura 2.7 se presenta un esquema general del modelo de clúster aplicado en una región geográfica, en la cual se pueden observar las bases sobre las cuales se sustenta el modelo (recursos humanos, tecnología, recursos financieros y tecnología de información) y la interacción y fortalecimiento de factores como la asociatividad, la colaboración y el capital social.

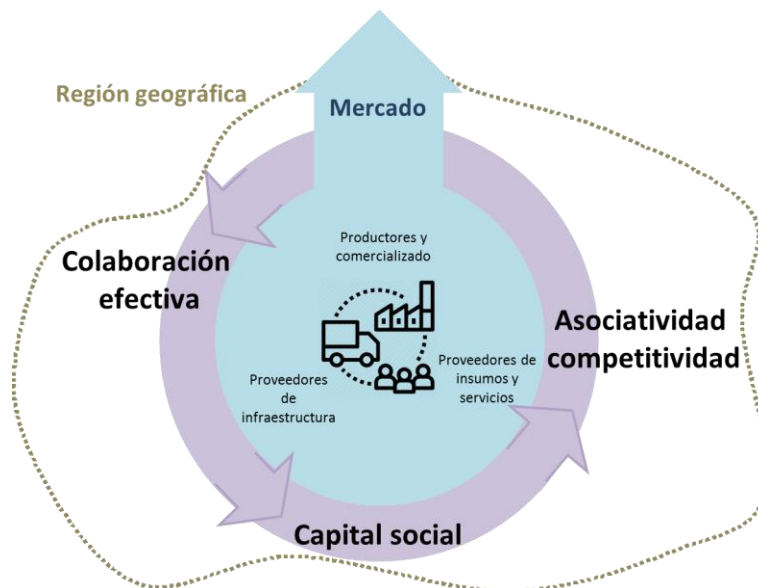


Figura 2.7. Esquema general de un clúster aplicado a una región geográfica.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien el clúster industrial como concepto tiene un marcado acento en lo económico, el cual se basa en la competitividad para posicionarse como grupo de empresas altamente productivas en el mercado mediante la colaboración mutua (Cabrera, 2011), existe una visión que proviene de la sociología geográfica, la cual señala que el potencial del clúster nace de los intercambios en la red

de relaciones sociales (Lazerson, 1995). Esta red va construyendo un conocimiento compartido entre las empresas que conforman el clúster, el cual se transmite mediante la estructura social, formal o informal, poseedora del recurso. Este recurso está intrínsecamente relacionado con la innovación y obtención de ventajas competitivas la cual guía al clúster. Este conocimiento, que aporta innovación a los productos y procesos, se conoce como “capital social” (Galán *et al.*, 2010).

Porter (1998) establece que, si bien el desarrollo del clúster tiene una fuerte vinculación espacial, existen otros factores importantes para lograr el éxito de éste, como las características culturales, la estructura económica y la historia del lugar donde se desarrollará el clúster. Son estos últimos aspectos los que se consideran más relevantes en este trabajo, permitiendo establecer el nivel de desarrollo de cada región y su potencial para la implementación de proyectos de valorización de residuos sólidos.

Una propuesta de los elementos que componen un clúster o distrito industrial, es la que entrega Becattini (1990) y García y Parra (2008), la cual combina tres elementos principales: la comunidad de personas, quienes aportan aspectos sociales y el intercambio de ideas; la población de empresas, quienes aportan el espacio donde se desarrolla la innovación, y finalmente la atmosfera industrial, donde se genera las dinámicas de competitividad y desarrollo económico.

De igual manera, Cabrera (2011) plantea cuatro elementos que deben confluír para lograr un clúster exitoso: la innovación como base de las ventajas competitivas, el capital social, las redes o relaciones sociales (*networking*) y la capacidad de emprendimiento (*entrepreneurship*).

Sin embargo, la propuesta con una connotación más geográfica y acorde a esta investigación, es la que entregan Grajierna *et al.* (2004), quien plantea 4 componentes principales de un clúster: la localización territorial, la vinculación en torno a un sistema de valor industrial y las relaciones cooperativas desarrolladas entre las empresas que componen el clúster.

Es importante destacar el papel que desempeñan los clústeres en el desarrollo de las economías locales, principalmente por la dinámica generada por las empresas, atrayendo inversión, ampliando mercados, compitiendo con empresas locales y generando una economía dinamizada por mayor cantidad de capitales (Porter, 1998).

No se debe perder de vista la importancia de los factores que contribuyen desde la propia región a su desarrollo (Torales, 2001). Si bien la infraestructura juega un papel importante, como por ejemplo las vías de comunicación, establecer variables que puedan resumir el capital humano, la experiencia organizativa y la capacidad institucional local, entre otras, facilitaría una propuesta de clúster territorial enfocado a medir el potencial de implementación de proyectos de valorización de los RSU en una región.

2.9. Identificación de clústeres

En un clúster los factores mencionados pueden configurarse de distinta manera, permitiendo la coexistencia de empresas de diverso tamaño, generando redes de relaciones basadas tanto en la subcontratación (como por ejemplo los sistemas de operación satelital) o esquemas de colaboración

interorganizacional, como por ejemplo, redes tipo estrella, de distribución, árbol, malla y polo (Montero y Morris, 1999).

Existen diversos autores y enfoques que buscan responder a la pregunta del por qué se forman y desarrollan los clústeres productivos, entre las que podemos encontrar:

1. Teoría de la localización y de geografía económica: El enfoque de este modelo es en los costos de transporte, explicando por qué algunas actividades se ubican cerca de las fuentes de recursos y otras cerca de los clientes.
2. Teoría de los encadenamientos hacia atrás y hacia adelante: Hirschman (1957) establece cómo y cuándo la producción de un sector es suficiente para satisfacer el umbral mínimo o escala mínima para hacer atractiva la inversión en otro sector que este abastece (encadenamiento hacia atrás) o procesa (encadenamiento hacia adelante), en una misma región.
3. Teoría de la interacción y los distritos industriales: Este modelo plantea que la interacción intensa en una localidad genera derrames tecnológicos, economías externas y de escala para el conjunto de empresas de la región que no podrían ser internalizadas si cada empresa se encontrara ubicada a una gran distancia.
4. El modelo de Michael Porter (Diamante): La intensidad y diversidad de interacción entre empresas explica la formación de un complejo productivo y su grado de madurez. Esta interacción se basa en cuatro aspectos fundamentales (puntas del diamante): las relaciones de apoyo, con productores de insumos complementarios, con proveedores de insumos y factores especializados

El modelo Diamante propuesto por Porter tiene como objetivo explicar cómo la innovación constante es un factor fundamental para que las empresas mantengan sus ventajas competitivas. En la figura 2.8 se presentan los elementos principales que componen el modelo de diamante propuesto por Porter (1990).

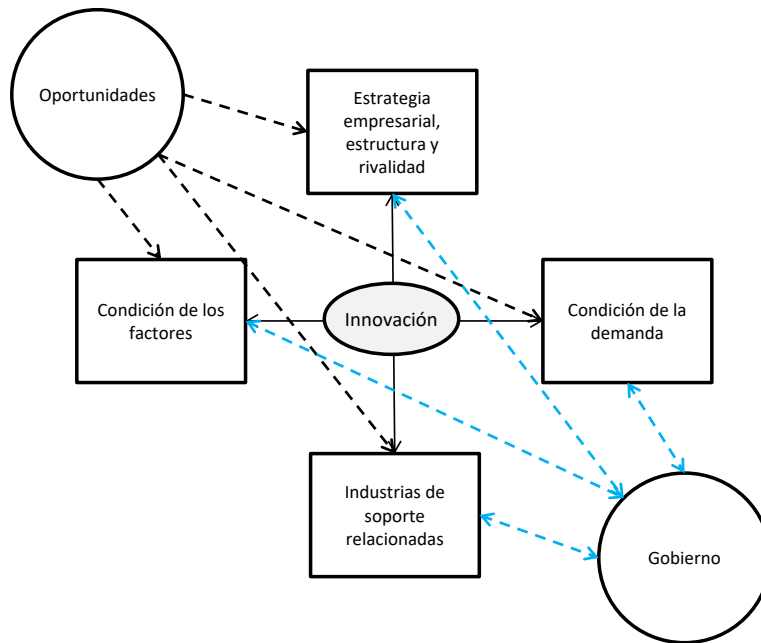


Figura 2.8. Diamante de Porter.

Fuente: Adaptado de Porter, 1990.

De acuerdo con Porter, la innovación constante dentro del campo de la actividad puede incidir de manera positiva en la competitividad y desarrollo de una región. Para lograr esto se requiere una inversión fuerte y constante en los factores especializados: recursos humanos altamente especializados, infraestructura física y administrativa de calidad, infraestructura de información e infraestructura científica y tecnológica, entre otros.

Esta idea es reforzada por Gómez (2005) quien plantea que si bien los factores históricos y naturales son importantes en la localización inicial y en la formación del clúster (como los centros de acopio alrededor de los sitios de disposición final (SDF) de residuos sólidos urbanos), para su sostenimiento y desarrollo las capacidades de innovar y mejorar son determinantes.

La identificación de los clústeres y los factores que inciden en su creación es un tema complejo, debido principalmente a la falta de una metodología que permita definir las industrias, como encadenamiento, que deberían ubicarse en cada clúster, así como la falta de datos empíricos consistentes (Porter, 2003).

La metodología más común para identificar a un clúster es la realización de un análisis con base en técnicas cuantitativas, con el objeto de establecer concentraciones relativas de industrias en una región geográfica, partiendo generalmente de cocientes de localización y tablas de insumo-producto (Gómez, 2005).

Una vez establecidas las empresas de interés, su ubicación espacial, la relación entre ellas, los materiales utilizados en los procesos a considerar y sus flujos, es necesario establecer el sistema espacial de interconexión e influencia, en donde los sistemas de información geográficos (SIG) son de mucha utilidad, permitiendo analizar y definir ventajas cualitativas y cuantitativas en la formación y desarrollo del clúster.

Es fundamental complementar este tipo de análisis con el levantamiento de información cualitativa, que permita establecer flujos de información y cooperación no establecidas en los mercados. Para realizar esta labor se utilizan como herramientas fundamentales las encuestas y entrevistas, permitiendo de esta manera obtener un panorama completo del funcionamiento del clúster.

El tema de residuos sólidos urbanos tiene, entre otros, alcances geográficos, económicos, sociales y ambientales, relacionándose cada uno de estos aspectos entre sí. Por lo anterior, se dan a conocer a continuación las variables más destacadas en cada uno de los aspectos antes mencionados, con el objeto de poder modelar y evaluar el clúster de manejo de residuos sólidos urbanos en una región determinada.

2.10. Indicadores utilizados en el manejo de los residuos sólidos urbanos

Dentro de los componentes de manejo de residuos sólidos urbanos existen distintas variables que permiten evaluar el sistema en su conjunto. En la “Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos”, publicada por SEMARNAT-GTZ (Cooperación Técnica Alemana), se presenta un cuestionario-guía para recabar la información referida a la gestión y manejo de residuos sólidos. Respecto a las características generales del municipio están las siguientes variables:

1. Población, expresada en número de habitantes,
2. Generación per cápita, expresada en kg/habitante/día,
3. Peso volumétrico, expresado en kg/m³, y
4. Composición, pudiendo definir la lista de materiales de acuerdo a los objetivos del estudio.

Sin embargo, actualmente no se evalúa la participación de la gente en actividades de separación y/o comercialización de los materiales valorizables, variables que deben ser consideradas con el fin de conocer qué estrato social es el más participativo, los materiales de mayor interés, el precio de dichos materiales y la facilidad para su comercialización.

Respecto al sistema de recolección, algunas de las variables a destacar son:

1. Número de vehículos, expresada en unidades.
2. Porcentaje de cobertura del servicio de recolección de RSU, expresada en porcentaje (%) respecto al total de residuos generado en el municipio.
3. Frecuencia de recolección, expresado en días a la semana.
4. Personal que labora en el área, expresado en número de personas.
5. Costos de recolección, expresada en \$/mes.
6. Existencia de recolección selectiva.

Para el componente de transferencia, las variables destacadas son:

1. Cantidad de RSU transferidos, expresado en toneladas/día.

2. Distancia al sitio de disposición final (km) o ubicación geográfica.
3. Personal que labora en el área, expresado en número de personas.
4. Costos del servicio de transferencia, expresado en \$/mes.

Para los centros de acopios, las variables son:

1. Cantidad de centros de acopio, expresado en unidades.
2. Responsable del centro de acopio, este puede ser municipal o privado.
3. Personal que labora en cada uno, expresado en número de personas.
4. Cantidad y tipo de subproductos recuperados, expresado en kg/día.

Para el tratamiento de la fracción orgánica solo se considera como alternativa las plantas de compostaje, para las cuales las variables relevantes son:

1. Cantidad de residuos tratados, expresado en toneladas/mes.
2. Número de empleados en la planta, expresado en personas (hombres y mujeres).
3. Costo del tratamiento, expresado en \$/mes.
4. Ubicación, pudiendo expresarse como dirección o con coordenadas.

Aunque para los sitios de disposición final (SDF) se debe aplicar la NOM-083-SEMARNAT-2003, la guía publicada por la SEMARNAT-GTZ, destaca las siguientes variables a controlar:

1. Ubicación, pudiendo expresarse en coordenadas.
2. Clasificación en A, B, C y de acuerdo con la cantidad de residuos que ingresan al día.
3. Clasificación de acuerdo a su operación, relleno sanitario, sitio controlado o sitio no controlado, según la norma.
4. Personal que labora, expresado en número de personas.
5. Costos de operación, expresado en \$/mes y \$/tonelada dispuesta.

Este diagnóstico busca principalmente determinar las deficiencias del sistema y las carencias de infraestructura, permitiendo a los gobiernos municipales plantear una estrategia para mejorar la gestión y manejo de los residuos sólidos urbanos, reducir y controlar la generación de residuos y aplicar a la solicitud de recursos a fondo perdido, en el mejor de los casos, al gobierno federal.

Si bien en este tipo de diagnósticos se intenta determinar la ubicación espacial de la infraestructura disponible, en el análisis no se busca establecer su interrelación ni los flujos de material que se generan. Tampoco se establecen los impactos económicos y sociales que se generan, ni se plantea este manejo como un clúster que opera alrededor de los residuos sólidos urbanos de una región, la cual puede abarcar uno o varios municipios. De igual manera, los impactos pueden abarcar uno o varios Estados de la República, variando la escala geográfica conforme a la cantidad de materiales generados y valorizados.

En la teoría de los clústeres existen elementos determinantes y estos inciden en la forma en que las múltiples variables se relacionan entre sí. Dentro de los elementos que se establecen como característicos de un clúster están: la localización territorial, la relación respecto a una cadena de valor industrial y las relaciones cooperativas entre las empresas que componen el clúster (Cabrera, 2011).

Si bien la cadena de valorización de residuos sólidos urbanos ya ha sido explicada, se busca establecer los factores que inciden en la distribución espacial de las empresas de tratamiento, transformación y consumo de dichos materiales dentro de una localidad o región y su interacción con las ciudades.

Por lo anterior, se presentan a continuación los factores más significativos a considerar en el análisis espacial respecto a los elementos geográficos, económicos y sociales del manejo y valorización de los residuos sólidos urbanos.

2.10.1. Elementos geográficos

Porter (1990) establece una fuerte vinculación entre el éxito del clúster y su locación geográfica. De igual manera, y como se comentó anteriormente, el sistema semiabierto propuesto por Porter, cambia la escala espacial a la cual se puede plantear un clúster, pudiendo ser a escala local, regional o nacional. Esto podría concordar al plantearse qué parte de los residuos valorizados, por ejemplo, en el estado de Guerrero y procesados mediante trituración en el Estado de México, son exportados a Canadá desde Veracruz, por empresas como Desperdicios Industriales Bautista (DIBASA), S.A. de C.V.

La ubicación donde se establecen las empresas es de suma importancia para el desarrollo local o regional. De acuerdo con Krugman (1991), la ubicación de estas responde generalmente a la ubicación de la demanda, la interacción de los factores de economía de escala y los costos de transporte. Si bien el sector de la valorización de residuos sólidos carece de un marco legal que regule su operación, la ubicación de las plantas de valorización responde a factores similares a los antes mencionados.

Las empresas de valorización de residuos sólidos muchas veces se ven apoyadas por el sistema de recolección municipal, principal proveedor de material con un valor de mercado no despreciable (Ruggerio, 2011). Para esto, el área de recolección, concentra su trabajo en las zonas más ricas de las ciudades y algunas zonas comerciales, vendiendo los materiales recuperados antes de ingresar al sitio de disposición final o a la estación de transferencia (Castillo, 2011).

En teoría, una planta de valorización se debería ubicar en un parque o área industrial, con el objetivo de beneficiarse de los accesos, los servicios y la proximidad de grandes generadores. Además, dentro de los requerimientos de ubicación está la disponibilidad de terrenos de un tamaño adecuado, la vecindad de fuentes de agua, la facilidad de desagüe y la disponibilidad de energía eléctrica. Se debe tomar en cuenta que este tipo de instalaciones puede producir mal olor y efluentes altamente contaminantes si no se toman las medidas adecuadas, además de insectos y roedores para lo cual se requiere realizar un control de fauna nociva de manera frecuente.

Por lo anterior, podríamos decir que dentro de los principales componentes geográficos están:

1. Ubicación de los centros de generación (ciudades, colonias, pueblos, industrias) de residuos sólidos urbanos (RSU).
2. Concentración espacial de los tipos de residuos que se generan.
3. Rutas de recolección y cobertura espacial del servicio.
4. Ubicación de los centros de acopio, capacidad y nivel de desarrollo.
5. Rutas de transporte de materiales valorizables.
6. Ubicación de los sitios de transferencia y disposición final.
7. Ubicación de las empresas de tratamiento, transformación y volúmenes de materiales transferidos.
8. Ubicación de empresas consumidoras y su conexión con los centros de consumo más cercanos.
9. Ubicación de limitantes geográficas como montañas, lagos, ríos, reservas ecológicas, etc.
10. Límites espaciales de la ciudad (con base en el plan de desarrollo urbano): espacio urbano, periurbano y rurubano.
11. Límites municipales y estatales.

Esta información espacial permitirá facilitar el análisis espacial de flujos de materiales y su conexión con los centros generadores y de consumo.

2.10.2. Elementos económicos

Desde un punto de vista socioeconómico, las variables que se podrían considerar relevantes en el análisis de un clúster de valorización de residuos sólidos urbanos son las relacionadas con el mercado laboral: la disponibilidad de mano de obra calificada, el nivel de los salarios y la disponibilidad de ayuda técnica de institutos de investigación y tecnología de la región, entre otras.

Si bien existen datos estadísticos oficiales respecto a la mano de obra empleada para distintos niveles de educación y calificación, es necesario determinar el impacto real de las cadenas de valorización en el mercado laboral de una región, por lo que es fundamental incluir dentro del diagnóstico la cantidad de personas involucradas en cada una de las actividades y su calificación laboral.

Chung (2004) puso en práctica con éxito en el Distrito de Independencia, Lima (Perú), un modelo de clúster empresarial para mejorar la segregación de residuos valorizables. Para llevar a cabo la evaluación del modelo propuesto se tomaron en cuenta tres factores, cuantitativos y de carácter económico: factibilidad económica (Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno), aprovechamiento de residuos (kg/día) y generación de empleo (número de personas empleadas y salario mínimo por persona).

Para el estudio de una región, recabar información para estimar la factibilidad económica de cada emprendimiento se hace muy complejo, sin embargo, es posible conocer los precios de compra y venta de los productos valorizados con el objeto de conocer su variación en el espacio respecto a los centros de generación, recuperación y tratamiento.

Uno de los factores más importantes a considerar es el transporte de los materiales. En este factor no solo se debe considerar la distancia, sino también la topografía y las vías de acceso hacia los clientes, el tipo de material a transportar y su densidad de transporte.

2.10.3. Elementos sociales

La derrama tecnológica o *spillover* es uno de los beneficios que se busca cuando se permite que empresas extranjeras se instalen en el país anfitrión (Orozco y Domínguez, 2011). Esta derrama tecnológica implica transferencia de activos tangibles e intangibles, como destrezas administrativas y organizacionales, espíritu empresarial, tecnología y acceso a mercados (Dutrénit, 2009). Los principales mecanismos que facilitan la captura de esta derrama son: 1) los encadenamientos entre las empresas transnacionales y los proveedores locales y 2) la movilidad del capital humano, expresado en capacitación y creación de sus propias empresas por parte de los empleados.

Si consideramos que el mercado es cambiante, dinámico y complejo, solo las empresas capaces de adaptarse y evolucionar podrán liderar su sector (Orozco y Domínguez, 2011). Este proceso de aprendizaje continuo, donde las empresas crean conocimiento y adquieren capacidades tecnológicas se conoce como innovación (Dutrénit, 2009), fundamental para las grandes empresas, grupos industriales y las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMES), ya que son estas organizaciones las que deben adaptarse a los nuevos desafíos de la era del conocimiento y la apertura (Maureira, 2009).

La innovación es uno de los principales generadores de las ventajas competitivas que potencia a las empresas que componen un clúster (Cabrera, 2011). Esta se entiende como el resultado de distintos agentes, tanto económicos como sociales, públicos y privados (Dutrénit, 2009), cuyo objetivo principal es mejorar la producción de las empresas. Básicamente podemos entender a la innovación como el acceso y la aplicación de la información o conocimiento que no se encuentra disponible para los competidores. Maureira (2009) también define la innovación como un hecho económico, donde se le otorga un valor a una idea, producto o proceso.

El proceso de difusión lo podemos entender con la adopción masiva de una invención científico-técnica. Sin embargo, las empresas no adoptan una innovación por sus características técnicas, sino por la aceptación o número de empresas que la aplican (Céspedes y Martínez, 2006).

Desde un punto de vista institucional, las asociaciones regionales pueden incentivar y acelerar los procesos de difusión, ya que hacen visibles a las empresas que introducen alguna innovación. Dentro de las formas tradicionales de difusión tecnológica están la asesoría en el desarrollo de productos, la asistencia técnica en la introducción de nuevos procesos, y difusión de información y tecnologías mediante cursos, seminarios y publicaciones (Maureira, 2009).

Además de las asociaciones regionales, las instituciones educativas son las encargadas de proveer el capital intelectual, innovación y desarrollo tecnológico a las empresas que componen el clúster (Cabrera, 2011).

Tanto la innovación como la difusión de nuevas tecnologías y proceso, en el sector de valorización de los residuos sólidos urbanos, permitirán incrementar el desarrollo industrial local y regional para su aprovechamiento y transformación, además de reducir los costos de transporte y disposición final.

Actualmente dentro de la cadena de valorización, el factor informal limita considerablemente el acceso y la recopilación de información de las primeras etapas de valorización. Sin embargo, es fundamental conocer hasta qué parte de la cadena de valorización se desarrolla el fenómeno de *spillover* y los motivos por los cuales el conocimiento y la innovación no llegan a los puntos más bajos, donde es mayor su demanda para mejorar las condiciones de trabajo de las personas que trabajan en el tema.

3. Metodología

Los fenómenos generados en torno al tema de residuos sólidos urbanos se ven influenciados por una serie de variables que dificultan su análisis. Abarca, Maas y Hogland (2013) analizaron los trabajos y publicaciones del 2005 al 2011, en más de 30 áreas urbanas, en 22 países en desarrollo de tres continentes. Con base en el análisis realizado se lograron establecer los principales factores que inciden en cada uno de los elementos que componen los sistemas de gestión de residuos. Para el caso de México, se debe seleccionar con cuidado la disponibilidad de información oficial y la que es viable levantar en campo.

Frente a esta gran cantidad de variables y datos, el análisis multivariado proporciona a los tomadores de decisión información relevante y eficiente, sobre una base de regularidad y continuidad temporal.

Definiremos el análisis multivariable como *el conjunto de técnicas estadísticas que miden, explican y predicen la relación entre elementos de una tabla de datos, cuyo resultado debe ser interpretado de manera cuidadosa por el analista* (Lévy y Varela, 2003).

Si bien en los años ´40 del siglo XX el psicólogo Paul Lazarsfeld plantea una metodología donde combina elementos de *marketing*, análisis estadístico, técnicas psicológicas de Freud y psicología experimental (Lévy y Varela, 2003; Cortés, 2007), fue en la década de los ´70 cuando las técnicas de análisis multivariado tuvieron mayor difusión debido principalmente al acceso de computadoras (Germain, 1993). Dentro de las técnicas más utilizadas en esta época, podemos encontrar la de análisis clúster. Posterior a esto, en la década de los ´80 los paquetes informáticos pusieron al alcance de las organizaciones múltiples herramientas de análisis estadístico.

El análisis multivariado lo conforman diversas técnicas estadísticas, dentro de las cuales podemos encontrar las de análisis de interdependencia, estas nos permiten el análisis de conglomerados o clústeres. El objetivo es formar grupos de modo que la diferencia entre los elementos dentro del grupo sea mínima y la diferencia respecto a los elementos de los restantes grupos sea máxima (Lévy y Varela, 2003).

La presente metodología busca establecer un modelo de clústeres de valorización de materiales contenidos en los residuos sólidos urbanos, dentro del Estado de México. El clúster considera la interrelación entre los factores geográficos, económicos y sociales, con el objeto de establecer intermunicipalidades para el manejo de residuos sólidos y potenciar de manera positiva la valorización de residuos en la región.

Esta metodología está dividida en dos etapas; la primera corresponde a la selección del área de estudio, diagnóstico de los servicios de aseo urbano (SAU), la recopilación y análisis de información de los residuos y su valorización, para finalmente crear una base de datos con dicha la información. La segunda etapa corresponde al análisis estadístico exploratorio de la base de datos, el análisis espacial de la región y los actores involucrados en la valorización de RSU, propuesta de un modelo para clúster espacial de valorización de residuos sólidos.

Las fuentes de información utilizadas para la presentación de resultados, el análisis de datos y la propuesta de un modelo de clúster son el “**Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México**” (CMM, 2015) y las **bases de datos geoespaciales de INEGI**.

3.2. Primera etapa de la metodología

Los trabajos a desarrollar en esta etapa es posible agruparlos en cuatro actividades principales, las cuales están compuestas a su vez por subactividades. En la tabla 3.1 se presentan las actividades a realizadas en esta primera etapa.

Tabla 3.1. Actividades a desarrollar en la primera etapa del estudio: recopilación de información, análisis.

ID	Actividad
1.	Selección del área de estudio
2.	Diagnóstico de los servicios de aseo urbano (SAU) de los municipios en el área de estudio
2.1	Recopilación, análisis y evaluación de la información oficial
2.2	Análisis y evaluación del almacenamiento, recolección, transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos
2.3	Identificación de la problemática ambiental de la región en estudio
3.	Recopilación y análisis de información respecto a la generación y composición de los residuos sólidos urbanos
4.	Estudio y análisis espacial de la valorización de residuos sólidos urbanos
4.1	Revisión del sistema actual de valorización
4.3	Selección y asociación de variables
5	Generación de base de datos geoespacial de los datos recopilados en campo

3.3. Descripción de las actividades a realizar en la primera etapa de la metodología

3.3.1. Selección del área de estudio

La selección del área de estudio, así como su delimitación, es fundamental para establecer los alcances del trabajo. Con el objeto de facilitar el análisis de la región, y que dichos resultados tengan un valor para la institucionalidad, se recomienda contar con datos y cifras oficiales.

Como uno de los objetivos de esta metodología es incluir factores espaciales, es fundamental contar con una cartografía base que enriquezca los análisis.

3.3.2. Diagnóstico de los servicios de aseo urbano (SAU) de los municipios

La primera actividad tiene como finalidad primordial recopilar, analizar, evaluar y actualizar la información técnica, económica y organizacional de los municipios que componen la región de estudio.

Se debe establecer la infraestructura y el equipamiento disponible en los municipios para el manejo de los residuos sólidos urbanos, así como los costos operativos del sistema. Lo anterior permitirá establecer la eficiencia del servicio y su cobertura.

3.3.3. Recopilación y análisis de la generación y composición de los residuos sólidos urbanos

Se diseña y aplica una cédula de encuesta para domicilios, enfocada a conocer la cantidad de personas que habitan el domicilio para el cálculo de la generación per cápita, así como sus hábitos en el tema de separación y valorización, permitiendo definir qué materiales son los más cotizados y su destino.

Con base en los muestreos domiciliarios, se estimó la generación de residuos promedio para cada estrato social. Así mismo, en el estudio de composición se obtuvo el peso volumétrico de los residuos y la clasificación de subproductos.

3.3.4. Estudio y análisis espacial de la valorización de residuos sólidos urbanos

Se realiza una revisión y análisis en campo del actual esquema de valorización con el objetivo de establecer los actores más relevantes del sistema.

Definidos los principales actores, se diseñan y aplican cédulas de encuestas que permiten establecer los principales materiales valorizados, los precios de comercialización y las cantidades de materiales.

Las cédulas de encuestas (Anexo 5), tanto para los Acopios Informales (AIN) como para las Empresas de Tratamiento y Valorización (ETV), se crearon con base en el trabajo de García (2012), “Evaluación de la competitividad para el desarrollo industrial de sectores industriales económicamente importantes: el clúster de plásticos de Ciudad Juárez”, el cual considera los cuatro aspectos fundamentales del diamante de Porter, permitiendo establecer la interrelación entre empresas, flujo de materiales y condiciones que podrían potenciar su valorización.

3.4. Selección y asociación de variables

Los modelos de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos son sistemas complejos y multidimensionales. De acuerdo con Abarca, Maas y Hogland (2013) las dimensiones que deben tomarse en cuenta para analizar, desarrollar o cambiar los modelos de manejo son: los actores involucrados, los elementos del flujo de residuos y la visión a través de la cual se analiza el sistema.

Si bien Scheinberg (2011) plantea que existe una relación directa entre los costos que deben pagar los usuarios del sistema de aseo urbano y las altas tasas de recuperación de residuos, González y Adenso (2005) demostraron que las comunidades que desarrollan fuertes hábitos de reciclaje responden al esfuerzo que deben hacer los usuarios para disponer sus residuos. Esto plantea la necesidad de contar con variables asertivas y específicas de la gestión de residuos.

Abarca *et al.* (2013) establecieron de manera detallada los principales factores que inciden en los elementos que componen los modelos de manejo de residuos. Si bien en este estudio no se cuenta con todas las variables propuestas, es posible mantener la visión del análisis utilizando índices de

fuentes institucionales disponibles en México y otros indicadores que faciliten la toma de decisiones a nivel regional, estatal o nacional.

Los componentes que inciden en el sistema de manejo y valorización, considerados por Abarca *et al.* (2013), se presentan en la figura 3.1.

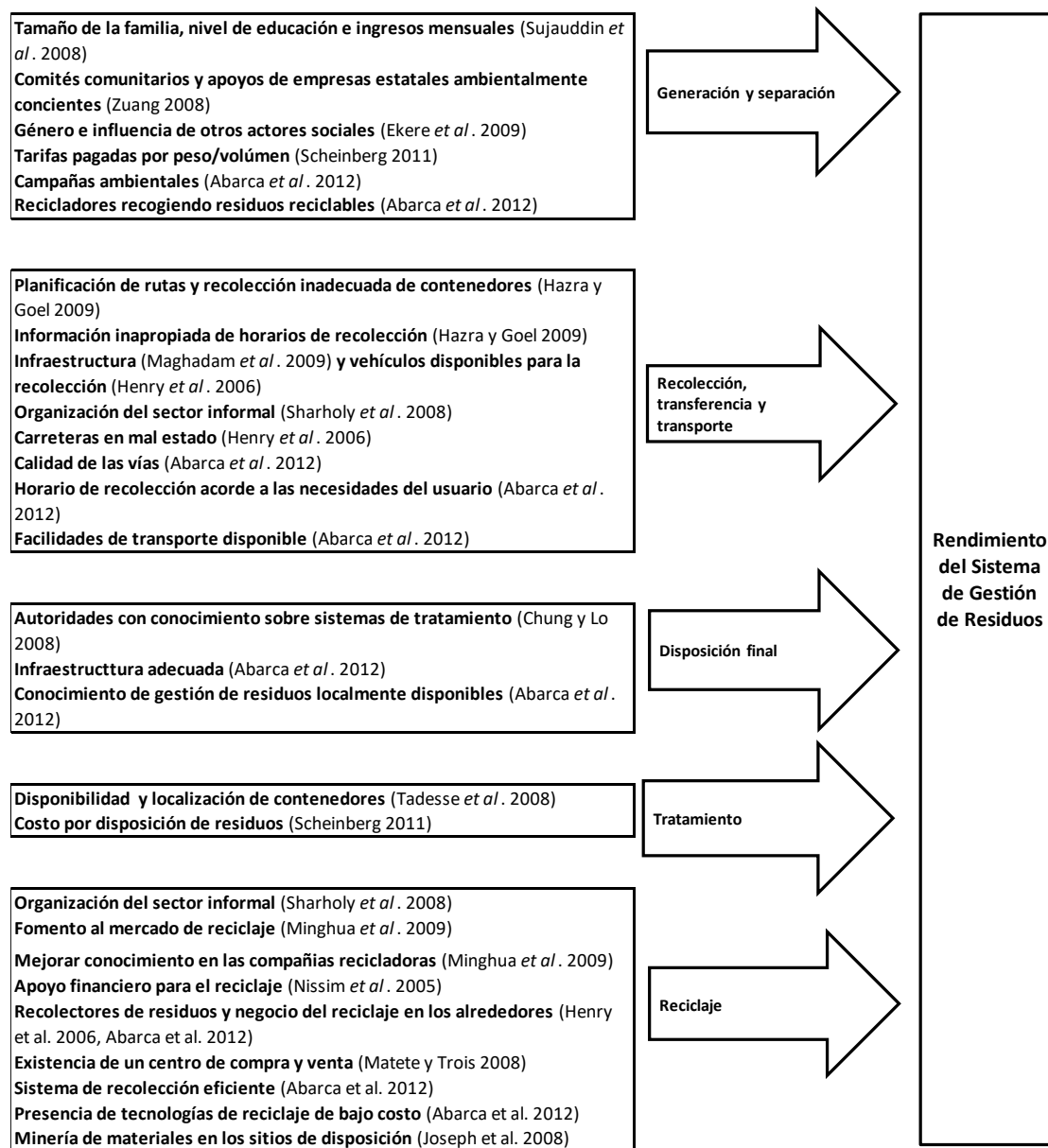


Figura 3.1. Variables que inciden en los elementos del sistema de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos.

Fuente: Adaptado de Abarca *et al.* (2013).

Todas las variables propuestas en este trabajo, así como la unidad territorial, se manejan a nivel municipal. Por lo anterior la conformación de clústeres buscará potenciar el esquema de asociaciones intermunicipales que incrementen la valorización de residuos y en su conjunto sean

atractivos ya sea para la inversión pública, pública/privada (Intermunicipalidades, como por ejemplo SIMAR SURESTE, en el Estado de Jalisco) o privada.

3.5. Propuesta de análisis de conectividad espacial de la valorización de residuos sólidos urbanos

En este apartado se presenta una propuesta metodológica que, por medio de conceptos básicos de análisis espacial como localización, distribución y vinculación, permite describir la relación funcional entre Centros de Acopio Informales de materiales recuperados de los residuos, y las Empresas de Tratamiento y Valorización, en el Estado de México.

Mediante el uso de información contenida en las cédulas de encuesta aplicadas a AIN y ETV, es posible determinar el origen-destino de los materiales valorizados, la creación y validación de una base de datos geoespacial, así como la propuesta de un indicador de conectividad de los materiales valorizados. Este indicador se construye con base en el tiempo de transporte, para evaluar la relación espacial entre los actores de la gestión de residuos evaluados.

El análisis espacial, como parte de la geografía cuantitativa, permite considerar no solo aspectos geométricos del espacio, sino también la interrelación entre sus elementos (O'Sullivan y Unwin 2003). El análisis de conectividad que se plantea este apartado se realiza con base en los conceptos fundamentales del análisis espacial, propuestos por Nyerges (1991) y Buzai (2010). En estos destacan la localización, la distribución y la vinculación espacial, las cuales resultan de suma importancia para definir y comprender el espacio funcional. Una forma de representar un sistema o estructura organizacional, es mediante el uso de grafos⁵, los cuales, mediante el uso de nodos⁶ y arcos⁷, facilitan la comprensión de la interrelación entre distintos elementos de estudio en el espacio (Caballero 2008, Enríquez 2015). Si a los grafos se añade información geoespacial clave del territorio, el análisis de la estructura organizacional se enriquece, permitiendo una mejor comprensión de los fenómenos y relaciones funcionales.

El análisis se realiza con base en un indicador de conectividad, el cual permite conocer el tiempo óptimo de transporte entre el origen y destino de los materiales. De igual manera, permite mapear la interrelación entre los principales actores socioeconómicos y las unidades económicas (UE) relacionadas con el manejo y el aprovechamiento de los residuos. Una comprensión adecuada de este tema contribuye en la toma de decisiones acertadas en este sector.

La propuesta metodológica consta de cinco etapas, las cuales se muestran en la figura 3.2.

⁵ **Grafo:** Diagrama que representa mediante puntos y líneas las relaciones entre pares de elementos y que se usa para resolver problemas lógicos, topológicos y de cálculo combinatorio (RAE, 2020).

⁶ **Nodo:** En un esquema o representación gráfica en forma de árbol, cada uno de los puntos de origen de las distintas ramificaciones (RAE, 2020).

⁷ **Arco:** Conjunto de segmentos rectos con una topología en común (RAE, 2020).

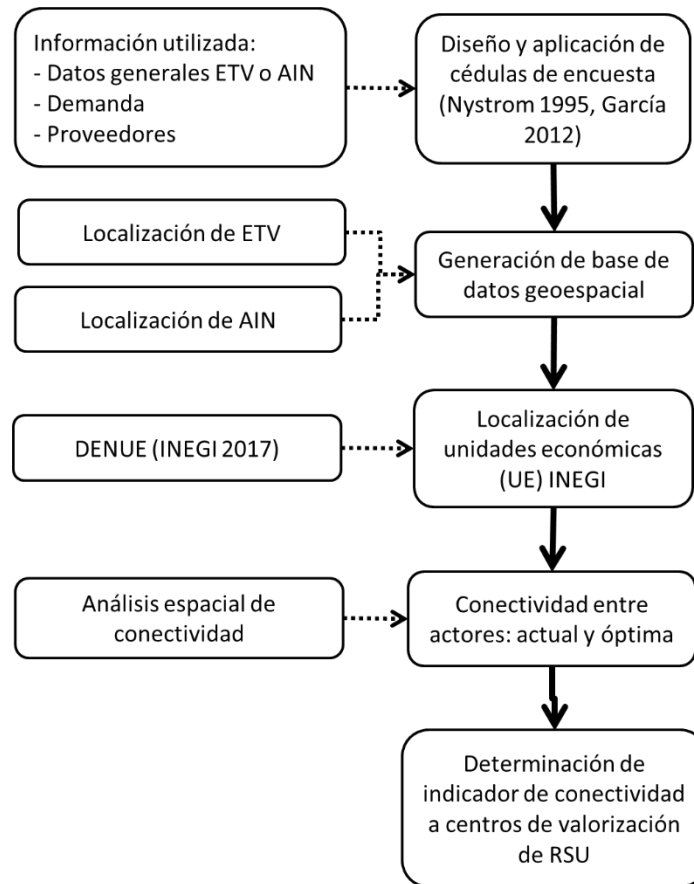


Figura 3.2. Esquema de la metodología propuesta de análisis de conectividad espacial de la valorización de residuos sólidos urbanos.

3.5.1. Localización de ETV y AIN

De acuerdo con la propuesta de análisis, en una primera etapa se aplican las encuestas a los acopios informales (AIN) y empresas de tratamiento y valorización (ETV), donde se registra su ubicación utilizando un GPS. Posteriormente se genera una base de datos geoespacial con la información recabada, así como la distribución de dicha infraestructura en la región.

Para recabar dicha información, se visitaron los 125 municipios del Estado de México, así como los 81 sitios de disposición final (SDF) de RSU (CMM 2015). En los sitios de disposición final, donde se observaron actividades de recuperación y acopio de materiales reciclables, así como condiciones de seguridad, se entrevistó a los líderes de cada grupo de pepenadores y se aplicó la encuesta diseñada para este tipo de acopios (AIN). Asimismo, en los municipios donde se tuvo acceso a empresas de valorización y aprovechamiento de materiales reciclables, se aplicó la encuesta diseñada para este tipo de instalaciones (ETV).

Las cédulas de encuesta utilizadas en CMM (2015) se realizaron con base en las propuestas de Nystrom (1995) y García (2012). Las encuestas se dividen en cinco secciones:

1. Datos generales de la ETV o el AIN.

2. Demanda.
3. Proveedores.
4. Competencia.
5. Producción y soporte.

En el primer apartado de la encuesta, se reúnen datos generales de la empresa, asociación o acopio informal: nombre del entrevistado, cargo, coordenadas de ubicación, materiales que valorizan y datos de contacto.

Respecto a la sección referente a la demanda, las preguntas están enfocadas a determinar la ubicación de los sitios de demanda de los materiales valorizados, así como la frecuencia y volumen de materiales que se movilizan en cada envío.

Porter (1998) plantea que la competitividad de un sector se sustenta en la disponibilidad de proveedores o industrias de soporte. Por lo anterior, en la sección de proveedores la información recabada busca establecer cuáles son los principales materiales valorizados y los precios de cada uno. Sin embargo, aunque se recabaron datos sobre los precios de compra y venta de cada material, se considera que éstos no son fiables, debido principalmente al secretismo con el cual se maneja dicha información producto de la competencia entre las unidades económicas (UE) analizadas.

Otro aspecto importante es la competencia. En esta sección de la encuesta los reactivos utilizados buscan establecer si la empresa o asociación conoce a sus competidores y cómo se evalúa a sí misma respecto a su eficiencia.

Finalmente, los aspectos de producción y soporte son básicos para el desarrollo de un emprendimiento. El objetivo de los reactivos en esta sección es conocer si se le da un valor agregado a los materiales recuperados y de qué tipo. Así mismo, se busca conocer los principales obstáculos que tienen las ETV o los AIN para su crecimiento, facilitando crear estrategias que beneficien al sector.

Para la elaboración de este trabajo se utilizó información contenida en los apartados de “datos generales” (AIN o ETV), “demanda” para los AIN y “proveedores” para los ETV.

Con los datos recabados en las encuestas, se construyó una base de datos geoespacial de conectividad en formato shape (shp), que permite cruzar dicha información espacial con los datos oficiales entregados por el INEGI, u otras instituciones públicas. La base de datos consta de 28 puntos para los AIN y 23 para las ETV. Respecto a los AIN encuestados, éstos representan el 34.6% del total de sitios de disposición final en el Estado.

3.5.2. Ubicación de unidades económicas (UE)

En esta etapa, se comparó la localización de las ETV encuestadas en campo, con la densidad de UE registradas en el DENUE con el fin de validar la información (INEGI 2017). La categoría utilizada en el DENUE para la realización del comparativo fue “Comercio al por mayor de materiales de desecho”, y las subcategorías fueron las identificadas con los códigos: “434311-Comercio al por mayor de desechos metálicos”, “434312-Comercio al por mayor de desechos de papel y cartón”, “434313-

Comercio al por mayor de desechos de vidrio” y “434314-Comercio al por mayor de desechos de plástico”.

Para el caso de los AIN, los datos de ubicación, en coordenadas UTM (en inglés Universal Transverse Mercator), se obtuvieron de la encuesta aplicada. En todos los casos, los acopios se ubicaban dentro del área de proyecto de cada sitio de disposición final.

3.5.3. Análisis de conectividad

Con base en la información recabada en las encuestas levantadas en las etapas anteriores, se definen los destinos de los materiales comúnmente encontrados en AIN: papel, cartón, plásticos (PET y HDPE), aluminio y vidrio. Tomando en cuenta estos cinco tipos de materiales, se construye una tabla de frecuencia y se establecen los principales destinos. En el apartado de resultados de este trabajo se presentan los seis destinos más frecuentes.

Una vez establecidos los orígenes y destinos de los materiales, se construye un mapa de conectividad del Estado de México, con el objeto de tener un primer acercamiento a posibles patrones espaciales.

Finalmente, se busca establecer un patrón de interacción espacial entre los AIN de origen y las ETV de destino. Para realizar este análisis se estableció un indicador de conectividad con base en el tiempo requerido para recorrer la distancia mínima entre el origen y el destino de los materiales.

Para la obtención del tiempo requerido en cada ruta, expresado en minutos (min), se utilizó como base la ecuación 1, donde la velocidad se expresa como:

$$v = \frac{d}{t} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

v : velocidad.

d : distancia.

t : tiempo.

Despejando el tiempo obtenemos la ecuación 2, donde el tiempo se expresa como:

$$t = \frac{d}{v} \quad \text{Ecuación 2}$$

Con base en la Red de Nacional de Caminos del Instituto Mexicano del Transporte (2014), es posible obtener la “velocidad óptima” o máxima de tránsito, expresada en kilómetros por hora (km/h) para cada segmento de calle, camino o carretera, en el Estado de México. Así mismo, es posible obtener la longitud de cada segmento de vía de comunicación terrestre, expresada en metros (m). Mediante la utilización de la herramienta de network analysis del QGIS (programa libre), se determinó la distancia más corta entre el origen (AIN) y el destino (ETV) actual. Determinada la ruta de cada origen-destino actual, se determinó el tiempo requerido para movilizar los materiales con base en la ecuación 3, definiendo T' como:

$$T' = \frac{\sum_i^j d'}{\sum_i^j v'}$$

Ecuación 3

Donde T' es el indicador de conectividad a centros de valorización de RSU, expresado en minutos (min); $\sum_i^j d'$ es la sumatoria de segmentos (de i a j) de calles, caminos y carreteras, que describen la ruta de origen y destino, expresada en metros, y $\sum_i^j v'$ es la sumatoria de velocidades óptimas (de los segmentos i a j), expresados en metros por segundo (m/s).

Con el objeto de obtener un valor comparativo de análisis, y con base en la propuesta de Goto et al. (2005), se establecieron las rutas óptimas entre los AIN y las ETV más cercanas. Esto permite obtener un valor promedio óptimo para el indicador de conectividad, así como una regionalización de la relación entre instalaciones de valorización. Con base en los valores óptimos del indicador de conectividad, se construye una tabla de cinco rangos para el indicador propuesto, con base en los percentiles de las rutas óptimas. La tabla generada permite comparar los resultados entre los valores obtenidos en la relación actual y la relación óptima.

3.5.4. Generación de base de datos geoespacial de los datos recopilados en campo

La información recaba en campo fue georeferenciada y digitalizada, con el fin de poder cruzarla con datos oficiales.

Esta base de datos contiene la ubicación de la infraestructura de manejo de residuos sólidos en el Estado, así como los acopios informales y empresas de valorización encuestadas.

Para la georreferenciación de los datos, se utilizó un sistema de coordenadas con base en el Sistema Geodesico Mundial de 1984 (*World Geodetic System 84*). Posteriormente para efectos de cálculo de distancia, el sistema de coordenadas de cambió a Universal Transversal de Mercator (*UTM*), que a diferencia del sistema geográfico que utiliza latitud y longitud, las magnitudes en el sistema UTM están expresadas en metros.

Los datos fueron convertidos a un formato vectorial (*shape*), que permite asociarlo a tablas con información. Las tablas vienen en formato CSV, con los datos utilizados en los análisis de este trabajo. Esto permite cruzar múltiples capas de información y crear mapas georeferenciados.

3.6. Descripción y alcances de las actividades a realizar en la segunda etapa de la metodología

La segunda etapa de la metodología propuesta tiene como objetivo la identificación, caracterización y el diseño de un modelo que permita conocer el comportamiento de los clústeres asociados a la valorización de materiales reciclables, con base en la propuesta de Valerio *et al.* (2004). Las actividades a desarrollar se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Actividades a desarrollar en la segunda etapa de la metodología propuesta.

ID	Actividad
6.	Análisis estadístico exploratorio de las bases de datos
6.1	Análisis multivariado
7.	Análisis espacial de la región de estudio
7.1	Cálculo del índice de conectividad
7.2	Relación espacial entre acopios informales (AIN) y empresas de tratamiento y valorización (ETV)
8.	Propuesta de un modelo espacial de clúster de valorización de residuos sólidos urbanos
8.1	Aplicación de un modelo de clúster
8.2	Determinación del impacto en el desarrollo regional

A continuación, se describen brevemente cada una de las actividades a desarrollar en la segunda etapa.

3.6.1. Análisis estadístico exploratorio de la base de datos geoespacial

El análisis estadístico de la base de datos geoespacial, permite la selección y asociación de las variables más relevantes a considerar en este estudio. Para lograr dicho objetivo primero son clasificadas para luego seleccionar aquellas con mayor representación de las actividades de valorización.

- *Descripción de las variables: utilizando el coeficiente de variación de cada una de las variables se descartan aquellas que presenten un bajo poder discriminatorio. En el criterio de selección se utilizará un coeficiente de variación igual o superior al 50%.*
- *Asociación de las variables: Para conocer el grado de asociación de las variables se aplicará una matriz de correlación total entre las variables seleccionadas. Esto permitirá conocer que variables son más representativas para el análisis.*

3.6.2. Análisis espacial de la región en estudio

Con base en técnicas topológicas y geográficas, se busca comprender la relación espacial entre las empresas de valorización de residuos (ETV) y los acopios informales (AIN). Estos últimos se ubican frecuentemente en los sitios de disposición final (SDF).

En esta etapa se busca establecer un índice de conectividad que permita cuantificar la disparidad entre los acopios informales para acceder a una empresa de tratamiento y valorización. Para esto se utiliza la base de datos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI (2010).

Las categorías de actividades económicas consideradas en el análisis son:

- 434311 Comercio al por mayor de desechos metálicos

- 434312 Comercio al por mayor de desechos de papel y de cartón
- 434313 Comercio al por mayor de desechos de vidrio
- 434314 Comercio al por mayor de desechos de plástico

Lo anterior permite establecer la relación actual e ideal entre los AIN y las ETV.

3.6.3. Propuesta de modelo espacial de valorización de residuos sólidos urbanos

Seleccionadas las variables a utilizar, se aplica el modelo de clúster, asociando a los municipios (unidad territorial seleccionada) con mayor similitud en cuanto a características de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos.

Posteriormente se crean capas vectoriales (*shape*) que permitan analizar tres escenarios posibles de intervención en la cadena de valorización de materiales; uno con la situación actual y dos grupos de municipios con una situación ideal), evaluando su comportamiento con la información oficial disponible.

Finalmente, este análisis permitirá establecer rutas y estrategias de manejo de materiales valorizados, así como el potencial para la instalación de nuevas industrias de valorización y suministros periféricos, incidiendo directamente en el desarrollo regional del clúster.

Con el objeto de esquematizar esta metodología, se presenta en la figura 3.3 un diagrama de los componentes de cada etapa propuesta.

3.7. Diagrama general de la metodología propuesta para el análisis de clústeres para el manejo y la valorización de RSU

La metodología propuesta busca complementar las actividades y estudios de los Programas Estatales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PEPGIRS) en México.

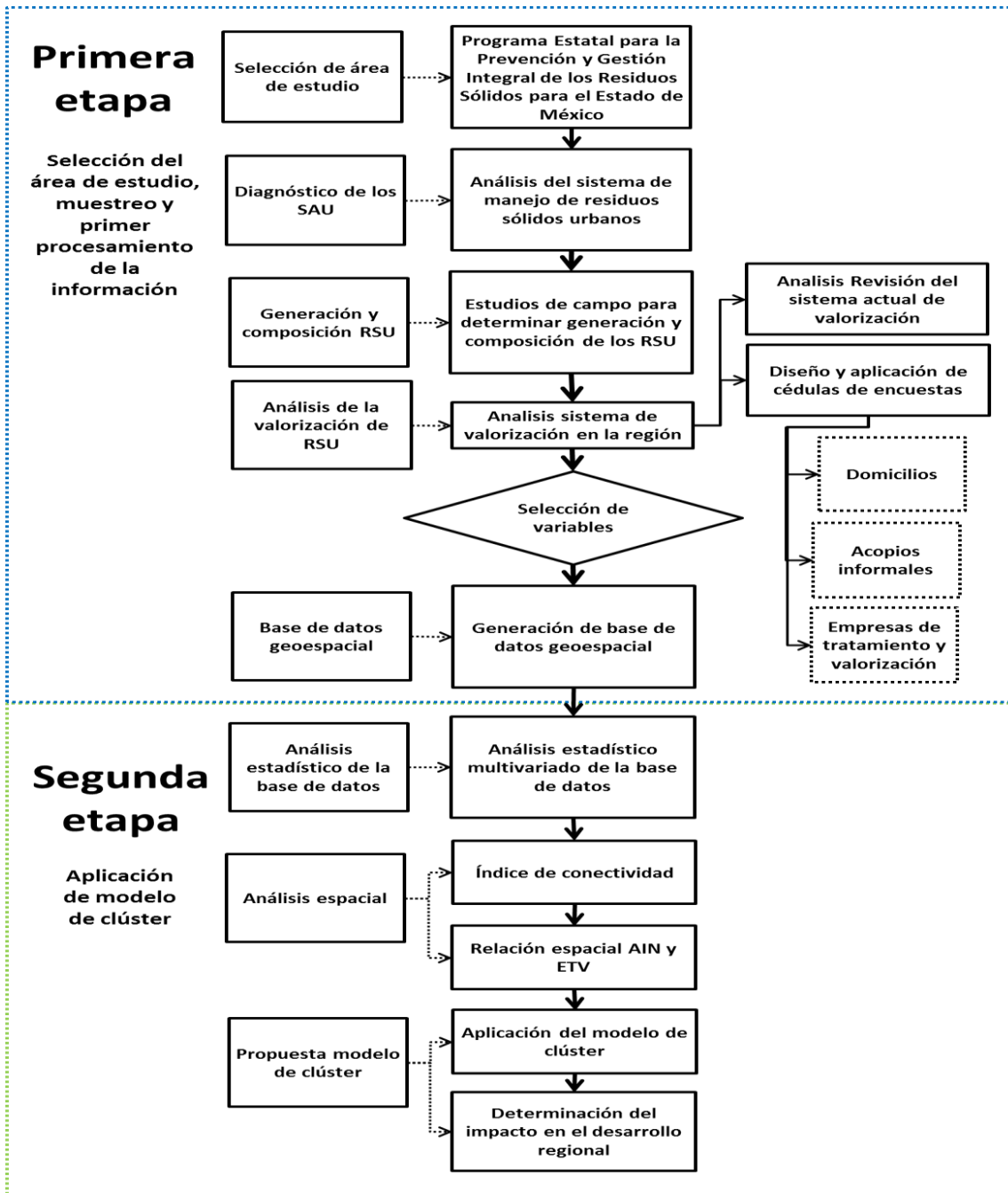


Figura 3.3. Metodología propuesta para el análisis de clústeres para el manejo y la valorización de residuos sólidos urbanos.

4. Selección del área de estudio, muestreo y primer procesamiento de datos

De acuerdo con la metodología propuesta, se presentan a continuación los resultados de la primera etapa de análisis ya directamente tomando como base los datos del estudio de caso⁸ seleccionado, permitiendo de esta manera un mejor análisis e interpretación de los resultados, así como facilitando la propuesta de un modelo de clúster para el manejo y la valorización de residuos sólidos urbanos en el Estado de México.

4.2. Selección del área de estudio

El Estado de México está compuesto por 125 municipios, los cuales abarcan una superficie total de 22,351 km², lo que representa el 1.1% del territorio de nacional, sin embargo, su población asciende a 16,618,929 habitantes, lo que representa el 14% de la población total del país. Aunado a lo anterior, la generación de residuos sólidos, domiciliarios y de otras fuentes (no peligrosos) producto del metabolismo urbano del Estado asciende al 14.6% respecto al total nacional.

En la realización de este trabajo se utilizó la cartografía geoestadística del INEGI a nivel estatal y municipal, correspondiente al Censo de Población y Vivienda del 2010.

En la figura 4.1 se muestra la ubicación y extensión del área de estudio, la división municipal y la concentración de población por municipio en el Estado.

⁸ Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México, CMM (2015).

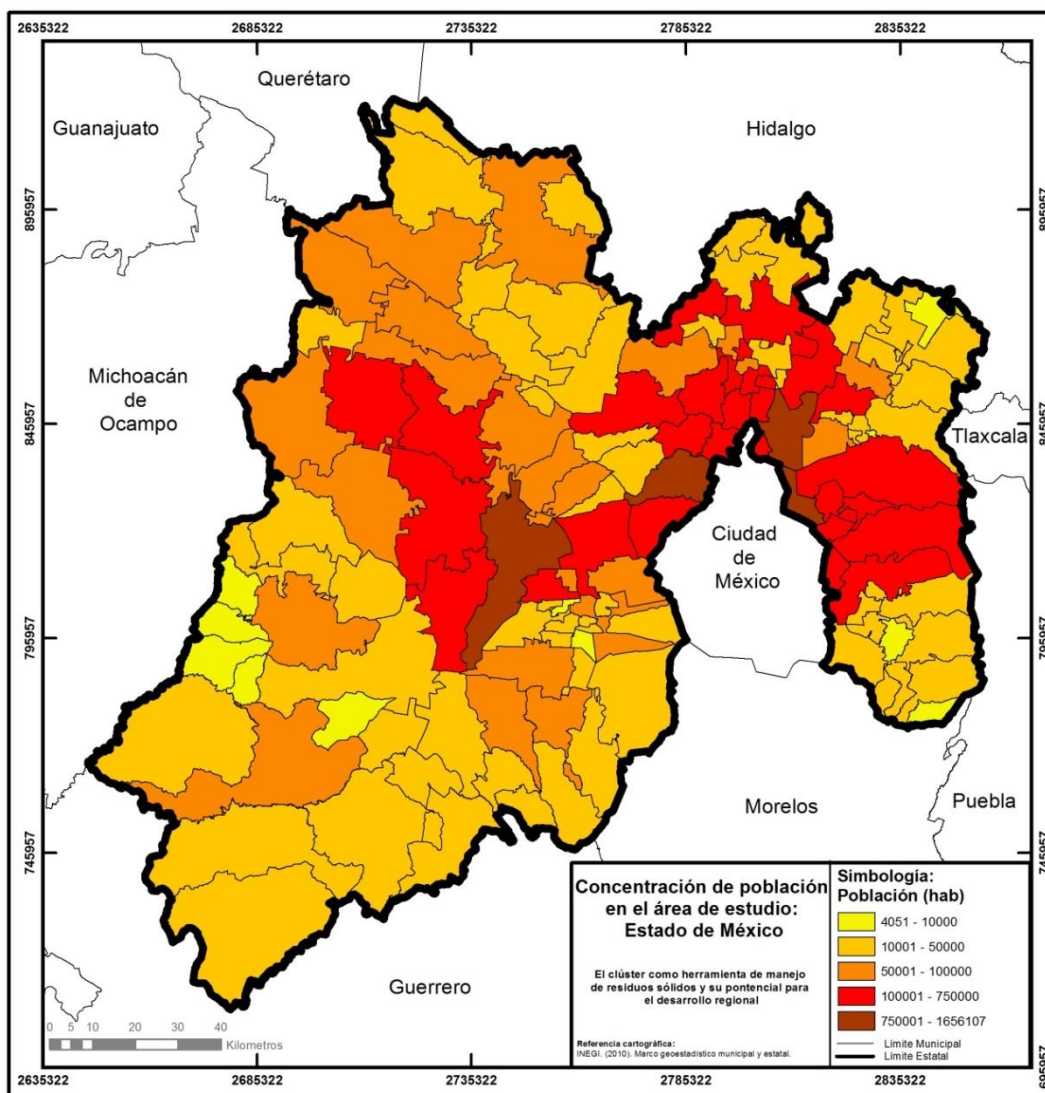


Figura 4.1. Concentración de población en el área de estudio: Estado de México.

Fuente: Propia con información de INEGI (2010).

En la figura 4.1 se observa que los municipios conurbados a la Ciudad de México presentan poblaciones superiores a los 100,000 habitantes, así como Toluca, cabecera estatal. Los municipios con menor población se encuentran en la zona suroeste, colindante con el Estado de Guerrero, sureste, colindantes con los Estado de Puebla y Morelos, y noroeste, colindantes con el Estado de Hidalgo.

4.3. Análisis del sistema de manejo de residuos sólidos urbanos

Con base en el cuestionario aplicado a los responsables de los Servicios de Aseo Urbano (SAU) de cada municipio, se describen a continuación los aspectos técnicos y operativos más relevantes del manejo de residuos sólidos urbanos (RSU). Para la realización de este análisis se consideraron los siguientes elementos del sistema de manejo y valorización de RSU:

- Generación, clasificación y almacenamiento de RSU en los domicilios,
- Recolección de RSU,
- Tratamiento,
- Valorización,
- Disposición final,

Dentro de los esquemas de los SAU, se han tomado en cuenta el elemento de valorización como parte integral del manejo de residuos, ya que es en este punto donde se recuperan y tratan los materiales para luego integrarlos como suministro las industrias o como material de exportación.

En la figura 4.2 se presenta la deducción del esquema general de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos en el Estado de México, con base en la división del servicio de recolección para el sector público y privado, y su relación con las empresas de valorización y la industria consumidora de materias primas secundarias.

El esquema muestra los puntos del sistema donde se realizaron las encuestas, que son los siguientes: la generación, la “pepena” (acopios informales) y las empresas de tratamiento de residuos (valorización).

Dentro de los subsistemas de manejo de residuos sólidos, se deben diferenciar dos áreas: la zona formal y la informal. La zona formal la componen las etapas controladas por el municipio y empresas privadas que, debido a su tamaño y producción, deben declarar a organismos oficiales su operación. La zona informal la componen comercios y pequeñas empresas de transporte que operan al margen de la ley, por lo que no realizan declaración alguna de sus operaciones.

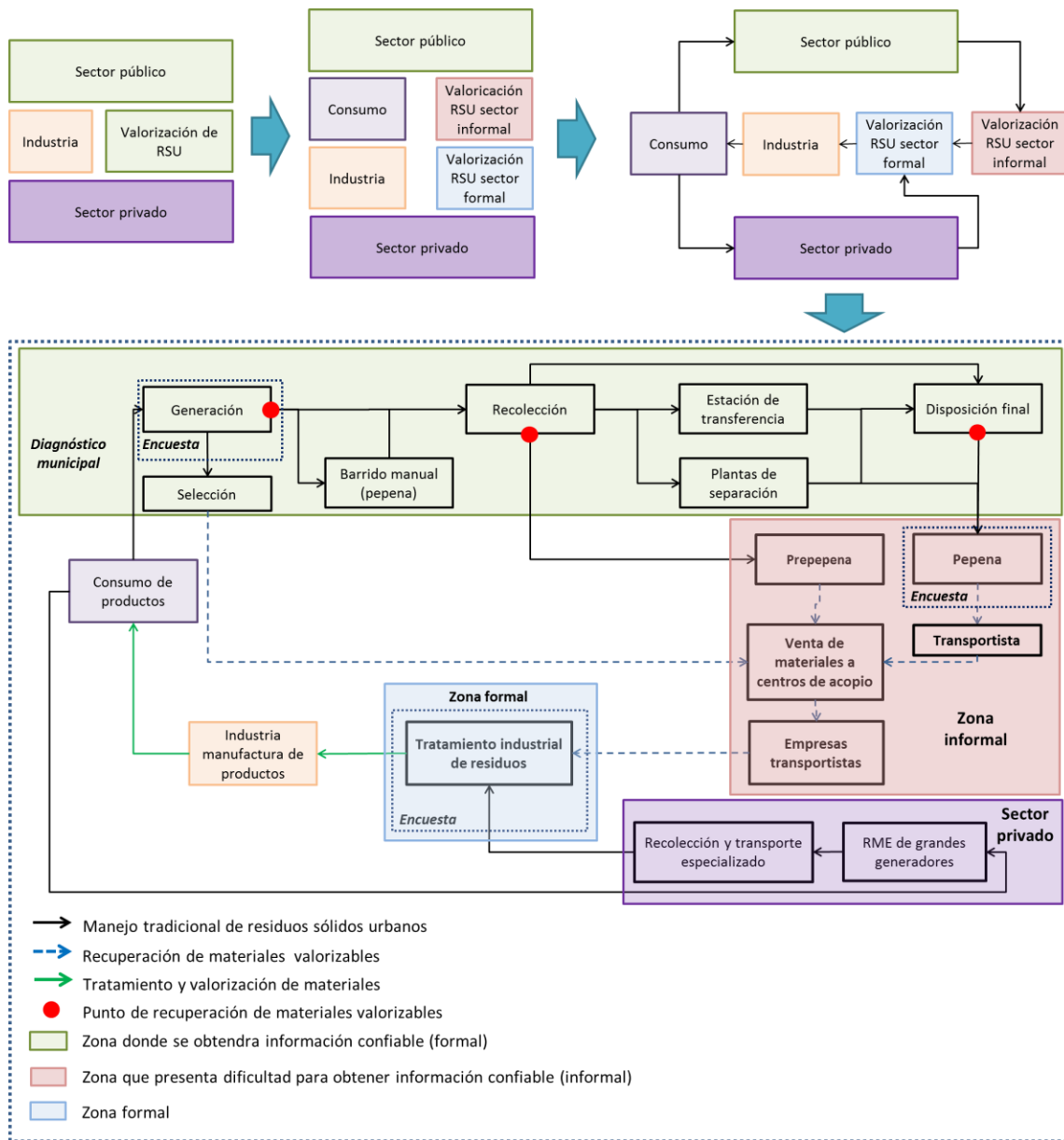


Figura 4.2. Esquema general de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos en el Estado de México.

Fuente: Propia.

Con el objetivo de realizar un muestreo aleatorio y representativo en el Estado, se realizaron 16 campañas de generación y clasificación de residuos empleando las Normas Mexicanas (NMX), para estudios de generación de residuos sólidos, considerando tres estratos socioeconómicos. Los municipios se agruparon de acuerdo con características físicas y socioeconómicas, mediante una taxonomía numérica, técnica de estadística multivariante, cuya finalidad es dividir un conjunto de objetos en grupos con características similares (demografía, nivel de ingreso, composición de los residuos, etc.), permitiendo estimar la generación de residuos de cada municipio y expandirla al resto para obtener una generación total estatal.

Los municipios se agruparon en cinco categorías, siendo el número I los más rurales y el V los más grandes y urbanizados.

Tabla 4.1. Municipios seleccionados para la determinación de la generación y composición de los residuos en el Estado de México

Grupo	Municipio
I	Ecatepec de Morelos
	Nezahualcóyotl
II	Naucalpan
	Toluca
	Tlalnepantla
III	Ixtapaluca
	Tecámac
	Tultitlán
IV	Teotihuacán
	Tenango del Aire
	Atlacomulco
	Valle de Bravo
V	El Oro
	Aculco
	Amanalco
	Texcaltitlán

Fuente: CMM (2015).

4.4. Generación

Los estudios de generación se llevaron a cabo en los 16 municipios seleccionados (CMM, 2015), con base en las especificaciones técnicas correspondientes a las NMX-AA-61-1985, para la determinación de la generación, a la NMX-AA-15-1985, para el método de cuarteo, tomando un muestreo aleatorio de viviendas con un intervalo de confianza representativo, durante un periodo de ocho días continuos. De acuerdo con lo indicado por la norma, se descartaron las muestras del primer día como purga de la metodología planteada.

Los resultados de la generación de RSU en los municipios muestreados se presentan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Generación promedio de residuos sólidos urbanos (RSU).

Municipio	Generación per cápita por estrato (kg/hab/día)			Generación per cápita ponderada (kg/hab/día)	Generación promedio por grupo (kg/hab/día)	Grupo
	Alto	Medio	Bajo			
Ecatepec	0,679	0,486	0,613	0,528	0,508	I
Nezahualcóyotl	0,588	0,501	0,444	0,488		
Naucalpan	0,598	0,349	0,344	0,363	0,493	II
Toluca	0,461	0,444	0,388	0,431		
Tlalnepantla	0,643	0,731	0,570	0,686		
Ixtapaluca	0,462	0,390	0,429	0,401	0,458	III
Tecámac	0,478	0,467	0,529	0,484		
Tultitlan	0,442	0,559	0,319	0,490		
Atacomulco	0,526	0,317	0,337	0,329	0,374	IV
Tenango del Aire		0,401	0,330	0,374		
Teotihuacan		0,265	0,282	0,267		
Valle de Bravo	0,626	0,593	0,414	0,526		
Aculco		0,436	0,320	0,371	0,361	V
Amanalco		0,318	0,305	0,310		
El Oro		0,469	0,390	0,428		
Texcaltitlán		0,323	0,350	0,334		

Fuente: CMM (2015).

Se puede observar cómo el grupo I tiene una mayor generación per cápita, asociada a los municipios con mayor población. Así mismo, los municipios más pequeños, correspondientes al grupo V, tiene la más baja generación per cápita.

De acuerdo a CMM (2015), la generación total a nivel estatal de residuos sólidos urbanos domiciliarios, objetivo de este trabajo, ascienden a 7,233 toneladas al día. Así mismo, los residuos provenientes de otras fuentes, principalmente de comercio e industria, ascienden a 5,369 toneladas al día. Ambas fuentes suman una generación per cápita total de 0.742 kg/hab/día, y a nivel estatal, para el año 2014, suman una generación total de 12,602 toneladas al día de residuos sólidos.

La generación per cápita y total para cada municipio se presenta en el Anexo 2.

4.4.1. Clasificación de los residuos sólidos domiciliarios

Con base en la clasificación de residuos sólidos urbanos propuesta (Anexo 3), los materiales se agruparon en tres: fracción orgánica, potencialmente valorizables y otros residuos.

La fracción orgánica están compuestos por los siguientes materiales:

- residuos de alimento,
- residuos de jardín y poda,
- hueso,

- madera.

Los residuos potencialmente valorizables están compuestos por los siguientes materiales:

- Papel: periódico, revistas, papel, Kraft.
- Cartón: cartón, corrugado, pulpa moldeada, liso y dúplex.
- Plásticos: PET, HDPE, LDPE, PP y PS.
- Tetrabrik.
- Vidrios: transparente, café y verde.
- Metales: hojalata, aluminio, cobre, bronce, estaño, fierro y otros metales.
- Eléctricos.
- Electrónicos.

El resto de los residuos se considera como rechazo, ya que no tiene actualmente un valor comercial. Se presenta en la Figura 4.8 la distribución porcentual de las fracciones por grupo de municipios.

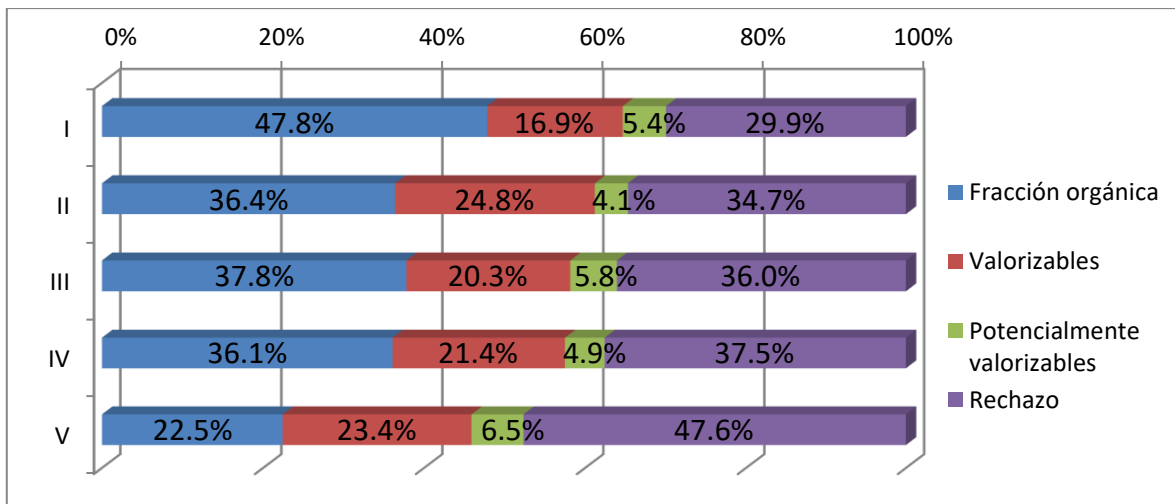


Figura 4.3. Distribución de las fracciones de residuos por grupo de municipios.

Fuente: Adaptado de CMM (2015).

Los valores de materia orgánica y valorizables presentados en la figura 3.4 son más altos que los reportados por Rudder *et al.* (2005) para las ciudades de Halifax y Edmonton, Canadá. Para Halifax los porcentajes son 30% orgánico, 15% valorizables y 55% residuos de rechazo, mientras que para Edmonton los porcentajes son 28% de orgánico y 15% reciclables.

De igual manera, se observa como el grupo V, donde se encuentran los municipios pequeños y rurales, presenta mayor porcentaje de materiales valorizables que el grupo I, donde están los municipios más grandes y urbanizados.

Si bien un municipio grande cumple con la masa crítica para que la instalación de una planta de recuperación sea viable económicamente, es necesario establecer cuántos municipios medianos o pequeños se requieren para cumplir con la condicionante de masa crítica para la instalación de infraestructura de valorización, así como para definir cuál sería la mejor ubicación.

4.4.2. Separación de residuos sólidos domiciliarios en la fuente

Minimizar la generación de residuos en la fuente permite una reducción de los costos del sistema de aseo urbano. Así mismo, es necesario separar los residuos para que la infraestructura de aprovechamiento que pueda existir incremente los porcentajes de recuperación de materiales reciclables, reduciendo los que van a disposición final.

Las encuestas aplicadas entre agosto y octubre del 2014 a los domicilios, permiten obtener una visión general de los intereses de cada grupo social. Esto permite crear las directrices de los programas de educación ambiental y valorización focalizados para cada segmento.

Se realizaron cuatro preguntas asociadas al tema de valorización, cuyos resultados se presentan a continuación.

Los resultados de la pregunta “¿Separa usted sus residuos?” se presentan en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Resultados de la pregunta “¿Separa usted sus residuos?”

Estrato	Si	No	No sabe	No contestó
Alto	50.9%	44.8%	0.9%	3.4%
Medio	39.4%	58.0%	0.8%	1.8%
Bajo	45.1%	51.2%	1.0%	2.7%
Promedio	44.2%	52.4%	0.9%	2.5%

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

De acuerdo con los resultados obtenidos, en promedio, el 44.2% de la población afirma separar sus residuos, siendo el estrato alto el que dice participar más de esta actividad, con un 50.9%, y el medio el que dice participar en menor medida, con un 39.4%.

Los resultados de la pregunta “¿Cuáles residuos separa usted?”, referida a cuáles son los residuos que frecuentemente separa, los resultados se presentan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultados de la pregunta “¿Cuáles residuos separa usted?”

Estrato	Aluminio	Cartón	Papel	PET	HDPE	Orgánicos	Inorgánicos	Otros
Alto	10.2%	9.4%	8.9%	21.4%	1.9%	24.5%	23.0%	0.8%
Medio	11.8%	11.2%	9.9%	17.1%	2.6%	24.2%	23.1%	0.4%
Bajo	16.0%	14.8%	9.8%	23.1%	2.3%	17.6%	15.4%	1.1%
Promedio	13.1%	12.2%	9.6%	20.3%	2.3%	21.7%	20.1%	0.7%

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

Conforme a los resultados obtenidos se puede afirmar que en promedio, las personas encuestadas dicen poner mayor interés en separar la fracción orgánica de los residuos, con un 21.7%. Respecto a los materiales con valor comercial, los que presentan mayor proporción son el PET y el aluminio, con un 20.3% y 13.1% respectivamente.

Se puede observar cómo los estratos bajos, a diferencia de los estratos medios y alto, presentan menor interés en separar los residuos orgánicos. Sin embargo, presentan mayor interés en separar los residuos con alto valor comercial, como el PET y el aluminio, con un 23.1% y 16.0% respectivamente.

Respecto a la pregunta “¿Cómo los aprovecha?”, los resultados se presentan en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Resultados de la pregunta “¿Cómo los aprovecha?”

Estrato	Vende	Dona	Entrega al servicio de recolección	No contestó
Alto	12.1%	7.4%	44.8%	35.7%
Medio	15.6%	6.0%	36.1%	42.3%
Bajo	25.5%	9.4%	23.2%	42.0%
Promedio	18.7%	7.6%	33.0%	40.7%

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

De acuerdo con la tabla 4.5, el 33.0% de las personas encuestadas entrega sus residuos separados al servicio de recolección. Sin embargo, el estrato bajo presenta un alto porcentaje, 25.5%, que comercializa sus productos, obteniendo con esto un ingreso extra.

Respecto a la segunda parte de la pregunta “¿Cómo los aprovecha?”, cuyo objetivo es determinar qué materiales son los más comercializados por las personas encuestadas, los resultados se presentan en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Resultado de la segunda parte de la pregunta “¿Cómo los aprovecha?”: materiales que presentan mayor interés en la población para su comercialización.

Estrato	Aluminio	Cartón	Papel	PET	HDPE	Orgánicos	Inorgánicos	Otros
Alto	27.9%	19.0%	13.8%	36.9%	2.2%	0.0%	0.0%	0.3%
Medio	31.8%	17.1%	9.9%	38.4%	2.7%	0.1%	0.0%	0.0%
Bajo	31.6%	19.3%	9.1%	34.9%	2.8%	1.0%	1.0%	0.4%
General	30.97%	18.33%	10.28%	36.65%	2.67%	0.46%	0.39%	0.22%

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

El PET y el aluminio son los materiales que presentan mayor interés en general para ser comercializados, con un 36.65% y 30.97% respectivamente.

Los resultados obtenidos permiten establecer líneas estratégicas para la recuperación y valorización de materiales reciclables por estrato social, presentando el estrato medio y bajo un alto potencial de participación en las actividades de valorización de residuos sólidos.

4.5. Recolección de residuos sólidos urbanos

La recolección es la fase más costosa dentro del sistema de manejo de residuos sólidos urbanos. Este tiene como objetivo primordial recolectar los residuos y transportarlos a los centros de tratamiento o a un sitio de disposición final.

De los 125 municipios visitados, 96 recolectan sus residuos con vehículos propios y administración directa, 24 lo hacen con apoyo de particulares o permisionarios y solo cinco conceden la recolección completa a particulares.

Los vehículos particulares operan bajo un esquema de servicio por propina, aprovechando además la venta de materiales reciclables que puedan recuperar en cada ruta. Por lo anterior, cada ruta tiene un valor intrínseco respecto a la tarifa que puede imponer por sector a los domicilios, así como el tipo y cantidad de materiales que pueden contener los residuos.

Esto incide en la cobertura del servicio, ya que los particulares se concentran en las zonas de estrato alto o comercial, por existir un mayor porcentaje de materiales valorizables.

Para la obtención de la **eficiencia del servicio de recolección**, primero se debe estimar la cantidad de residuos que recolecta el ayuntamiento. Dicha estimación se realiza con base en el número de vehículos que posee el ayuntamiento, su capacidad, cantidad de personal reportado por vehículos, el número de viajes que realiza a la semana y el porcentaje de llenado del camión, obteniendo como resultado la **eficiencia del personal por el número de toneladas recolectadas**.

Con base en la información entregada por el “Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México”, se presentan en la figura 4.4 las eficiencias de recolección de residuos por municipio, expresada en toneladas por trabajador por jornada (ton/trab/jor).

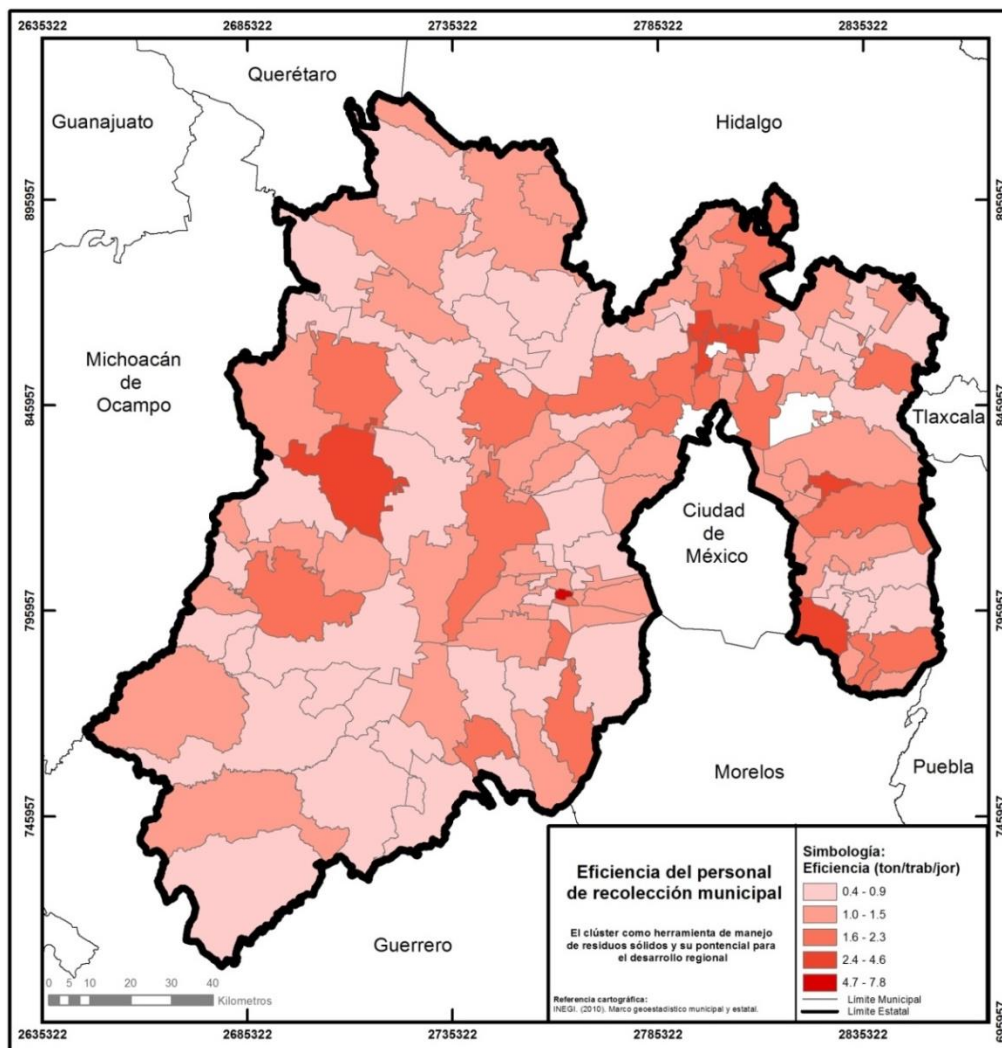


Figura 4.4. Eficiencia de la recolección de RSU por municipio en el Estado de México.

Fuente: Propia con datos de CMM (2015).

Se puede observar en la figura 4.4 cómo los municipios conurbados a la Ciudad de México y a Toluca, presentan en su mayoría mayor eficiencia de recolección de residuos. Esto podría responder, en primera instancia, a la disponibilidad de infraestructura y personal para atender la demanda de recolección de residuos en el municipio.

La **cobertura del servicio de recolección** es el porcentaje de la población que cuenta con servicio de recolección de RSU y se obtiene con base en el número de viajes que se reportaron en las encuestas aplicada a los SAU (CMM, 2015). Para la obtención de la cantidad de residuos transportada en cada viaje, se estimó un peso volumétrico de los residuos en cada vehículo de recolección con base en muestreos aleatorios. Dicha estimación nos permite obtener un valor de eficiencia promedio del servicio de recolección con base en la cantidad de residuos recolectados promedio diario. La capacidad de recolección estimada se divide entre la generación obtenida en la estimación del estudio de generación realizado en CMM (2015).

En la figura 4.5 se muestran los porcentajes de cobertura de recolección de residuos por municipio en todo el Estado de México.

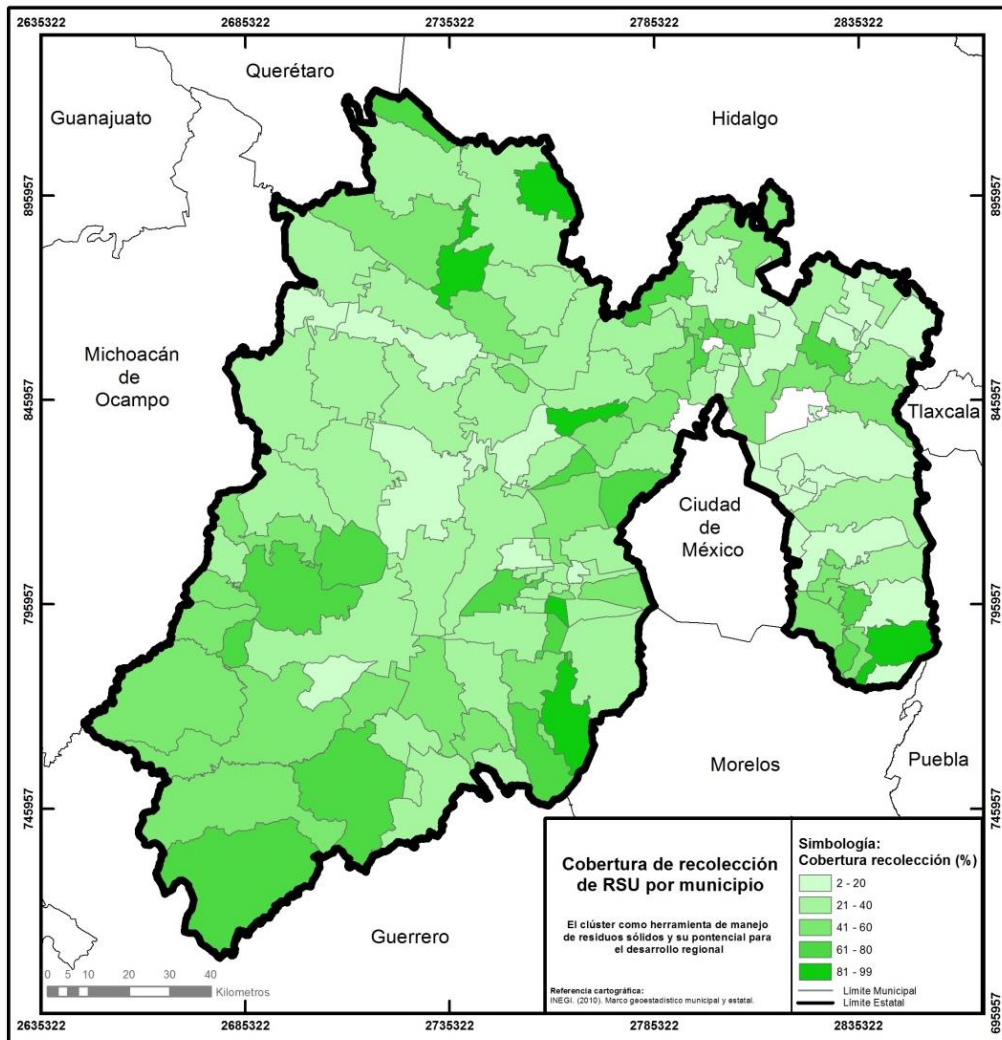


Figura 4.5. Cobertura de recolección de residuos por municipio, en el Estado de México.

Fuente: Propia con datos de CMM (2015).

En la figura 4.5 se observa que los municipios rurales tienen porcentaje de cobertura más alto que los más urbanos. Es posible que esto se deba a dos razones: gran parte de la población se encuentra concentrada en la cabecera municipal y que la extensión de dicha cabecera es pequeña, permitiendo la entrega del servicio de recolección de forma más eficiente.

El cálculo del **costo unitario directo de recolección** (CMM, 2015), expresado en pesos por tonelada recolectada, se obtiene al sumar todos los costos que se erogan por cada camión de recolección (que son los gastos de combustible, mantenimiento y salarios de las cuadrillas) dividido entre las toneladas que se recolectan en un periodo de análisis. El resultado es el costo total mensual entre la recolección total mensual estimada, expresado en (\$/ton).

En la figura 4.6 se presentan los costos unitarios de recolección, expresados en pesos por tonelada, para los municipios del Estado de México.

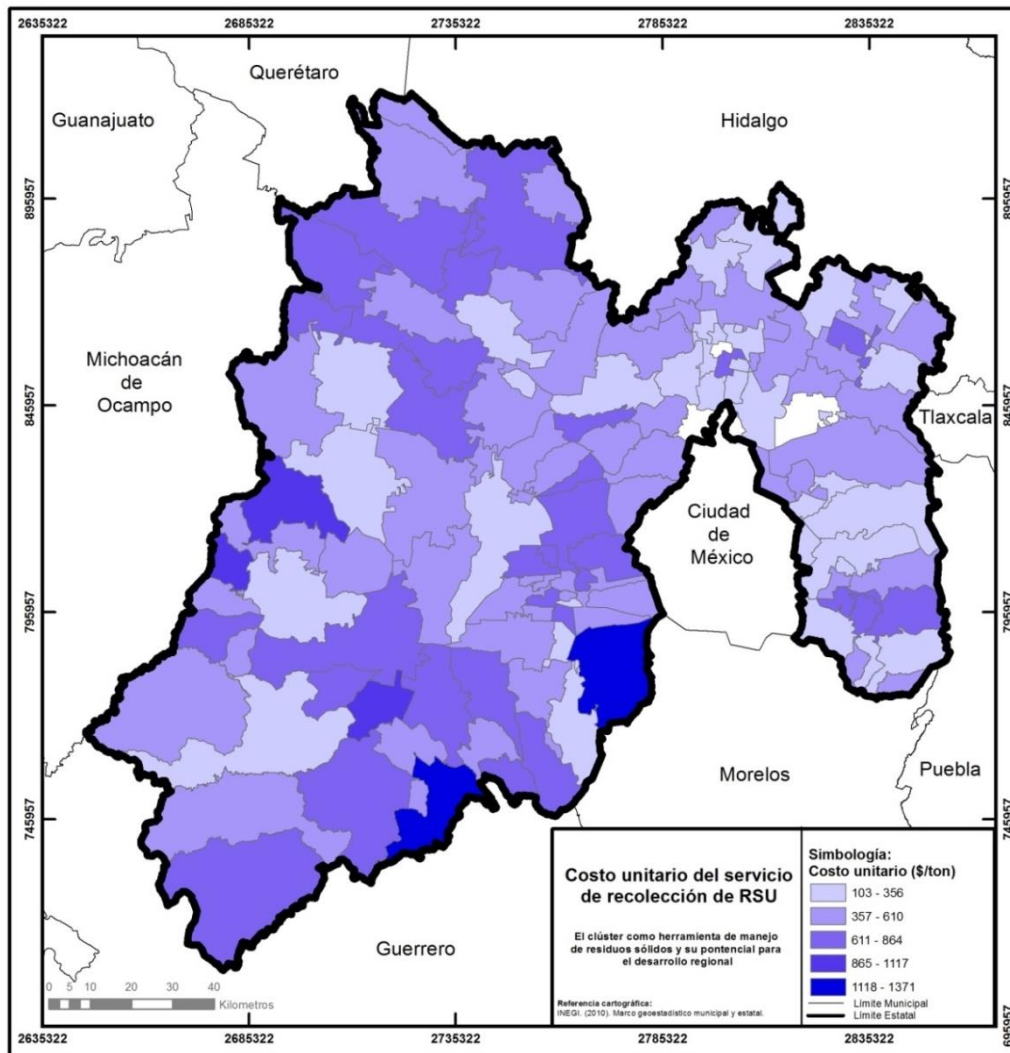


Figura 4.6. Costo del servicio de recolección por municipio en el Estado de México.

Fuente: Propia con datos de CMM (2015).

Se puede observar en la figura 4.6 que existe una relación entre los municipios que presentan los costos de recolección más altos y los más ineficientes. Por lo anterior, se podría establecer que los municipios que presentan una alta ineficiencia incurrir en altos costos de operación, lo que contribuye en una demanda de recursos mal empleados para el municipio. En las visitas a campo se pudo observar que la recuperación y acomodo de materiales reciclables consume cantidades de tiempo considerable en las actividades de recolección de residuos, es por eso que en algunos municipios está restringida dicha actividad.

La recuperación de materiales reciclables en los sistemas de recolección de residuos es algo muy frecuente. En algunos casos, los vehículos de recolección son modificados en su estructura por el personal de los Sistemas de Aseo Urbano, con el fin de aprovechar los espacios disponibles para

almacenar los materiales reciclables. De igual manera, se emplean costales de gran tamaño, utilizados para transportar granos a granel, para acopiar y transportar los materiales recuperados. Debe tomarse en cuenta que al retirar los materiales antes de ser compactados, permite incrementar la capacidad de carga del vehículo, así como evita que los materiales se contaminen entre sí, facilitando su posterior comercialización.

En la figura 4.7 se presentan las alternativas más comunes utilizadas por el personal de los servicios de recolección para acopiar materiales reciclables en el camión.



Figura 4.7. Acopio de materiales reciclables en vehículos de recolección.

Fuente: Propia.

Es importante destacar que el transporte, el acceso y la cercanía a puntos de comercialización de materiales reciclables, facilita de manera significativa las dinámicas económicas en torno a la valorización. Si bien en los grandes centros urbanos es fácil encontrar puntos para comercializar los materiales valorizados, en los municipios rurales dichos puntos se encuentran dentro o en entorno a los sitios de disposición final de RSU.

4.6. Tratamiento

Son pocos los municipios encuestados que realizan algún tipo de tratamiento o aprovechamiento de los residuos sólidos. De los 125 municipios solo nueve realizan tratamiento a la fracción orgánica. En la tabla 4.7 se presentan los tipos de tratamiento realizados.

Tabla 4.7. Tratamiento de residuos sólidos disponibles en los municipios.

MUNICIPIO	MUNICIPAL O PRIVADA	TIPO DE TRATAMIENTO	CAPACIDAD (TON/DÍA)	CANTIDAD DE PERSONAL
Atizapán de Zaragoza	Municipal	Composta	10	1
Capulhuac	Municipal	Lombricultura + composta	20	6
Xalatlaco	Municipal	Composta	Sin datos	Sin datos
Mexicaltzingo	Privada	Composta	3	Sin datos
Nicolás Romero	Privada	Fertilizante	Sin datos	Sin datos
Tepetzotlán	Privada	Composta	Sin datos	5
Tequixquiac	Municipal	Composta	Sin datos	2
Tonatico	Municipal	Composta	2	1
Cuautitlán Izcalli	Municipal	Composta	Sin datos	Sin datos

Fuente: CMM, 2015.

El 67% de las plantas está a cargo del municipio, siendo tres los principales tipos de tratamiento: composta, lombricomposta y fabricación de fertilizante orgánico. Respecto a los costos de operación, cantidad de personal e infraestructura y equipo utilizado en la operación, en la mayoría de los casos no se proporcionó información.

Actualmente el mercado para el material compostado es incipiente, sin embargo, no es el caso de los fertilizantes orgánicos, los cuales tiene mucha mejor aceptación entre los agricultores. Por lo anterior, si bien este tipo de tratamiento es una alternativa viable, sigue siendo marginal respecto a la dinámica económica en torno a los materiales inorgánicos valorizados.

4.7. Disposición final

Como parte del diagnóstico de los Servicios de Aseo Urbano, se realizó una visita a los sitios de disposición final (SDF) ubicados en cada municipio, con el fin de conocer las condiciones de operación y cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003, así como establecer si se realizan actividades de valorización, infraestructura disponible para dicha actividad, cantidades de materiales recuperados y precios de venta.

Para cada sitio de disposición se obtuvieron las coordenadas geográficas, con el objetivo de evaluar el cumplimiento de las restricciones de ubicación indicadas en la Norma. También se georreferenciaron las actividades de valorización, en torno al sitio de disposición final (SDF). Se presenta en la figura 4.8 la ubicación y cumplimiento de la Norma de los SDF en cada municipio visitado.

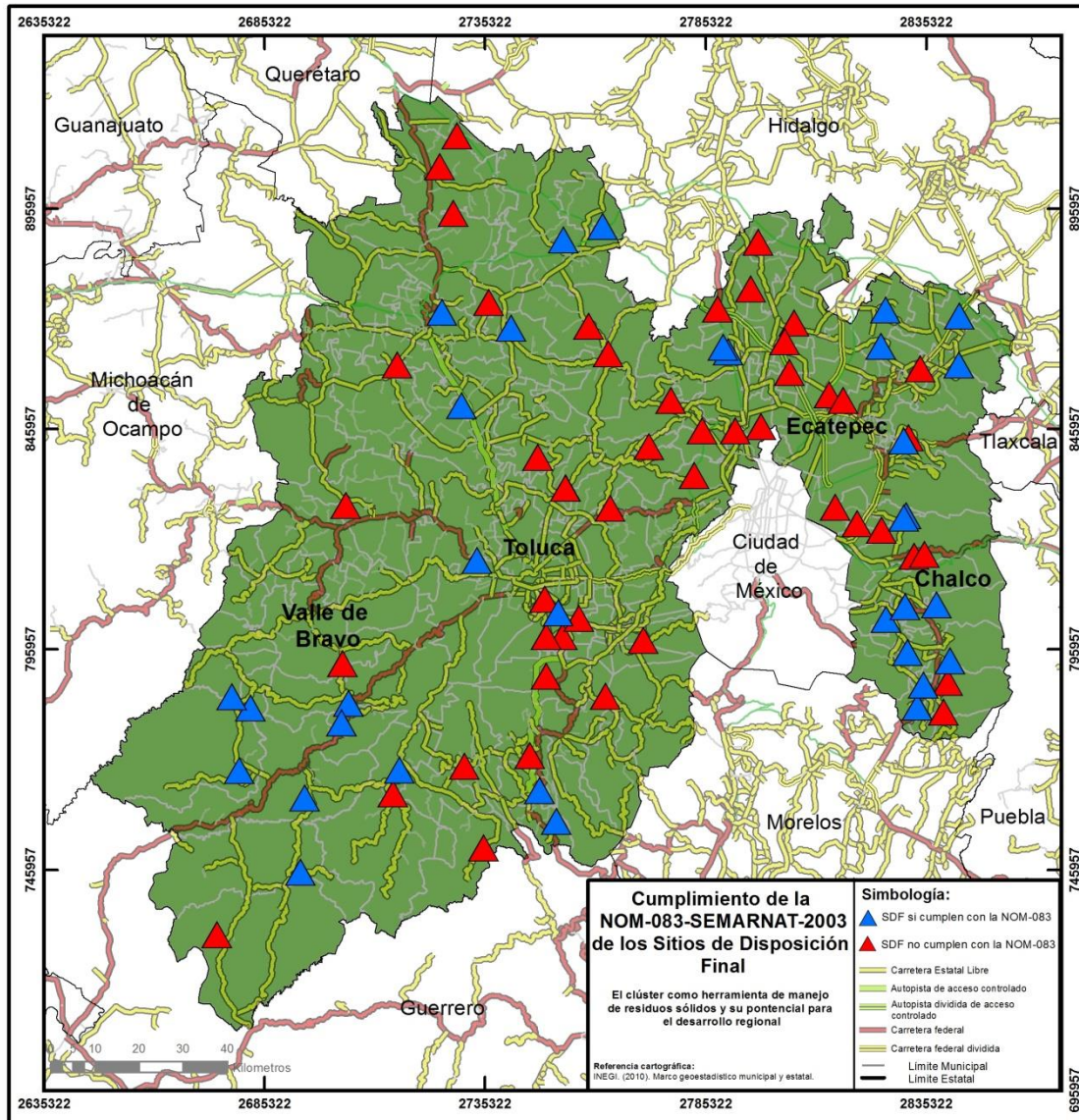


Figura 4.8. Ubicación y cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 de los SDF visitados.

Fuente: Propia con datos de CMM (2015).

Se muestra en la figura 4.8 la ubicación de los SDF que cumplen con la NOM-083-SEMARNAT-2003 y los que no. Se observa que los municipios más rurales tienen a cumplir con la norma, no así con los municipios ubicados en torno a la Ciudad de México.

Se visitaron 81 sitios de disposición final, de los cuales cuatro se encuentran fuera de operación, pero en condiciones de abandono, y cinco están regularizados en modo clausura de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003. De los restantes, 17 cumplen con algunos aspectos de la Norma y se clasifican como relleno sanitario, 23 sitios tienen algún control por parte de los servicios de aseo urbano, pero no cumplen con la Norma y 27 son tiraderos a cielo abierto sin control.

Se debe tomar en cuenta que las actividades de valorización se ven impactadas por el cierre o apertura de un sitio de disposición final, modificando los flujos de material recuperados.

De igual manera, Scheinberg (2011) plantea que existe una relación directa entre las altas tasas de recuperación de materiales reciclables y los costos a pagar en los sitios de disposición final, o sea, un alto precio por la eliminación o disposición de residuos tiene el efecto de más recuperación de residuos, lo que genera cadenas de valor en torno a estos.

4.8. Revisión del sistema actual de valorización de residuos sólidos urbanos

En las tres últimas décadas, el crecimiento demográfico e industrial en el Estado de México, así como los hábitos de consumo de productos desechables, han modificado significativamente la cantidad y composición de los residuos sólidos urbanos. Por lo anterior, las actividades de valorización de materiales reciclables adquieren mucha relevancia, ya que reducen de manera significativa los residuos que van a disposición final y generan un impulso a las actividades económicas relacionadas al tema en la región.

4.9. Estudio de valorización de residuos sólidos urbanos

El estudio de valorización abarca las actividades realizadas en la fuente de generación, los centros de acopio informal y las empresas de tratamiento y valorización.

Para las actividades de valorización realizadas en la fuente de generación se aplicaron 3,360 encuestas en domicilios, abarcando los tres estratos sociales existentes en los municipios. Esto permite tener una visión global de la participación ciudadana en las actividades de separación y recuperación de materiales reciclables.

En la figura 4.9 se presenta el formato de cédula de encuesta aplicada a los domicilios.

CÉDULA DE ENCUESTA PARA APLICACIÓN A DOMICILIOS
Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de
los Residuos Sólidos Urbanos del Estado de México



Datos generales															
Municipio:						Fecha: Hora:				Estrato:					
Encuestador:						Sector:				Clima:					
Asignación de número de cédula: se indica en el cuadrante achurado A: estrato alto, M: estrato medio y B: estrato bajo, acompañado del número consecutivo de cédula aplicada.															
ID	Dirección:					Coordenadas:			Tipo de almacenamiento temporal (bolsa, contenedor, caja)						
	Nº de habitantes														
1	¿Cree que es importante cuidar y mejorar la calidad del medio ambiente?					Si	No	No sabe	No contestó						
2	¿Considera que separando sus residuos contribuye al cuidado del medio ambiente?					Si	No	No sabe	No contestó						
3	¿Usted separa sus residuos?					Si	No	No sabe	No contestó						
4	¿Cuáles?	Aluminio	Cartón	Papel	PET	HDPE	Orgánicos	Inorgánicos	Otros:						
5	¿Cómo los aprovecha?		Vende	Dona		Entrega al servicio de recolección		Otro (especificar)							
	Precios de venta	Aluminio	Cartón	Papel	PET	HDPE	Orgánicos	Otros:							
		\$/kg	\$/kg	\$/kg	\$/kg	\$/kg	\$/kg								
6	Respecto al servicio de recolección ¿Con qué frecuencia pasa el camión de recolección por sus residuos?								Diario	Dos veces	Tres veces	Más de tres veces			
7	¿Con qué frecuencia por semana usa usted el servicio de recolección de residuos?								Diario	Dos veces	Tres veces	Más de tres veces			
8	Por favor indique la forma en cómo se hace la recolección de residuos en su calle					Acera	Esquina		Intradomiciliario		Contenedor				
9	¿Qué hace con sus residuos cuando el camión recolector no brinda el servicio?					Los guarda		Los quema		Los dejar en el contenedor más cercano					
						Los deja en la calle		Se los da al servicio de barrido		No sabe		No contestó			
10	¿Paga por el servicio de recolección de residuos?					Si	¿Cuánto?		No	No sabe	No contestó				
11	¿Entrega propina al personal de recolección por el servicio?					Si	¿Cuánto?		No	No sabe	No contestó				
12	¿Cómo califica el servicio de recolección de residuos?					Pésimo	1	Malo	2	Regular	3	Bueno	4	Excelente	5
13	¿Cuánto estaría dispuesto a pagar como tarifa semanal por un mejor servicio?					Nada	\$1 - \$5		\$6 - \$10		\$11 - \$15		\$16-\$20		\$21-\$25

Figura 4.9. Encuesta tipo aplicada a domicilios.

Fuente: CMM (2015).

Para el estudio de las empresas de tratamiento y valorización se utilizó el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), publicado por el INEGI. Con base en la información entregada en el DENUE, se pudo observar en campo que la información publicada sobre las unidades económicas catalogadas como “Comercio al por mayor de materiales de desecho” (Código 4343), donde el tamaño de las unidades económicas fluctúa entre 1 y 10 personas, registra algunos errores. Es posible que esta baja fiabilidad de la información se deba a la economía de supervivencia a que

se ven sujetas dichas unidades económicas, por la cantidad de materiales que manejan, así como por los cambios de administración municipales y sus condiciones para desarrollar la actividad. En las empresas que cuentan con más de 10 personas, la información publicada es medianamente confiable.

Respecto a los acopios informales, solo se han considerado los que se ubican al interior de los sitios de disposición final, o en sus inmediaciones. Las personas que realizan esta actividad, que son conocidas comúnmente como “pepenadores”, solo cuentan con permisos verbales por parte de la autoridad a cargo de los Servicios de Aseo Urbanos (SAU), realizando dicha actividad muchas veces en condiciones deplorables y sin la infraestructura mínima para protegerse las condiciones climáticas adversas.

En cada visita se entrevistó al encargado de cada centro de acopio informal (AIN) y de cada empresa de tratamiento y valorización (ETV), levantándose una encuesta con la información más relevante de cada instalación. Con los datos recabados se generaron bases de datos geoespaciales, tanto para los centros de acopio informales como para las empresas de tratamiento y valorización.

4.10. Resultados del estudio de los acopios informales y empresas de tratamiento y valorización

De acuerdo con el esquema de manejo y valorización de los residuos sólidos urbanos (Figura 4.2), las agrupaciones sociales e infraestructura precaria ubicados dentro del área de los sitios de disposición final o en sus inmediaciones se consideraron como Acopios Informales, aplicando la cédula de encuesta correspondiente (Anexo 4).

De igual forma, se consideró como Empresa de Tratamiento y Valorización, a las instalaciones que cuentan con un mínimo de infraestructura, como un techo para proteger los materiales, personal capacitado, una báscula y capacidad económica para la compra de materiales. Así mismo, para este tipo de unidades económicas se aplicó la cédula de encuesta respectiva (Anexo 4).

Se presenta en la figura 4.10 la ubicación de los acopios informales y empresas de tratamiento y valorización encuestadas.

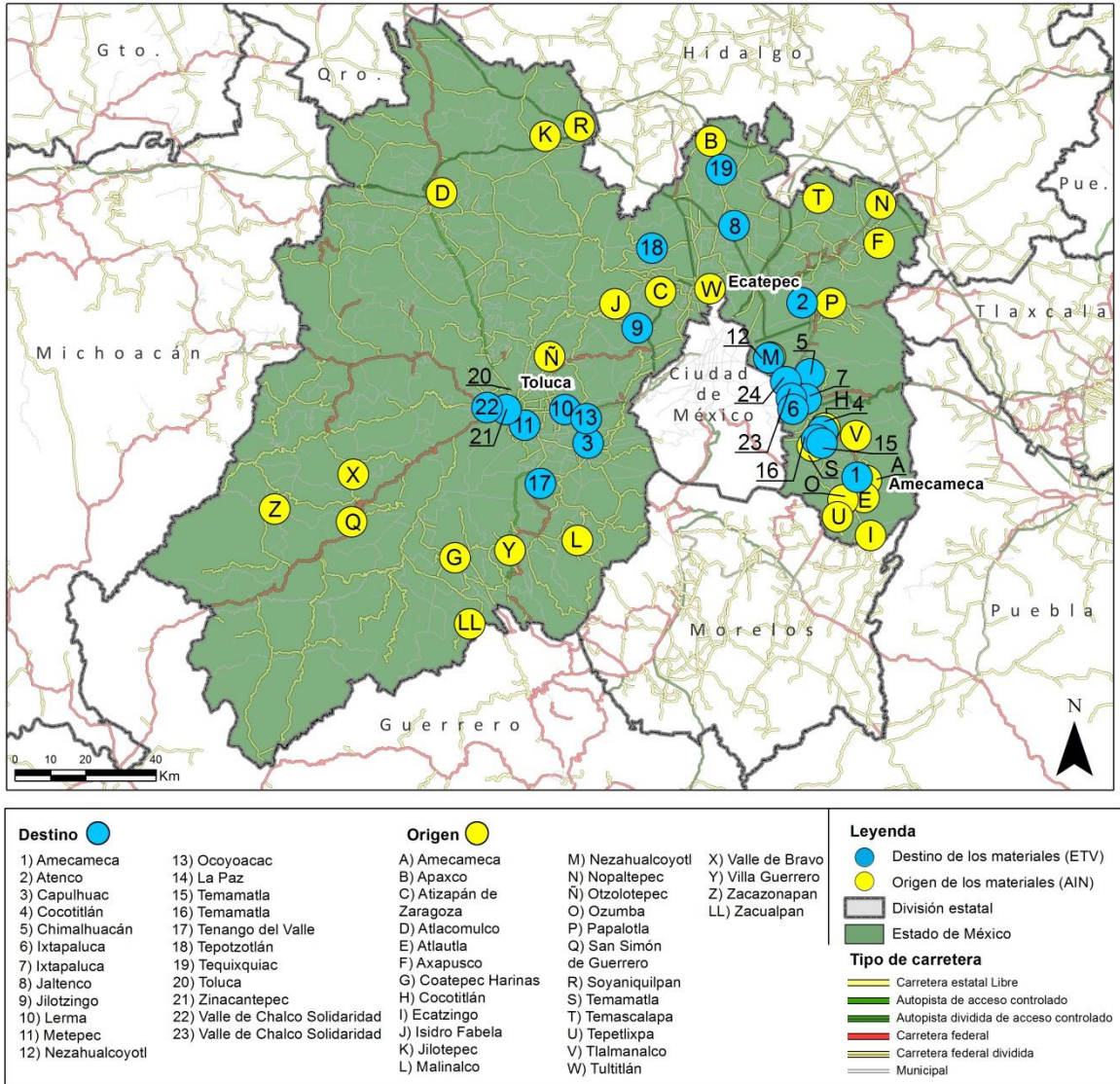


Figura 4.10. Distribución espacial de los acopios informales (AIN) y las empresas de tratamiento y valorización (ETV) encuestadas.

Fuente: Propia con datos de CMM (2015).

Se puede observar en la figura 4.10 que los 28 AIN encuestados están distribuidos de manera homogénea en el Estado y son accesibles a través de autopistas, carreteras federales y, sobre todo, carreteras estatales libres. La falta de información en algunos AIN se debió a que: i) no se encontraron actividades de valorización en los SDF, ii) se observaron actividades de valorización en los SDF, pero no se encontraron personas para aplicar las encuestas, iii) no había disponibilidad por parte de los “pepenadores” para ser encuestados, y iv) por motivos de seguridad no se aplicaron las encuestas. Si bien en algunos sitios de disposición no se levantaron encuestas, se cuenta con la ubicación de todos los SDF del Estado de México y su categorización de acuerdo con la normatividad actual (SEMARNAT 2003).

Existen grandes variaciones respecto a la cantidad que puede recuperar un acopio informal a otro, pudiendo ir de 4 kg/día de materiales (como actividad secundaria de una familia de dos personas) hasta las 57 ton/día de materiales que son recuperados en el sitio de disposición final de Nezahualcóyotl, por una población de alrededor de 800 pepenadores.

4.10.1. Valorización de materiales en los acopios informales

La cantidad de material recuperado en cada acopio depende de distintas variables, como por ejemplo actividad económica en el municipio, existencia de programas de reciclaje, actividades de recuperación de materiales en el servicio de recolección, época del año, etcétera.

De igual forma, el precio de venta de los materiales varía dependiendo de la demanda del material, acceso a distintos compradores, calidad del material, época del año, etc. Con base en las encuestas realizadas a los acopios informales, se logró identificar siete materiales recuperados con mayor frecuencia en cada uno. Estos son:

- Cartón
- Papel
- PET (polietileno tereftalato)
- HDPE (Polietileno de alta densidad)
- Aluminio
- Hojalata
- Vidrio

Dentro de las variables que determina la cantidad de material recuperado es el precio de venta, ya que este incide en el interés de los “pepenadores” por su recuperación y comercialización. La cantidad y precio del material no da una primera aproximación respecto a la demanda y potencial para proyectos de aprovechamiento. Si a esto sumamos el componente espacial podemos analizar de mejor manera las fuentes y flujos de cada material.

En la figura 4.11 se presenta la ubicación y el tamaño de los centros de acopio informales encuestados. Se debe mencionar que el acopio informal ubicado dentro del sitio de disposición final (SDF) de Nezahualcóyotl es el más grande, con cerca de 800 pepenadores.

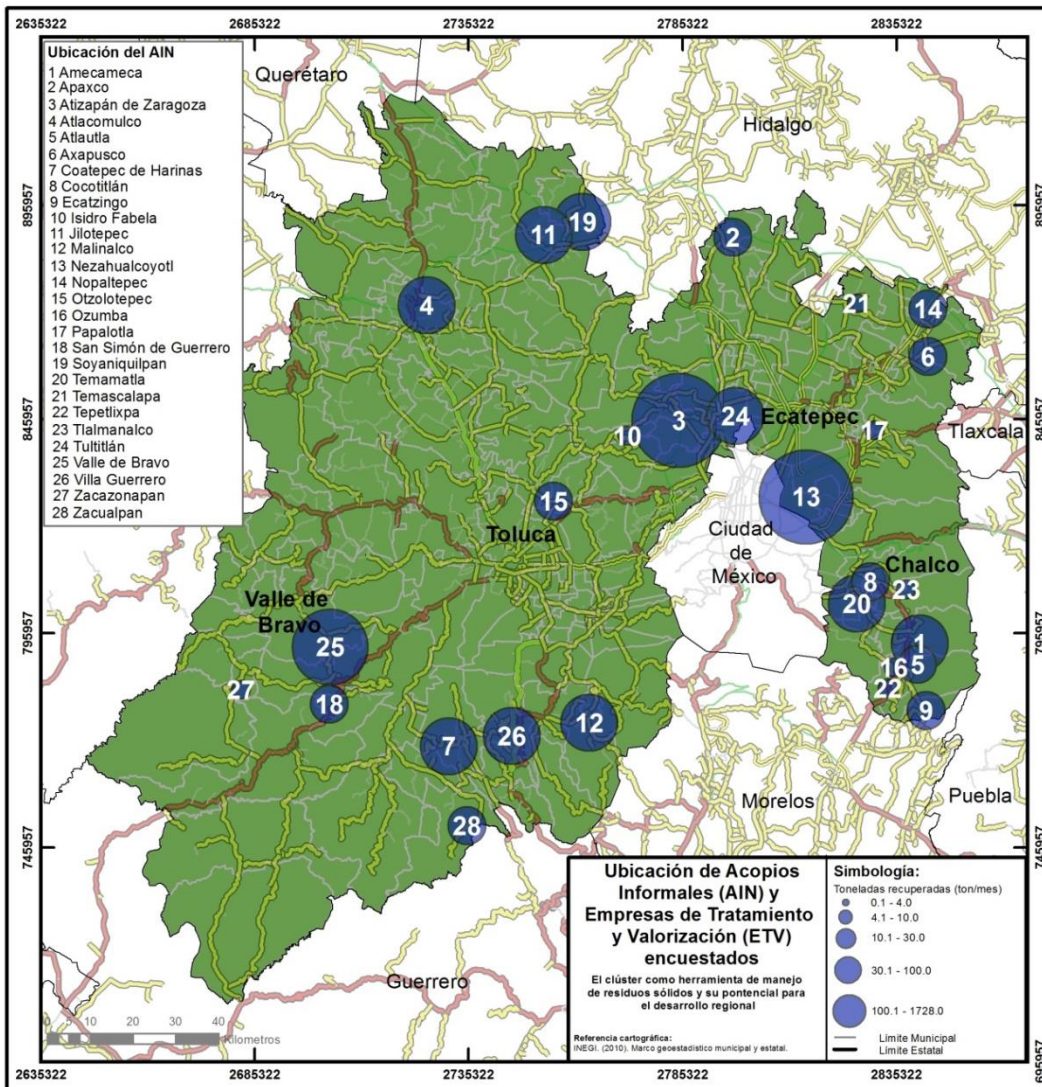


Figura 4.11. Tamaño de acopios informales encuestados.

Fuente: Propia con datos de INEGI (2010) y CMM (2015).

Se puede observar en la figura 4.11 como los sitios de disposición final (SDF) que se encuentran en la zona conurbada de la Ciudad de México manejan las mayores cantidades de residuos recuperados. Sin embargo, existen varios sitios de disposición final ubicados en municipios rurales con un alto porcentaje de materiales valorizables en su composición.

Las toneladas mensuales totales de materiales recuperados en los acopios informales encuestados se muestran en la figura 4.12.

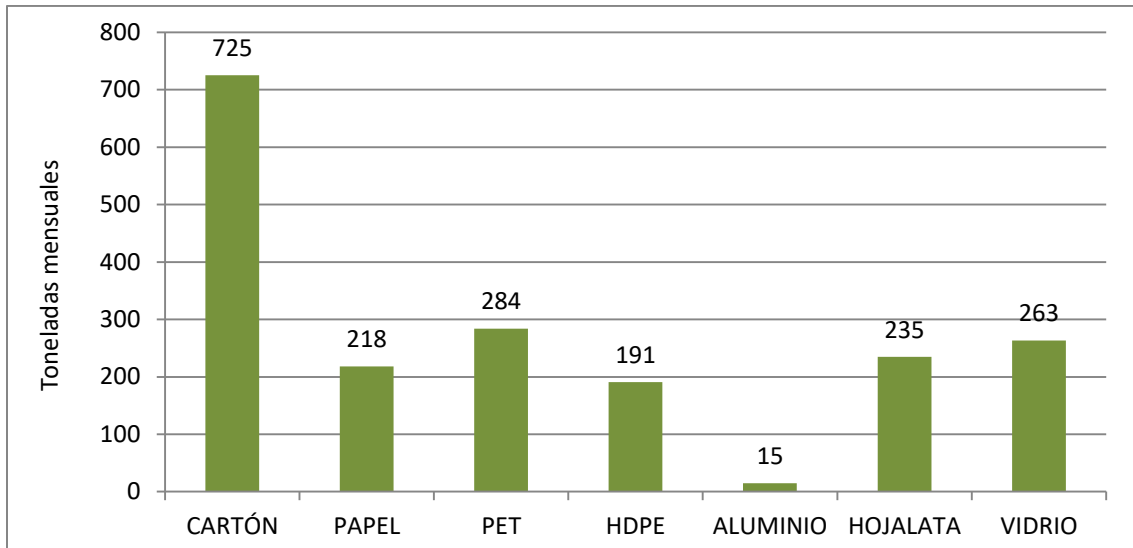


Figura 4.12. Cantidad de material total mensual recuperado en los acopios informales encuestados.

Fuente Propia con datos de CMM (2015).

El precio de venta promedio ponderado de los materiales en los centros de acopios informales encuestados se presentan en la figura 4.13.

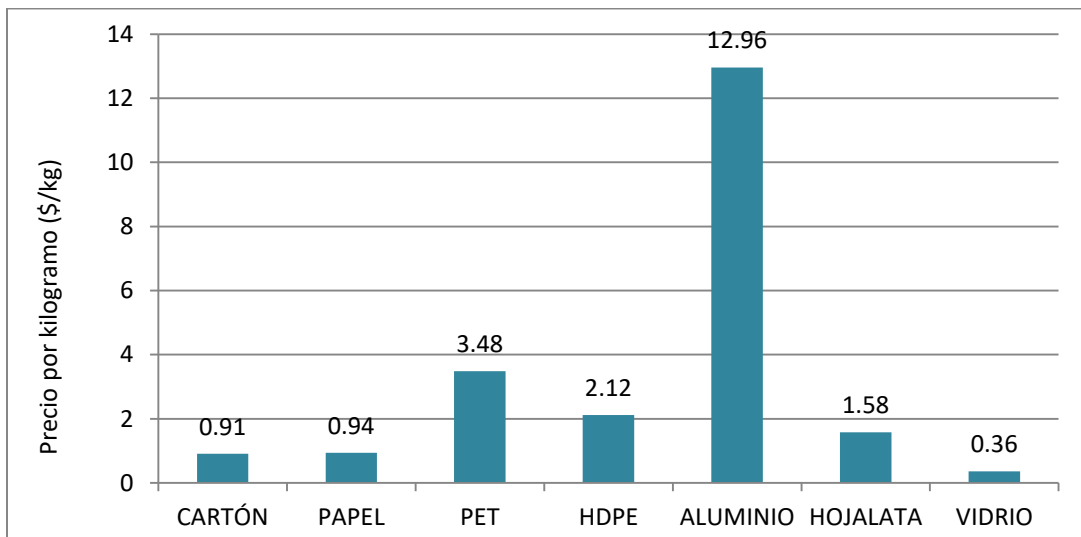


Figura 4.13. Precios promedios de venta de materiales recuperados en los acopios informales encuestados.

Fuente Propia con datos de CMM (2015).

De acuerdo con los resultados de las encuestas, los principales destinos de los materiales son los municipios que se encuentran en el Valle de Toluca, así como los municipios pertenecientes a la zona conurbada de la Ciudad de México.

4.10.2. Valorización de materiales en las Empresas de Tratamiento y Valorización (ETV)

De acuerdo con la cadena de valorización propuesta, las empresas de tratamiento y valorización (ETV) están un nivel por sobre los acopios informales (AIN). A diferencia de los AIN, las ETV tiene el conocimiento y la infraestructura para realizar uno o varios pretratamientos (o acondicionamiento de los materiales) e integrarlos nuevamente como suministro a las cadenas productivas industriales en la región, otros estados, y en algunos casos, suplir parte de la demanda internacional.

La demanda de materiales es fluctuante a lo largo del tiempo, lo que incide directamente en los precios de compra y venta. La estrategia de algunas empresas, que poseen capacidad económica y de almacenamiento, es acopiar los materiales a la espera de obtener un mejor precio por estos.

Con base en las cédulas de encuesta levantadas, se han seleccionado los materiales de mayor frecuencia (>50%) en las empresas de tratamiento y valorización:

- Cartón.
- Papel.
- Plásticos (PET y HDPE).
- Aluminio.
- Hojalata.
- Vidrio.

Los principales destinos de los materiales son Toluca, y la zona conurbada a la Ciudad de México, especialmente la zona norte y este del estado.

En la figura 4.14 se muestran las toneladas mensuales totales, para los seis materiales seleccionados, de materiales comercializados en las ETV encuestadas.

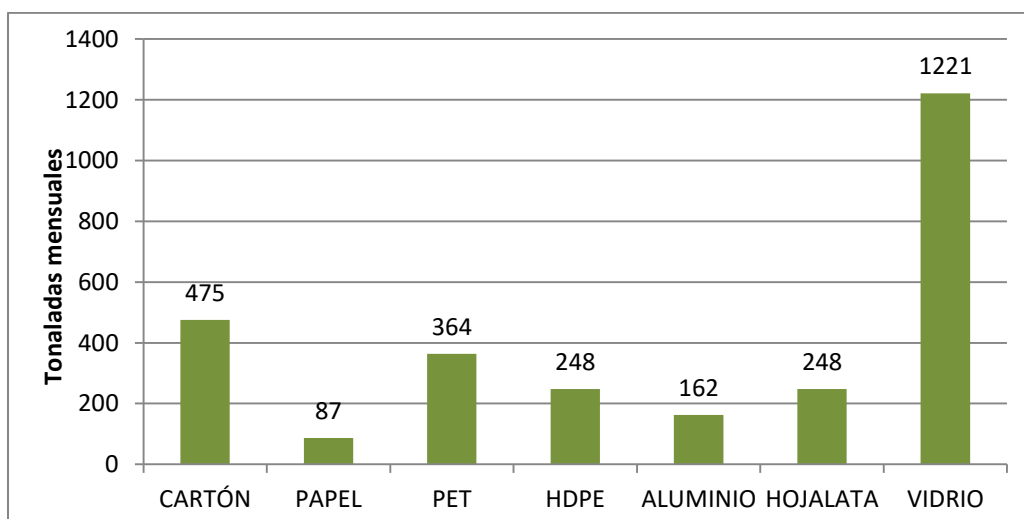


Figura 4.14. Cantidad de material mensual recuperado en las empresas de tratamiento y valorización encuestadas.

El material valorizado que se procesa en mayor volumen es el vidrio con 1,221 ton/mes, seguido por el cartón con 475 ton/mes y el PET con 364 ton/mes.

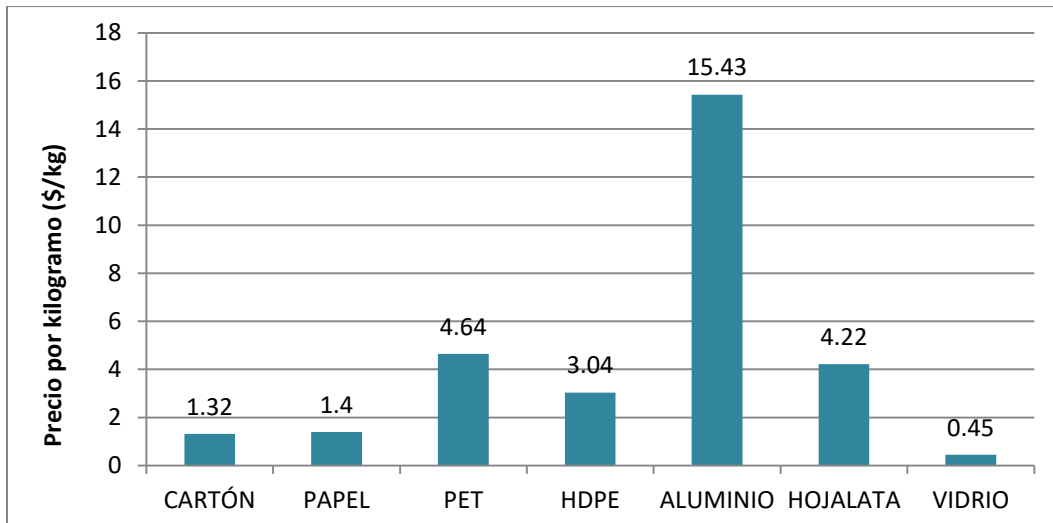


Figura 4.15. Precios promedio de venta de materiales recuperados en las empresas de tratamiento y valorización encuestadas.

En la figura 4.15 se observa como el material con mayor valor comercial de venta es el aluminio, con 15,43 \$/kg, seguido por el PET (4.64 \$/kg) y la hojalata (4.22 \$/kg).

Con el objeto de conocer la relación entre los sitios de disposición final (SDF), en donde se recupera gran cantidad de materiales que finalmente se comercializa, y la ubicación de las empresas de tratamiento y valorización (ETV), se presenta en la figura 4.16 la posición de los SDF, así como de las empresas de tratamiento y valorización visitadas.

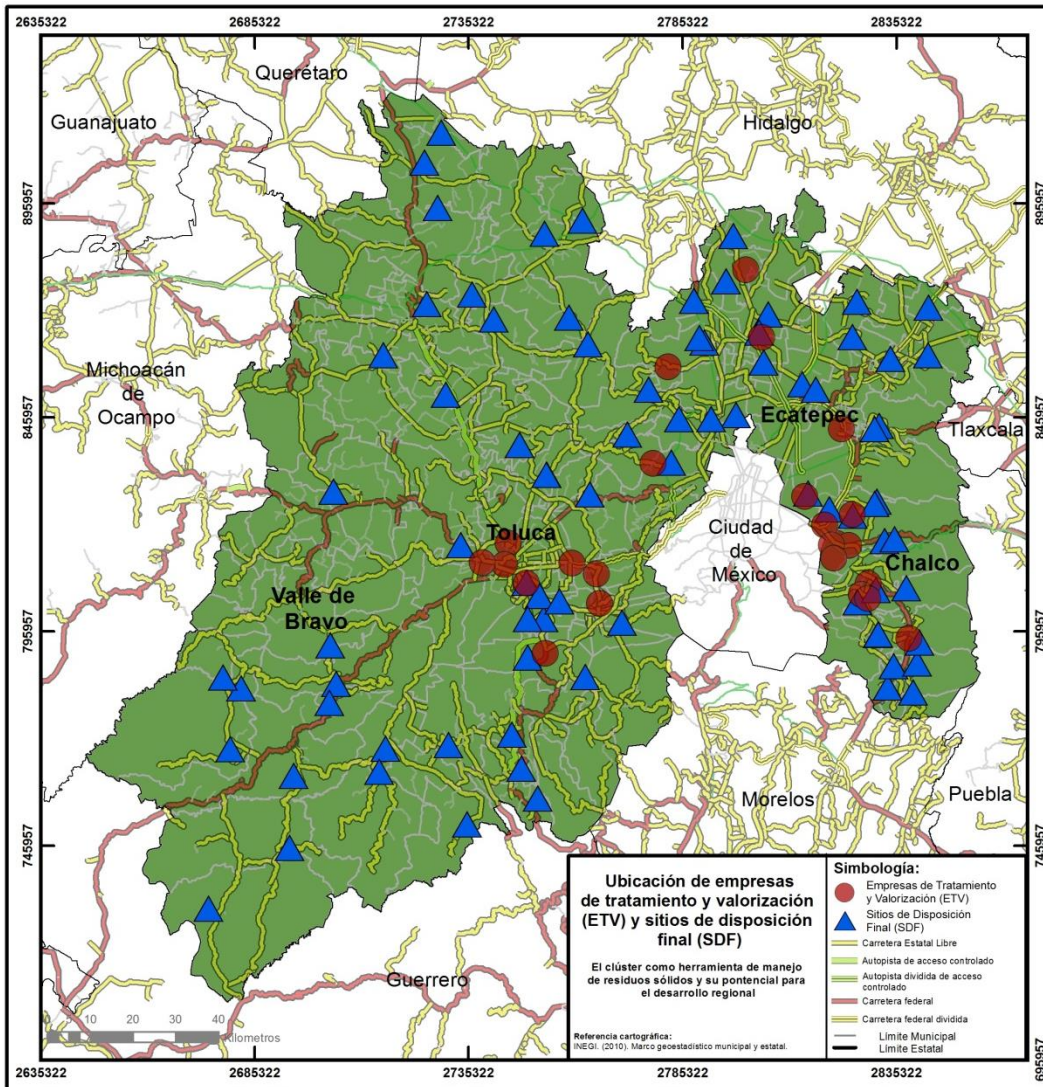


Figura 4.16. Ubicación de SDF y Empresas de Tratamiento y Valorización encuestadas.

Fuente: Propia con datos de INEGI (2010) y CMM (2015).

4.11. Análisis de conectividad espacial de la valorización de residuos sólidos urbanos en el Estado de México.

Con base en la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI (2017), así como en el “Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de los RSU en el Estado de México” (CMM 2015), se presenta una propuesta para el análisis de conectividad utilizando conceptos básicos de análisis espacial, que permiten describir la relación funcional entre los AIN y las ETV en el Estado de México.

4.11.1. Análisis de encuestas y ubicación espacial de los AIN y de las ETV.

De acuerdo con la metodología propuesta, se establecieron los principales municipios de destino para los materiales valorizados en los acopios informales (AIN). Para este caso, se utiliza la cabecera

municipal como punto de destino de los materiales. Los datos de coordenadas para cada punto se obtuvieron de INEGI (2012).

Con base en los resultados de las encuestas aplicadas, se establecieron los 6 destinos con mayor frecuencia para los materiales valorizados, los que se presentan en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Destinos frecuentes para los materiales valorizados en los acopios informales.

Destino	Frecuencia (%)
Chalco	20.7
Tenango del Valle	12.6
Toluca	11.9
Tecámac	9.6
Ecatepec	8.9
Amecameca	8.1
Total	71.9

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015)

Las empresas de tratamiento y valorización (ETV) que constituyen los destinos más frecuentes, se ubican en los municipios de Chalco y Tenango del Valle, al este y al oeste del Estado, respectivamente. En contraste, las ETV ubicadas en la capital del estado (Toluca), ocupan el tercer lugar como destino más frecuente. En conjunto, los seis destinos más frecuentes representan casi el 72% del total de destinos más frecuentes a donde se envían los materiales valorizables de los RSU del Estado de México.

Es posible que la ubicación de algunas ETV responda a dinámicas de una economía de supervivencia, a la cual se ven sometidos este tipo de comercios. Esto se pudo observar en las visitas a campo, donde algunas UE habían desaparecido o realizado cambio de actividad económica.

Las encuestas dirigidas a ETV estuvieron condicionadas por la disponibilidad de acceso a este tipo de UE en el municipio y la disposición de los dueños o encargados a responder la encuesta.

Tanto en los AIN como en las ETV, la información referida a los precios de compra y venta de materiales es sensible, ya que tanto las ganancias, el nicho de mercado, así como la cartera de clientes, dependen de variaciones de centavos en el precio de compra, cuya unidad de medida es el peso por kilogramo de material (\$/kg). Por lo anterior, en la mayoría de los casos, dicha información se entrega de manera distorsionada o simplemente no se tiene acceso a ella.

La figura 4.17 muestra la distribución espacial de las instalaciones de valorización encuestadas, las cuales para este estudio fueron 28 AIN y 23 ETV. El mapa indica la concentración del total de UE registradas en el DENU, dedicadas al comercio al por mayor de materiales de desecho en todo el Estado de México.

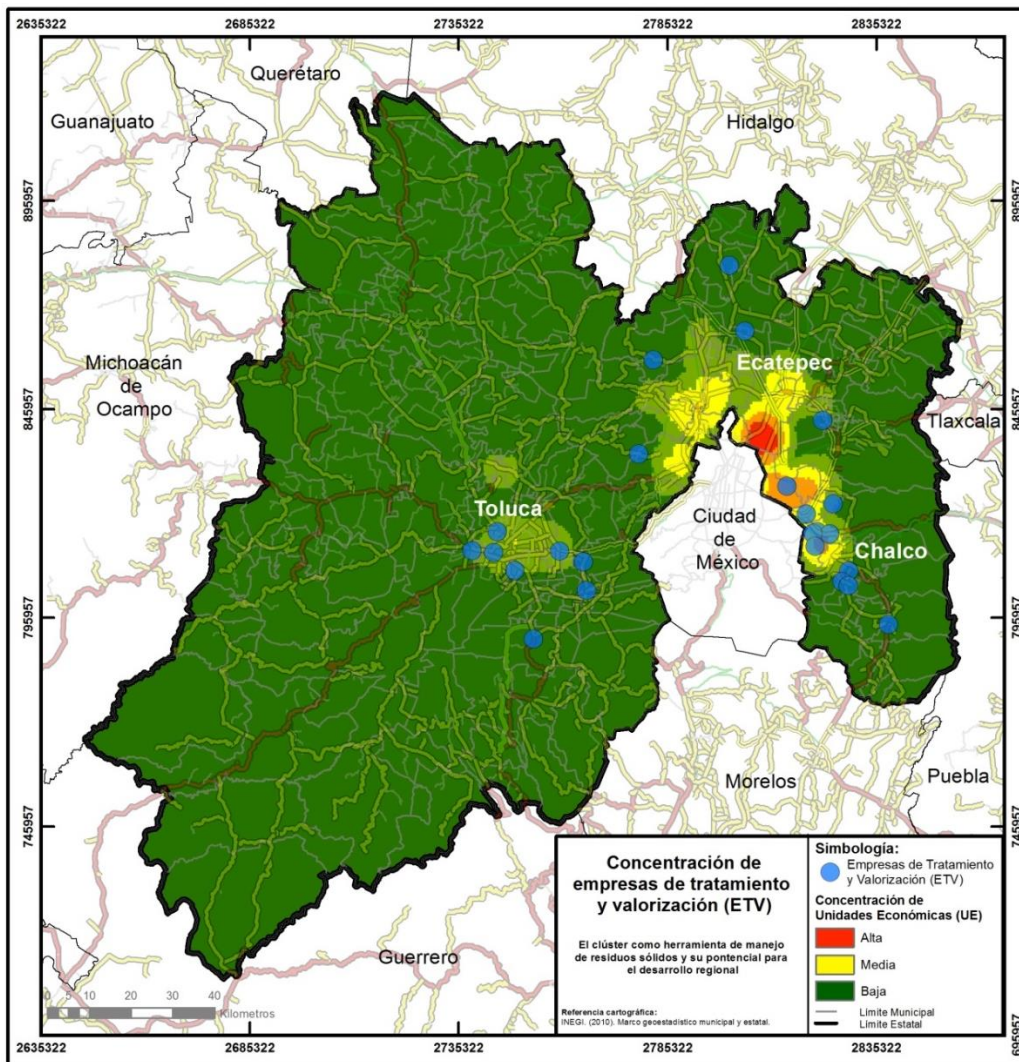


Figura 4.17. Distribución espacial de las empresas de tratamiento y valorización (ETV) encuestadas.

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

En la figura 4.17 se observa una relación espacial de proximidad entre la concentración espacial de las UE reportadas por el DENUE y las ETV donde se aplicaron las encuestas. De las ETV encuestadas, el 40% de ellas (10 de 23 empresas encuestadas), se encuentran en la zona de media a alta concentración de UE reportadas por el DENUE (INEGI 2017).

4.11.2. Análisis de conectividad entre AIN y ETV

En la figura 4.18 se muestra la relación actual y óptima entre las seis ETV del cuadro II (asignándoles la figura de un círculo) y los 16 AIN asociados a éstas (a los cuales se les asigna la figura de un triángulo). La relación actual entre AIN y ETV, se realiza con base en los resultados de la encuesta. Así mismo, la relación óptima se realiza con base en la distancia mínima entre instalaciones origen-destino. Para dicho efecto, se establecieron 16 rutas, utilizando la herramienta de *network analysis* de QGIS.

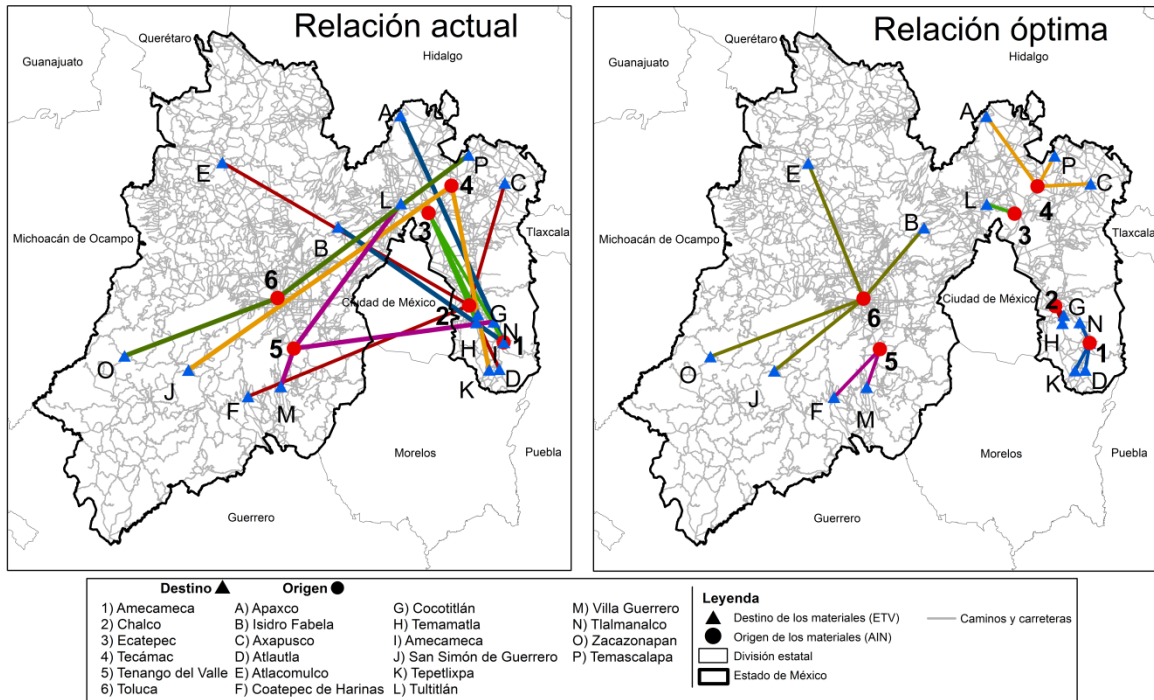


Figura 4.18. Relación espacial, actual y óptima, entre los acopios informales (AIN) y las empresas de tratamiento y valorización (ETV) encuestadas.

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

Se observa en la figura 4.18 cómo la relación actual entre los AIN y el destino frecuente, no responde a un patrón común, variando enormemente la distancia de las rutas entre el origen y el destino en algunos casos. Este comportamiento podría responder a variables no consideradas en los indicadores de conectividad, como precio, forma y tiempos de pago de los materiales, acuerdos políticos, incidencia de programas de reciclaje, entre otros.

Cabe mencionar que, en muchos casos, los modelos relacionales no se construyen para explicar la realidad sino para obtener estructuras óptimas de localización. Esto se debe a los procesos de simplificación, que dejan fuera variables que no pueden ser definidas en lo general (Bustos, 1993).

Con el objeto de obtener una escala de criterios de conectividad, se determinan los percentiles 20, 40, 60 y 80, así como los valores mínimos y máximos del indicador de conectividad T' para la relación óptima. Obtenidos estos valores, se construye una tabla de cinco categorías con el fin de poder evaluar la relación actual entre AIN y ETV con los valores de la relación óptima (Tabla 4.3).

Los rangos y criterios de conectividad de cada grupo (percentiles), utilizados en este análisis, se presentan en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Rangos, criterios de conectividad T' y frecuencia de datos para el escenario actual y el óptimo.

Rango	Criterio de conectividad	Frecuencia de datos (%)	
		T' actual	T' óptimo
< 11.38	Excelente	0	25.0
11.38- 16.23	Bueno	0	25.0
16.24 - 29.11	Regular	6.25	12.5
29.12 - 50.57	Insuficiente	6.25	12.5
> 50.57	Deficiente	87.5	25.0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.10 se puede observar cómo el 87.5% de las rutas actuales presenta un criterio de conectividad deficiente, con valores por encima de los 50.57 min de transporte. Solo el 6.25% de las rutas de la relación actual presenta un valor de conectividad regular y el otro 6.25%, un valor insuficiente.

En la figura 4.19 se observar la distribución de los datos del indicador de conectividad para la relación actual y la óptima entre los AIN y las ETV, dividido en cinco grupos.

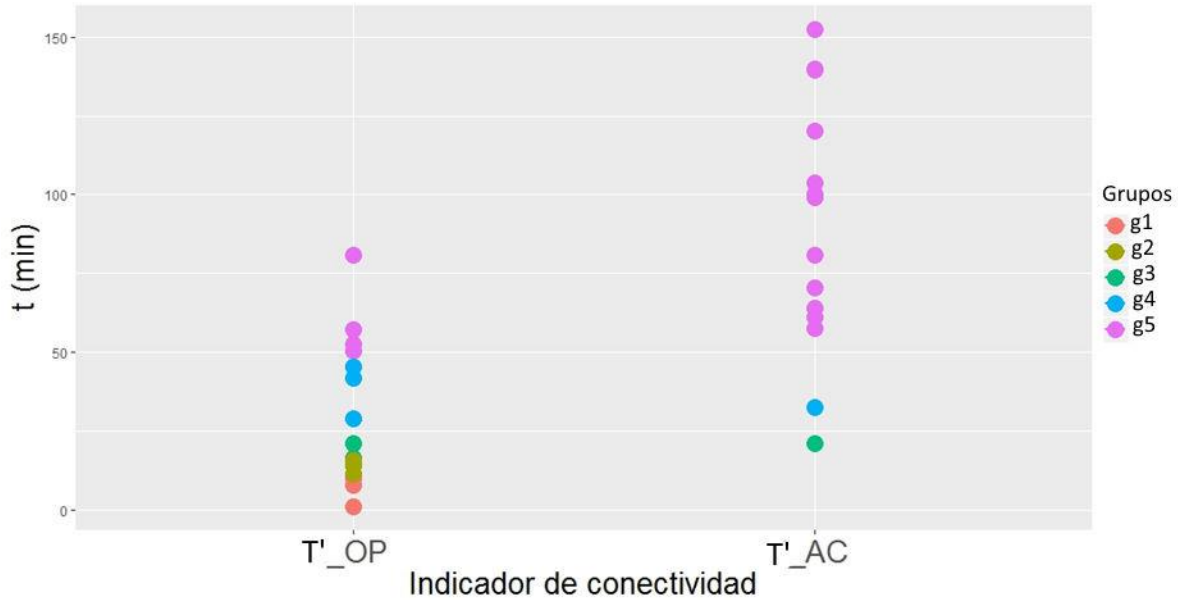


Figura 4.19. Distribución de los datos del indicador de conectividad T' , para la relación actual (T'_AC) y la óptima (T'_OP), reunidos en cinco grupos.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la figura 4.19, que los valores para T' en la relación óptima son más bajos que los valores para la relación actual, cayendo estos últimos en su gran mayoría en el quinto grupo.

De acuerdo con el análisis realizado, el promedio del indicador T' para la relación actual es tres veces mayor que el valor para la relación óptima, lo que, por un lado, demuestra que existen otras variables que inciden en la toma de decisiones al momento de elegir un destino para los materiales recuperados en los AIN, y por otro lado, plantea un potencial en el análisis regional del manejo y aprovechamiento de los RSU en el Estado de México.

4.11.3. Discusión sobre la determinación del índice de conectividad

El índice de conectividad permite una aproximación a la relación funcional de la infraestructura de valorización de residuos en el Estado de México, así como el origen-destino de los materiales, mediante la utilización de técnicas de análisis espacial por medio de un sistema de información geográfica.

Si bien el índice de conectividad T' a centros de valorización de residuos sólidos urbanos permite obtener un parámetro de análisis, es necesario contar con un escenario óptimo que facilite la evaluación de los resultados. De igual forma, el indicador propuesto solo explica una parte de la relación funcional entre los actores, siendo necesario incorporar otras variables como volumen de material, precios de venta o costos de transporte.

En la búsqueda de una respuesta al comportamiento de la distribución y la asociación espacial observada, la visión estructuralista en la localización de la industria plantea que las empresas buscan mantener la mano de obra más barata y menos conflictiva de las zonas periféricas, así como

beneficiarse de la diferencia de costos entre los distintos territorios (Bustos 1993), que en este trabajo son los municipios.

Esto último implica que el análisis de localización y conectividad permiten comprender de manera global el comportamiento de las empresas, formales e informales, de valorización de RSU. Sin embargo, es necesario considerar factores económicos, sociales y políticos que permiten comprender de mejor manera la interacción de las empresas en un territorio o región determinado.

El análisis realizado permitió establecer la inexistencia de patrones que optimicen la conectividad entre los actores involucrados en la valorización de residuos sólidos. Dicho resultado se puede atribuir a lo que Bauman (2002) expresa como “efectos de la era de la globalización”. Bauman plantea que las formas de interrelación entre las empresas, (cadena productiva), así como el papel que desempeña el espacio, generan nuevos fenómenos económicos mediante la apertura y la creación de nuevos vínculos. Esto permite, por ejemplo, que las empresas y la política dejen de actuar en planos diferenciados. En otras palabras, una sociedad capitalista busca la desregulación y liberación de los mercados (Vázquez 2008), donde la esfera política participa favoreciendo dicho ambiente, buscando ya sea su apropiación o la obtención de beneficios económicos directos.

Por otra parte, la Teoría Económica Institucional de North (2016), plantea que las empresas, formales e informales, interactúan dentro de un marco conocido como “reglas del juego”. Estas reglas generan nuevas estructuras de poder, que permitirán el desarrollo económico de las empresas a través del tiempo y el espacio. Dicha estructura se basa en tres limitantes: formales, informales, así como en el costo de su aplicación (Urbano *et al.* 2007, North 2016). Las limitantes formales abarcan las leyes, reglamentos y procedimientos gubernamentales, donde la esfera política tiene incidencia directa. Las informales hacen referencia a las ideas, creencias, actitudes y valores de las personas, o de otra forma, a la cultura de un grupo social. Finalmente, los costos de aplicación o de transacción, son los costos para la obtención de información relevante que permitan llevar a cabo la transacción, los costos de negociación que permitan cumplir los acuerdos y contratos, así como los costos de organización, coordinación y supervisión de dichas relaciones. En resumen, las instituciones establecen las “reglas del juego”, y las organizaciones, ya sean públicas o privadas, son los jugadores.

Esta idea es reforzada por la propuesta de Scheinberg y Simpson (2015), quienes establecen que, si bien los servicios de aseo urbano buscan resolver los problemas del manejo de los residuos con una visión sanitaria, las cadenas de valor de materiales reciclables poseen raíces históricas y económicas más profundas. Por lo anterior, un mejor entendimiento de las cadenas de valor de residuos que permitan la creación de políticas de manejo y aprovechamiento incluyentes con el sector informal, incrementarían la valorización de materiales de los RSU y, por ende, favorecería las dinámicas económicas en torno a estos.

5. Análisis de los resultados utilizando un modelo de clúster

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos en el estudio del CMM (2015), utilizando un modelo de análisis y creación de clúster enfocado a la valorización de los residuos sólidos en el Estado de México.

La propuesta metodológica busca orientar en el análisis e interpretación de los resultados. Por lo anterior se presentan a continuación las etapas consideradas en el análisis y la creación de los clústeres de manejo y valorización de los residuos sólidos urbanos para el Estado de México. La siguiente propuesta se realiza utilizando el software de análisis estadístico R. Los datos de análisis, así como el *script* en R, se encuentran en el repositorio de GitHub, en la dirección <https://github.com/ModeloClusterRSU/ModeloClusterRSU>.

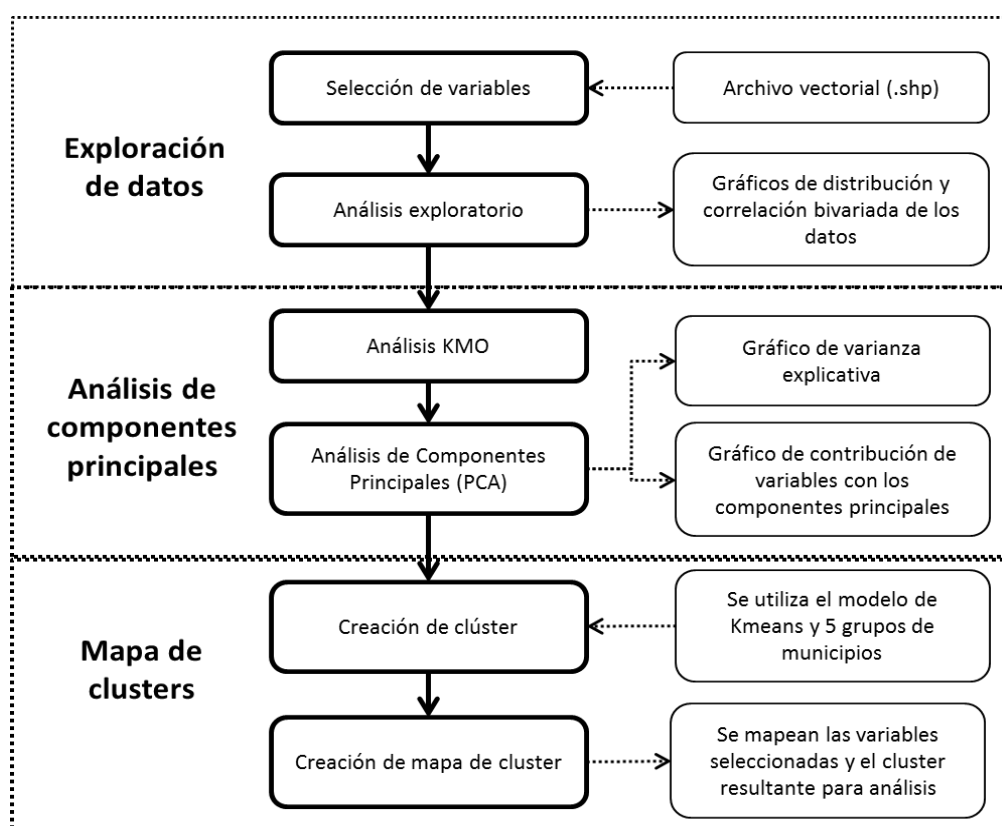


Figura 5.1. Metodología de análisis de clúster.

Fuente: Propia.

En la etapa de exploración de datos se seleccionan y analizan de manera exploratoria cada variable a considerar en el modelo, para lo cual los datos son graficados y analizados para conocer su comportamiento y distribución.

Posteriormente se busca establecer si la correlación entre las variables consideradas es lo suficientemente grande de manera tal que justifique la factorización de la matriz de coeficientes de

correlación. Esta comprobación se realiza utilizando el índice de de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) o medida de adecuación muestral.

De acuerdo con Kaiser (1974), los valores resultantes pueden ser categorizados de la siguiente manera:

0.00 a 0.49 inaceptable

0.50 a 0.59 miserable

0.60 a 0.69 mediocre

0.70 a 0.79 regular

0.80 a 0.89 meritorio

0.90 a 1.00 magnífico

Posterior a esto, se realiza el análisis de componentes principales, graficando los resultados para un mejor entendimiento del aporte de cada variable.

Por último, se realiza el clúster de municipios con base en el modelo de Kmeans. Los municipios son agrupados en cinco categorías. De igual manera, el modelo entrega un mapa por cada una de las variables seleccionadas.

Las variables utilizadas en el análisis se seleccionaron con base en la propuesta de Abarca *et al.* (2015). La propuesta de Abarca *et al.* busca establecer los principales factores que inciden en el proceso de manejo de residuos sólidos, con base en 30 zonas urbanas, de 22 países, de tres continentes.

Con base en los factores propuestos, así como la información disponible en CMM (2015), se seleccionaron cinco variables.

Las variables que se utilizan en el análisis son:

- Índice de desarrollo municipal básico (IDM).
- Índice de desarrollo humano municipal (IDH)
- Generación de residuos sólidos urbanos por municipio (RST).
- Potencial de valorización de residuos (VAL)
- Índice de conectividad (IC).

El análisis de clúster agrupa a los municipios con características similares o desiguales, que permitan potenciar el desarrollo de organismos intermunicipales de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos.

5.2. Exploración y selección de variables a integrar en el modelo de clúster

5.2.1. Exploración de los datos estadísticos para las variables seleccionadas

Existen variadas técnicas para la realización de análisis exploratorio de datos, las cuales permiten aproximaciones básicas previas a la realización de procedimientos estadísticos de mayor complejidad como el análisis multivariado (Buzai, 2012).

Las técnicas de nivel bivariado permiten obtener información estructural de la relación que existe entre dos variables. Así mismo, es posible descubrir errores en los datos y preparar supuestos necesarios requeridos en los análisis multivariados.

A continuación, se presenta la exploración de los datos utilizando el software R de código abierto. La exploración de datos se ha agrupado en tres áreas principales: Sistemas de Aseo Urbano (SAU), valorización y aspectos de participación social.

En el análisis se utiliza un gráfico de dispersión en dos dimensiones y cada variable queda representada por un eje ortogonal (90°), generados valores de coordenadas x-y (Buzai, 2012).

5.2.1.1. Estandarización de los datos

Se llama estandarización o valor tipificado, de una variable de media μ y desviación típica σ , a la distancia (considerando el signo) con respecto a la media. Dicha transformación de los datos de una variable, nos permite comparar entre dos valores, de dos distribuciones normales diferentes, con el objeto de establecer cuál de los dos es más extremo. Los valores se transforman a puntajes estándar Z de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$z = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

Ecuación 4

Dónde:

z : puntaje estándar.

x_i : dato de la variable.

μ : promedio.

σ : desviación estándar.

En otras palabras, el valor de z representa la diferencia entre el valor de la variable y el promedio, cuya diferencia se expresa como la desviación estándar.

Esta transformación permite comparar datos que tengan distinta unidad y orden de magnitud. Así mismo, permite analizar los datos con gráficas de correlación o de distribución.

A continuación, se presenta un resumen con los estadísticos más relevantes de las variables seleccionadas para el análisis, entregados por el software R.

IDH	IDM	RST	IC	VAL
Min. : -2.45420	Min. : -2.3178	Min. : -0.4558	Min. : -1.0734	Min. : -0.4649
1st Qu.: -0.74340	1st Qu.: -0.6850	1st Qu.: -0.4174	1st Qu.: -0.7440	1st Qu.: -0.4237
Median : 0.08555	Median : 0.2200	Median : -0.3539	Median : -0.3806	Median : -0.3598
Mean : 0.00000	Mean : 0.0000	Mean : 0.0000	Mean : 0.0000	Mean : 0.0000
3rd Qu.: 0.75000	3rd Qu.: 0.6676	3rd Qu.: -0.1323	3rd Qu.: 0.4841	3rd Qu.: -0.1294
Max. : 2.26825	Max. : 1.8076	Max. : 6.3256	Max. : 3.3543	Max. : 5.0894

Los datos entregados son: valores mínimos y máximos, promedio, mediana, 1° y 3° cuartil.

5.2.1.2. Gráfico de datos

Para la representación de los datos, se utiliza un gráfico de cuatro cuadrantes, útil para comprender el comportamiento de los datos estandarizados. Dichos valores se moverán por debajo o encima del promedio.

De acuerdo a Buzai (2012) el puntaje Z puede ser clasificado de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 5.1. Sistema de clasificación para el puntaje Z.

Valor	Indicador	Categoría
< -1	1	Muy inferior a la media
-1 a -0.50	2	Inferior a la media
-0.50 a 0	3	Inferior cercano a la media
0 a 0.50	4	Superior cercano a la media
0.50 a 1	5	Superior a la media
> 1	6	Muy superior a la media

Fuente: adaptado de Buzai (2012).

5.2.2. Selección de variables

Con base en la propuesta de variables de Abarca *et al.* (2013), se han seleccionado cinco variables para cada unidad territorial (municipio). Dichas variables buscan abarcar los principales criterios sociales, geográficos y económicos, que permitan establecer el nivel de desarrollo y el potencial de cada unidad territorial para la implementación de proyectos de valorización en la región.

Cabe destacar que los índices son el resultado de métodos matemáticos que transforman un conjunto de variables (o indicadores) en uno nuevo, lo que permite que con un número menor de variables se logre una interpretación más sencilla del fenómeno original.

A continuación, se describen cada uno de los índices y variables consideradas en el análisis de clúster de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos para el Estado de México. Cada variable seleccionada apunta a conocer similitudes entre municipios respecto a su manejo de residuos sólidos y su potencial para generar actividades de valorización de acuerdo con su nivel de desarrollo.

5.2.3. Variables sociales

5.2.3.1. Índice de Desarrollo Municipal Básico

El objetivo de este índice es establecer una jerarquía respecto al nivel de desarrollo y desempeño gubernamental de cada municipio en México. Este índice de Desarrollo Municipal Básico (IDM) abarca cuatro dimensiones: la social, donde se establecen condiciones sanitarias y educativas; la económica, donde se integra el nivel de empleo y el valor agregado; la ambiental y de servicios, donde se toman en cuenta el cuidado del ambiente y su conservación a través de la infraestructura de manejo de agua; la institucional, donde se ve reflejado el esfuerzo tributario y la participación en actividades electorales (Flamand *et al.*, 2007). El IDM toma valores entre 0 y 1, lo que representa que mientras mayor sea el valor del índice, mayor el nivel de desarrollo del municipio.

Lo que se busca lograr al considerar este índice, es integrar principalmente la capacidad de gestión del gobierno municipal. La literatura plantea que gran parte de las deficiencias técnicas relacionadas con el manejo de los residuos sólidos en un municipio son resultado de la falta de destreza técnica del personal y autoridades (Hazra y Goel, 2009), la infraestructura deficiente (Moghadam *et al.*, 2009), las vías de comunicación y vehículos de operación en malas condiciones (Henry *et al.*, 2006) y la falta de información confiable para la toma de decisión (Mrayyan y Hamdi, 2006).

En la figura 5.2 se muestra la correlación entre los valores del IDM y los de población.

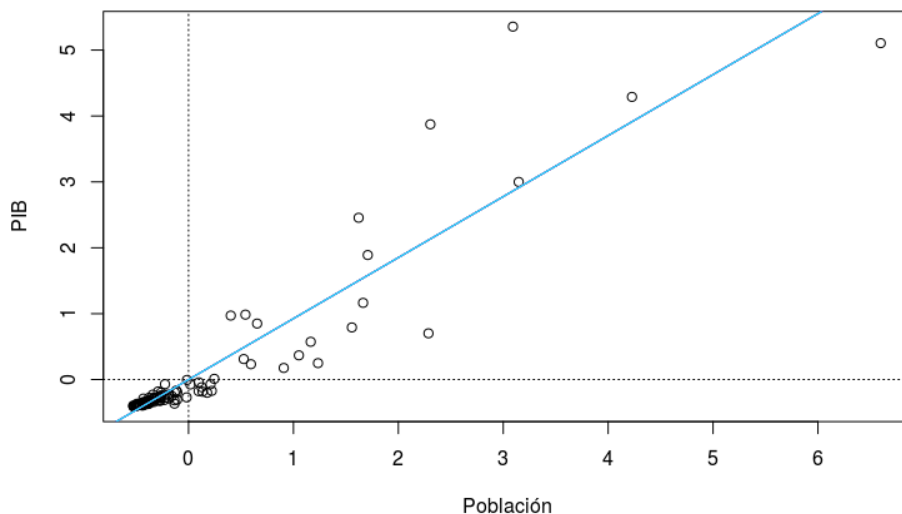


Figura 5.2. Gráfico de correlación entre los valores de IDM y población por municipio.

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

En la figura anterior, se observa que la gran mayoría de los municipios están bajo el promedio del PIB estatal y solo los grandes municipios están por sobre el promedio. Así mismo, el coeficiente de correlación de Pearson es de 0.93.

5.2.3.2. Índice de Desarrollo Humano Municipal

El Índice de Desarrollo Humano (IDH), permite evidenciar los contrastes entre los municipios de acuerdo a su nivel de desarrollo, con base en la identificación de regiones con mayor carencia y desigualdad (PNUD, 2014).

La ventaja de este índice es que busca como ideal el bienestar, trascendiendo la noción del nivel de ingresos. Por lo anterior, se puede decir que el IDH permite medir las capacidades y libertades que tienen los individuos para elegir entre formas de vida alternativas, ya que dicho desarrollo es dinámico y está fuertemente ligado al contexto local (PNUD, 2014). Este índice lo constituyen tres dimensiones: el bienestar desde un punto de vista de salud, la capacidad de adquirir nuevos conocimientos y la oportunidad de generar recursos que permitan un nivel de vida digno.

De acuerdo con los elementos que integran el “rendimiento del sistema de gestión de residuos” propuesto por Abarca *et al.* (2015), la generación y separación de residuos, poseen variables asociadas al IDH, como tamaño de la familia, nivel de educación e ingresos.

La paradoja “a más desarrollo más residuos generamos, cuantos más residuos generamos, menos desarrollados estamos” (ONU, 2019), es la que se busca modificar mediante la propuesta contenida en este trabajo, mediante una propuesta de análisis espacial, basada en clústeres, que permitan generar políticas de economía circular. La economía circular plantea que mediante un adecuado tratamiento y valorización se generan dinámicas de flujo de materiales que favorecen la agricultura, la industria y la generación alternativa de energía.

La correlación entre los valores de IDH y población, para los municipios del Estado de México, se muestra en la figura 5.3.

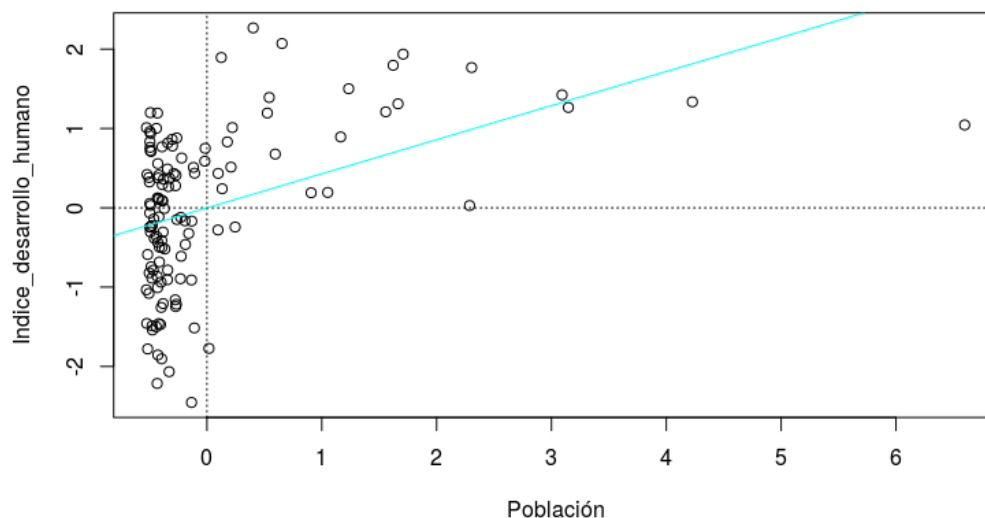


Figura 5.3. Gráfico de correlación entre los valores de IDH y población por municipio.

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

En la figura 5.3 se observa que aunque los valores de IDH muestran una gran dispersión, solo 25 municipios se encuentran sobre el promedio del IDH y el promedio de población (I cuadrante). De

la misma manera, los municipios con poblaciones debajo del promedio estatal, muestra una heterogeneidad en el IDH. El valor de correlación de los valores es de 0.43.

5.2.4. Variables económicas

5.2.4.1. Generación de residuos sólidos urbanos

La generación de residuos sólidos urbanos (RST) está asociada de manera directa con la cantidad de población en el municipio: a mayor población, mayor cantidad de residuos sólidos urbanos generados.

Por otro lado, la generación de residuos sólidos también está asociada al nivel socioeconómico de cada municipio, lo cual se pudo observar en los valores de generación per cápita por grupo de municipios, donde las zonas urbanas presentan un valor per cápita mayor que las zonas rurales (CMM, 2015).

Por lo anterior se considera que la generación de residuos está asociada al poder adquisitivo de la población y la disponibilidad de bienes para adquirir, considerándose por lo tanto una variable de tipo económico.

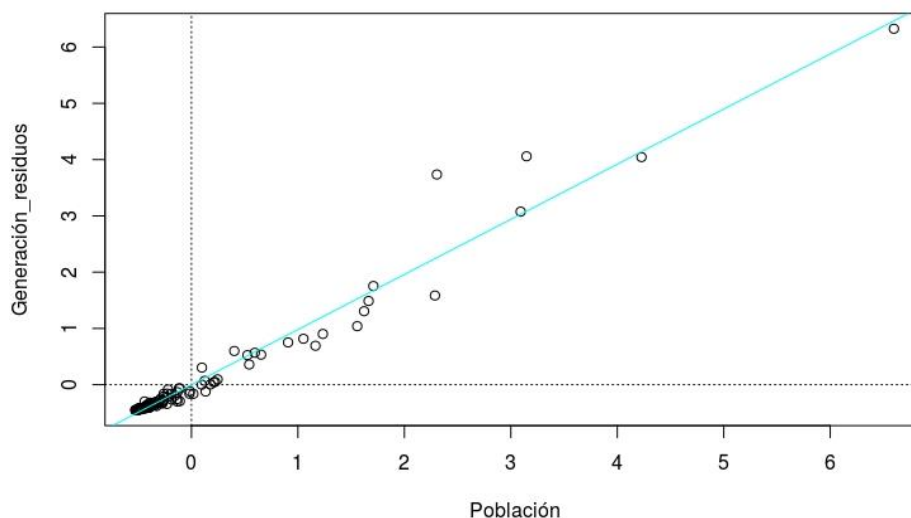


Figura 5.4. Gráfico de correlación entre los valores de generación de residuos sólidos (RST) y población, por municipio.

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

El valor de correlación de datos, mostrado en la figura 5.4, es de 0.98, lo que demuestra que, a mayor población, mayor generación de residuos sólidos. Sin embargo, los 26 municipios con población superior a la media, presentan mayor dispersión de los datos que los municipios bajo la media.

5.2.4.2. Potencial de valorización de los RSU

Los RSU generado en cada municipio se han dividido en cuatro grupos: fracción orgánica, valorizables, potencialmente valorizables y rechazo. Para la creación del potencial de valorización de los residuos

sólidos (VAL), se considera el porcentaje de residuos valorizables con alto valor comercial, seleccionados con base en la lista de materiales comercializados en los acopios formales e informales.

En la siguiente tabla se presentan la clasificación de residuos por grupo de municipios.

Tabla 5.2. Clasificación de residuos por grupo de municipios.

GRUPO	ORGANICOS	VALORIZABLES	POTENCIALMENTE VALORIZABLES	RECHAZO
I	47.8%	16.9%	5.4%	29.9%
II	36.4%	24.8%	4.1%	34.7%
III	37.8%	20.3%	5.8%	36.0%
IV	36.1%	21.4%	4.9%	37.5%
V	22.5%	23.4%	6.5%	47.6%

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

Si bien existe la tecnología para aprovechar gran parte de los residuos sólidos, incluso la fracción rechazo, en México los sistemas de reciclaje son, en muchos casos, manuales y con bajo nivel tecnológico, lo que genera que una gran cantidad de residuos vayan a disposición final.

Con base en los datos de generación de residuos sólidos por municipio, se considera el valor de potencial de valorización (VAL) a la fracción de residuos valorizable en cada municipio, expresado en porcentaje, respecto al total generado. Para esto se extrapola el porcentaje de residuos valorizables de cada municipio de acuerdo al grupo que pertenece. Por ejemplo, los municipios pertenecientes al grupo I, como Ecatepec, se le asigna un porcentaje de valorizables igual al 16.9%.

Sin embargo, al analizar los datos de cada grupo de municipios por estrato, se puede observar en la figura 5.5 cómo en los estratos medios y bajo, la tendencia indica que en municipios más pequeños la cantidad de materiales valorizables se incrementa, no así en el estrato alto, donde a menor tamaño del municipio la cantidad de materiales valorizables disminuye. Esto tiene una directa relación con los patrones de consumo de cada estrato.

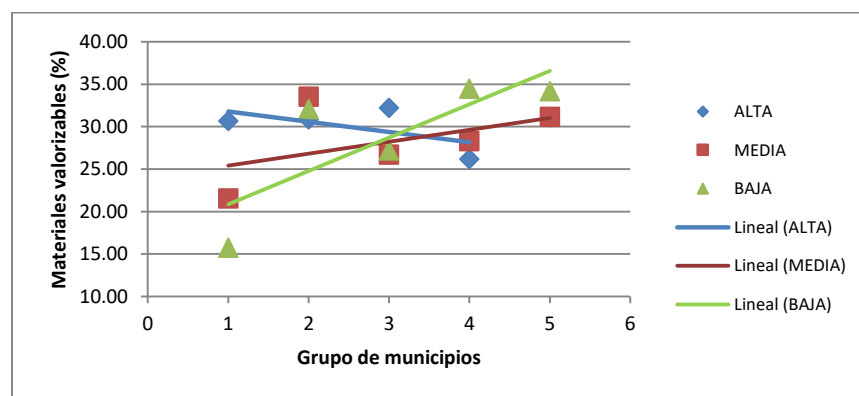


Figura 5.5. Participación social en actividades de valorización por estrato social.

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

Respecto a la relación del potencial de valorización de residuos (VAL) y la población por municipio, se presenta en la figura 5.6 los datos de ambas variables.

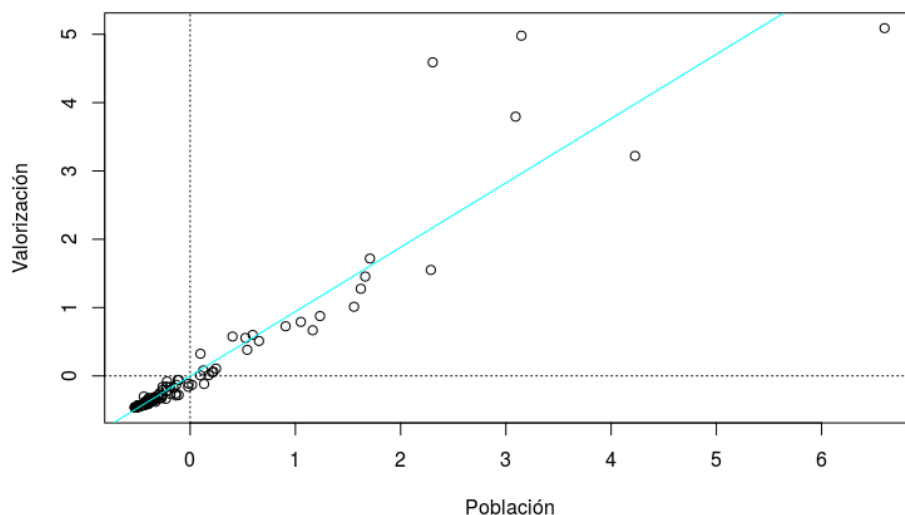


Figura 5.6. Gráfico de correlación entre los valores del potencial de valorización de residuos (VAL) y población, por municipio.

Fuente: Elaboración propia con datos de CMM (2015).

El valor de correlación de los datos es de 0.94. Hay que recordar que la valorización se expresa como la cantidad de residuos valorizables, en porcentaje, en cada municipio. O sea que los municipios grandes tendrán mayor cantidad de residuos respecto a la población, sin embargo, los municipios pequeños tienen un porcentaje más alto de materiales valorizables. Lo que se requiere es aumentar la cantidad de materiales, con el objetivo de dar viabilidad a su compra y transporte.

5.2.5. Variable geográfica

5.2.5.1. Índice de conectividad

La accesibilidad es un concepto multidimensional complejo, compuesto principalmente por dos elementos principales: la visión geográfica o la distancia física a la cual se encuentran los servicios, y el componente social, que en nuestro caso involucra el tipo de municipio (rural, semiurbano, urbano, etc.) y el tipo de servicio demandado (Chias *et al.*, 2001).

Este indicador contempla la infraestructura de comunicación terrestre y la accesibilidad a centros de valorización de RSU, de acuerdo con los códigos seleccionados anteriormente en el DENUE de INEGI (2010). Dicho aspecto se considera relevante, ya que el acceso de la población a puntos de comercialización de materiales valorizados facilita el incremento de dicha actividad en el municipio. Se asume que a mayor es el grado de accesibilidad, mejor servido se encuentra el territorio.

Con el objetivo de contar con un indicador que permita establecer no solo el acceso a centros de valorización, sino también el grado de tortuosidad de la ruta, se utiliza el índice de conectividad presentado en el capítulo 4.4 de este trabajo, el cual expresa en función del tiempo las variables cualitativas y cuantitativas de transporte de residuos sólidos urbanos valorizables.

En la figura 5.7 se muestran los resultados del análisis espacial de conectividad. Se relacionaron las empresas de tratamiento y valorización (ETV) con más de 10 empleados (54 en total) y las cabeceras municipales del Estado de México (INEGI 2010).

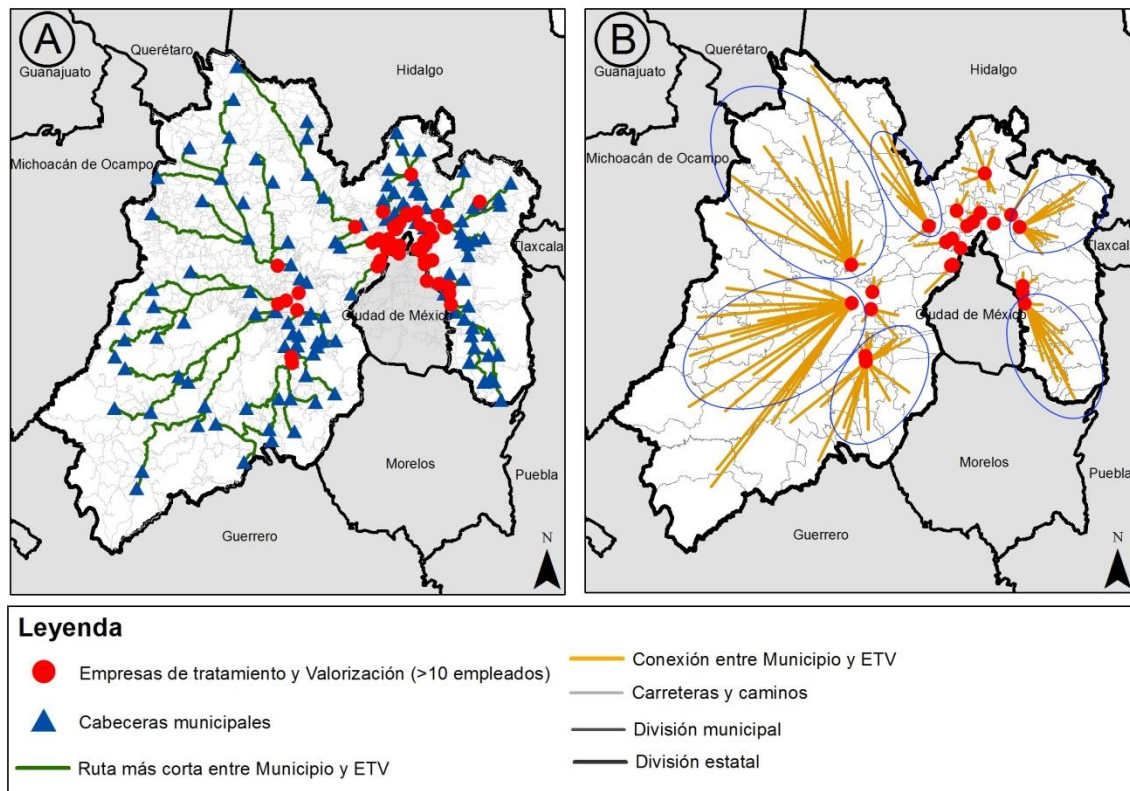


Figura 5.7. Mapa de conectividad entre ETV y cabeceras municipales del Estado de México: A) Rutas y B) Conectividad.

Fuente: Propia con datos de CMM (2015).

En la figura 5.7-A se pueden observar las rutas entre las cabeceras municipales y los ETV más cercanos. Se aprecia la concentración de empresas en la zona noreste y centro del Estado, principalmente en la región que colinda con el norte de la Ciudad de México.

Al reducir las ETV a los 25 principales destinos y relacionarlos de una línea con las cabeceras municipales, se observa en la figura 5.7-B la formación de seis clústeres principales: tres en la zona centro, dos en la zona norte y uno en la zona este del Estado. Esta clusterización nos da un primer acercamiento respecto al potencial del modelo de “asociacionismo intermunicipal” (Galvan y Santi, 2012) para el desarrollo del territorio y los servicios públicos, en especial el de manejo de residuos sólidos urbanos.

5.3. Correlación de variables

Establecidas las variables a considerar en el análisis, es de utilidad establecer la correlación entre ellas. Mediante el uso del software R, se presentan en la figura 5.7 los valores de correlación con base en el método de Pearson, el gráfico de distribución de los datos (barra y curva) y los gráficos

bivariados correspondientes. Para la creación de esta matriz, se han utilizado los valores normalizados en Z.

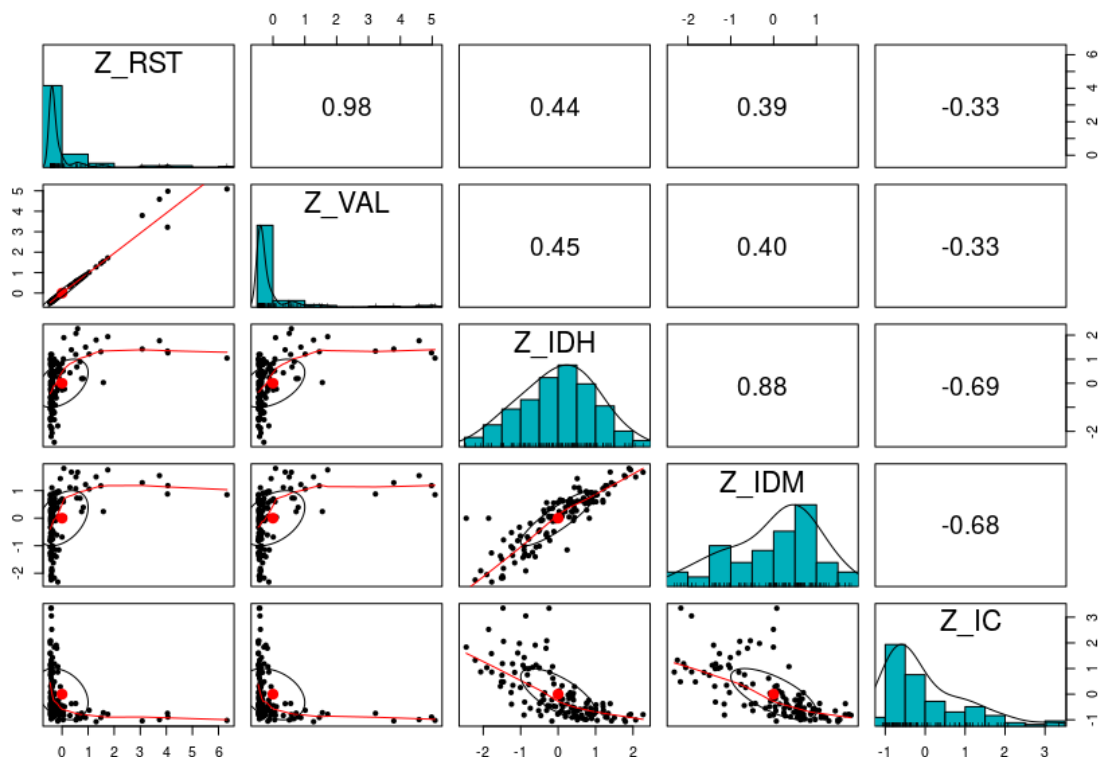


Figura 5.8. Matriz de correlación de las variables consideradas en el análisis, incluye: valor de correlación (Pearson), distribución normal de datos (barra y curva), gráfico bivariado.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5.8 se observa una alta correlación entre los valores de generación de RSU (Z_{RST}) y el potencial de valorización de residuos (Z_{VAL}), con un valor de 0.98. Así mismo, las variables que presentan una mayor correlación inversa son el índice de desarrollo humano (Z_{IDH}) y el índice de conectividad propuesto (Z_{IC}), con un valor de -0.69.

Respecto a la distribución de los datos, tanto la generación de RSU (Z_{RST}), el potencial de valorización de residuos (Z_{VAL}) y el índice de conectividad (Z_{IC}), presentan una distribución asimétrica positiva. Esto demuestra que hay una gran cantidad de pequeños municipios, que en conjunto, generan una gran cantidad de residuos. Así mismo, unos pocos municipios concentran grandes poblaciones, y por ende, generan grandes cantidades de residuos sólidos.

5.4. Análisis de clústeres utilizando el software R

5.4.1. Correlación de variables utilizando KMO

Antes de iniciar el análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) es necesario establecer la correlación de las variables. El índice de Kaiser-Meyer-Olkin busca establecer si es posible la factorización de las variables originales de forma eficiente. Para esto se utiliza la

correlación parcial, donde se establece la relación entre dos variables eliminando el efecto de las variables restantes.

El índice KMO se mueve entre valores de 0 y 1, por lo cual si el resultado está próximo a 1, se recomienda hacer el PCA, y al contrario si el valor es cercano a 0 el PCA no será relevante.

En el caso de que el valor de KMO sea bajo, se recomienda añadir más variables, recomendándose como mínimo tres en el análisis. En nuestro caso se utilizan cinco.

A continuación, se presenta el resultado del análisis de correlación de los valores en R, utilizando el índice de KMO.

```
$KMO
[1] 0.687749
```

```
$MSA
      IDH      IDM      RST      IC      VAL
0.7251561 0.7156854 0.5967814 0.9109854 0.5996246
```

El resultado del análisis muestra un valor de correlación mediocre entre las variables utilizadas, con un valor de 0.69. De igual manera, se muestran los valores de KMO por variable, observando una alta relación para el índice de conectividad propuesto. En la figura 5.9 se presenta el gráfico del análisis de KMO y la relación entre cada variable propuesta.

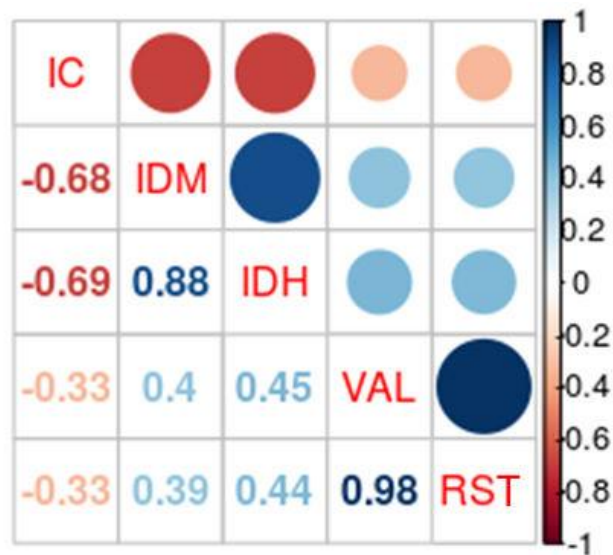


Figura 5.9. Gráfico de correlación del índice KMO entre cada variable propuesta.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 5.9 se muestra el grado de correlación entre las variables, donde el color azul representa una mayor correlación positiva y el rojo una mayor correlación negativa. De igual forma el tamaño de los círculos indica mayor o menos correlación. Se puede observar que las variables con

mayor correlación son el potencial de valorización de residuos (VAL) y la generación de residuos sólidos urbanos (RSU), así como el índice de desarrollo humano (IDH) con el índice de desarrollo municipal (IDM).

5.4.2. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (PCA) es una técnica estadística utilizada para reducir la cantidad de datos en un análisis. En este análisis se obtienen los valores y vectores de la matriz de covarianza muestral, los cuales describen una serie de combinaciones lineales no correlacionadas de las variables que contiene mayor parte de la varianza.

Con base en las variables seleccionadas, se presenta el resultado de los valores propios de cada componente, así como el porcentaje de la varianza.

	eigenvalue	percentage of variance
comp 1	3.23649407	64.7298814
comp 2	1.25196304	25.0392608
comp 3	0.37186885	7.4373769
comp 4	0.12232936	2.4465872
comp 5	0.01734468	0.3468937

Los resultados presentan cinco componentes principales, en orden descendente respecto al vector característico (o eigenvalor). Los resultados muestran que la suma de los componentes 1 y 2 explican un 89.8% de la varianza.

En la figura 5.10 se presenta de manera gráfica el porcentaje de varianza de cada componente, resultante del análisis PCA.

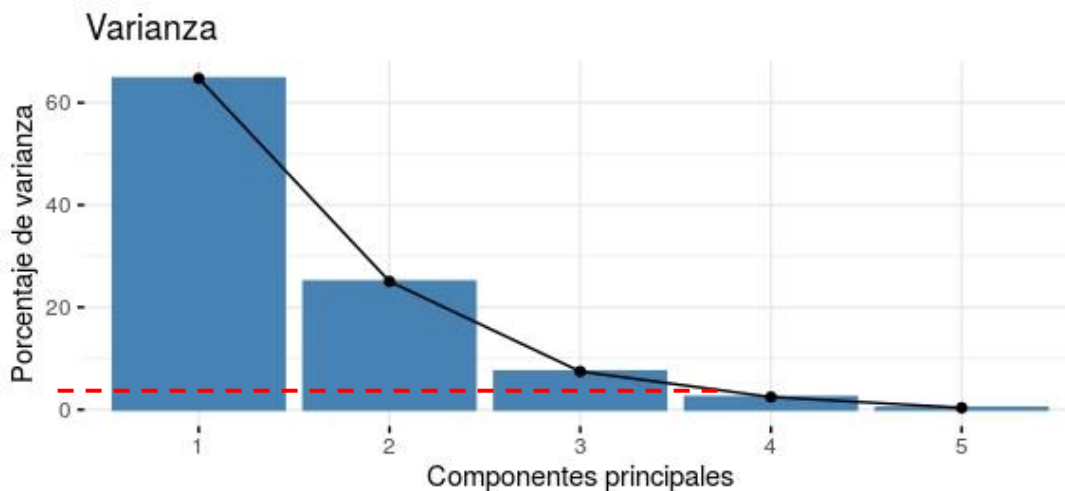


Figura 5.10. Gráfico de componentes principales.

Fuente: Elaboración propia.

Aunque en un análisis de PCA el número de componentes a considerar queda a criterio del investigador, una opción es retener los componentes con valor propio superior a 1 (eigenvalor). Otra

opción es utilizando un gráfico de sedimentación, seleccionando los componentes que se encuentran sobre el punto donde la pendiente de la curva comienza a estabilizarse.

Respecto al aporte de cada variable, considerada en la evaluación, a los componentes resultantes, los valores son los siguientes.

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
IDH	0.8719221	-0.3511097	0.22813597	0.253826298	-0.0001163282
IDM	0.8429025	-0.4079836	0.25569079	-0.240175208	0.0017121194
RST	0.7713690	0.6289503	-0.02700846	-0.006857742	0.0929243579
IC	-0.7534421	0.4229803	0.50336278	0.006170248	0.0007434314
VAL	0.7765798	0.6226907	-0.01847973	-0.011503923	-0.0933072913

Los resultados indican el coeficiente de cada variable para la creación del vector de cada componente (del 1 al 5).

Como se pudo observar, los dos primeros componentes explican casi un 90% de la varianza, lo que permite su representación gráfica en dos dimensiones. Dicha representación se realiza por medio de un gráfico circular, donde cada variable se presenta como un vector.

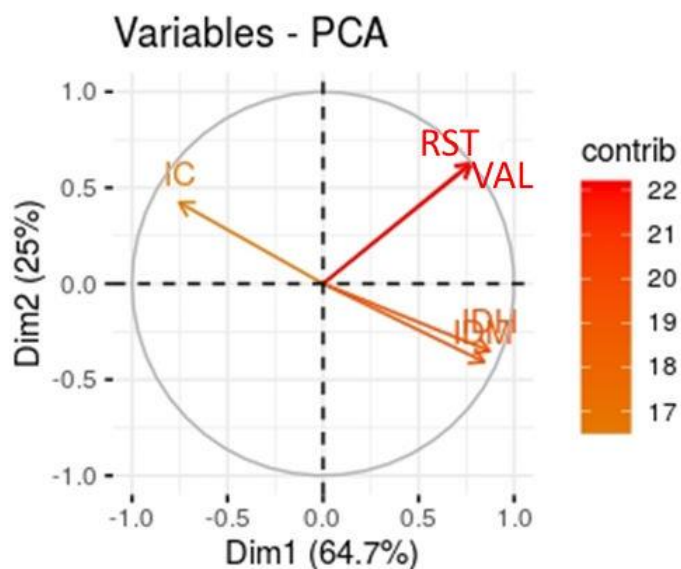


Figura 5.11. Gráfico de correlación entre las variables propuestas y los componentes 1 y 2 (Dim1 y Dim2).

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 5.11 se observa la alta contribución de la variable RSU y VAL, tanto en el componente 1 (Dim 1) como en el componente 2 (Dim 2).

Hay que recordar que el componente principal es una variable artificial que se obtiene de la combinación lineal de las variables consideradas. Su interpretación está en función de las variables más correlacionadas con él.

En el análisis del primer componente (Dim1), en el primer cuadrante se observan las variables con mayor peso en la correlación (RSU y VAL). En el segundo cuadrante se observan las variables IDM e IDH. Este primer componente se conoce como “componente de tamaño”, compuesto por las variables que presenta mayor correlación. En el segundo eje, segundo componente (Dim2), se observa como la variable IC toma relevancia, aunque RSU y VAL siguen prevaleciendo. Sin embargo, IDH e IDM toman valores negativos. Este comportamiento se conoce como “componente de forma”.

Debido a que el análisis realizado es multivariado, se ha aplicado el análisis de clúster a los dos primeros componentes principales del análisis PCA, ya que facilita su comprensión y análisis. En la figura 5.12 se muestra un diagrama de dispersión de los datos agrupados en cinco clústeres.

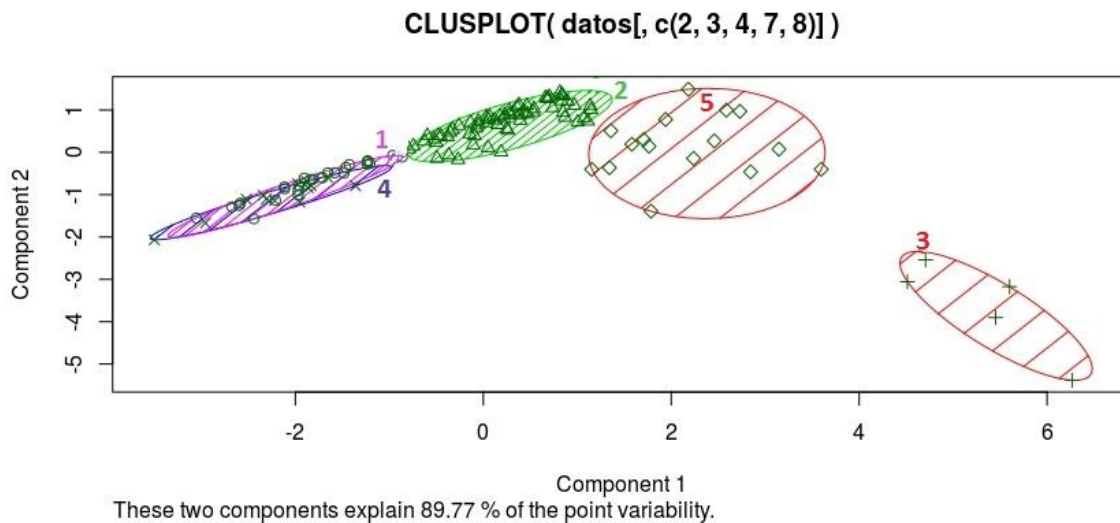


Figura 5.12. Diagrama de dispersión de datos del primer y segundo componente resultante del PCA.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de la figura 5.12 se observa que gran parte de los datos se concentran en el grupo 2, así mismo, el de menor concentración es el grupo 3. El grupo 2 se mueve con valores muy cercanos al valor 0, o sea la media de los valores.

5.4.3. Método K-means

El análisis de clústeres se realiza utilizando el archivo vectorial de los municipios del Estado de México. Este archivo contiene las cinco variables antes consideradas. Dentro de la gran cantidad de algoritmos de conglomerados, se determinó utilizar el algoritmo K-means (Hatirgan y Wong, 1979). El objetivo es la partición de un conjunto de n observaciones en k grupos, donde el criterio de aglomeración es la media de cada grupo. Este método es **no jerárquico aglomerativo**.

El algoritmo sigue la siguiente secuencia:

- a) Selección de k centroides (k filas elegidas al azar).
- b) Se le asigna a cada valor el centroide más cercano.

- c) Se vuelve a calcular el centroide con base en el promedio de todos los puntos de datos en un clúster.
- d) Se asigna a cada valor su centroide más cercano (se recalcula)
- e) Se repiten los pasos c) y d) hasta que las observaciones no son reasignadas a un nuevo centroide o se alcanza el número máximo de iteraciones (R usa 10 por defecto).

Cada observación se asigna al clúster con el valor más pequeño de:

$$SS(k) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_{kj})^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde k es el clúster, x_{ij} es el valor de la j -ésima variable de la i -ésima observación, y \bar{x}_{kj} es el promedio de la j -ésima variable del k -ésimo clúster.

5.4.4. Resultados del análisis de clúster de manejo de residuos a nivel municipal

Al aplicar el análisis k-means se crea un clúster de cinco grupos o categorías. En la figura 5.13 se muestra el mapa resultante del clúster de municipios asociados a variables de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos.

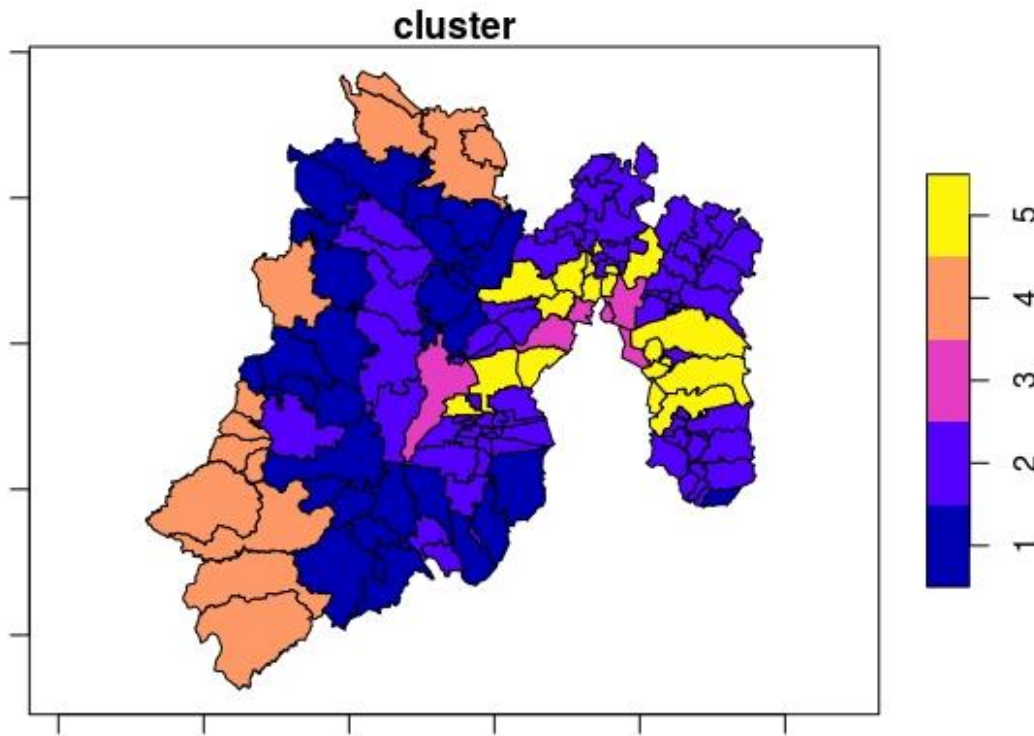


Figura 5.13. Clústeres municipales, agrupados con base en variables de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos, utilizando el método K-means.

Fuente: Elaboración propia.

Aunque el modelo no entrega una jerarquía de los clústeres resultantes, en la figura 5.13 se puede observar como el clúster tres agrupa a los municipios con mayor generación de residuos, muy por encima de la media. El clúster cinco agrupa a los municipios conurbados a la Ciudad de México y a los municipios con alta generación.

El clúster tres agrupa los municipios más pequeños. El clúster uno agrupa a municipios con condiciones más rurales y el clúster cuatro se conforma con un grupo de municipios con generaciones muy por debajo de la media.

5.4.5. Potencial de desarrollo económico regional

Recordemos que el concepto de región tiene múltiples alcances dependiendo de cómo es percibida. Una de las definiciones utilizadas actualmente se basa en una concepción neoliberal, cuyo enfoque busca establecer la competitividad, la productividad y su integración en la globalización (Sanabria, 2007).

Ramírez (2006) por otro lado la define como la construcción, desde un punto de vista espacial, que se realiza en torno a un parámetro o patrón de una variable de interés, la cual se vuelve homogénea para el conjunto de elementos que la componen.

Debido a la naturaleza de este trabajo, el cual busca integrar los municipios con características similares, en cuanto al manejo de sus residuos, a un esquema de trabajo intermunicipal, Barquero (2000) define el desarrollo económico (regional) como:

“El proceso o cambio estructural donde se aprovecha el potencial de desarrollo existente en el territorio, el cual conduce a elevar el bienestar de la población”.

Es fundamental impulsar la inversión en el sector de manejo y valorización de residuos sólidos, ya que como establece Hirschman (1957), es posible generar dinámicas económicas en otros sectores del encadenamiento productivo.

5.4.6. Selección de municipios

Con el objetivo de evaluar el potencial de desarrollo económico mediante la valorización de residuos sólidos urbanos, se ha recurrido al esquema de intermunicipalidades.

De acuerdo con lo propuesto por Zermeño (2010), son los espacios intermedios, de entre 50,000 a 100,000 habitantes, los privilegiados para atacar problemas de estancamiento, desigualdad, deterioro ambiental, entre otros. Estas condensaciones o campos sociales medios, como refiere Zermeño a dichas regiones, poseen “la riqueza material, densificación humana, poder social, confianza en el andamiaje institucional, fomento del saber científico-técnico e identidad cultural” necesarios para contrarrestar el desequilibrio que genera el poder del capital y el desinterés político-estatal.

Por lo anterior se han elegido dos grupos de municipios, ambos con poblaciones pequeñas y en los que en conjunto la cantidad de habitantes se encuentre entre 50,000 y 100,000 personas. Así mismo, que los municipios seleccionados no cuenten con un sitio de disposición final (SDF) o que no cumple con las especificaciones citadas en la NOM-083-SEMARNAT-2003.

En CMM (2015) se realizaron 16 estudios de generación y composición, considerando cinco grupos de municipios, los que fueron clasificados en cuatro grupos: urbanos, semiurbanos, semirurales y rurales. De acuerdo con dicha propuesta, los municipios del grupo A son de tipo semirural y los del grupo B son considerados rurales. Los porcentajes de materiales valorizables para el grupo de municipios semirurales es de 21.4% y 23.4 para los rurales.

En la figura 5.14 se muestra la ubicación de los municipios seleccionados, así como los sitios de disposición final que no cumplen con la norma (NOM-083-SEMARNAT-2003) y la conexión con las ETV más próximas, destino de los materiales valorizados.

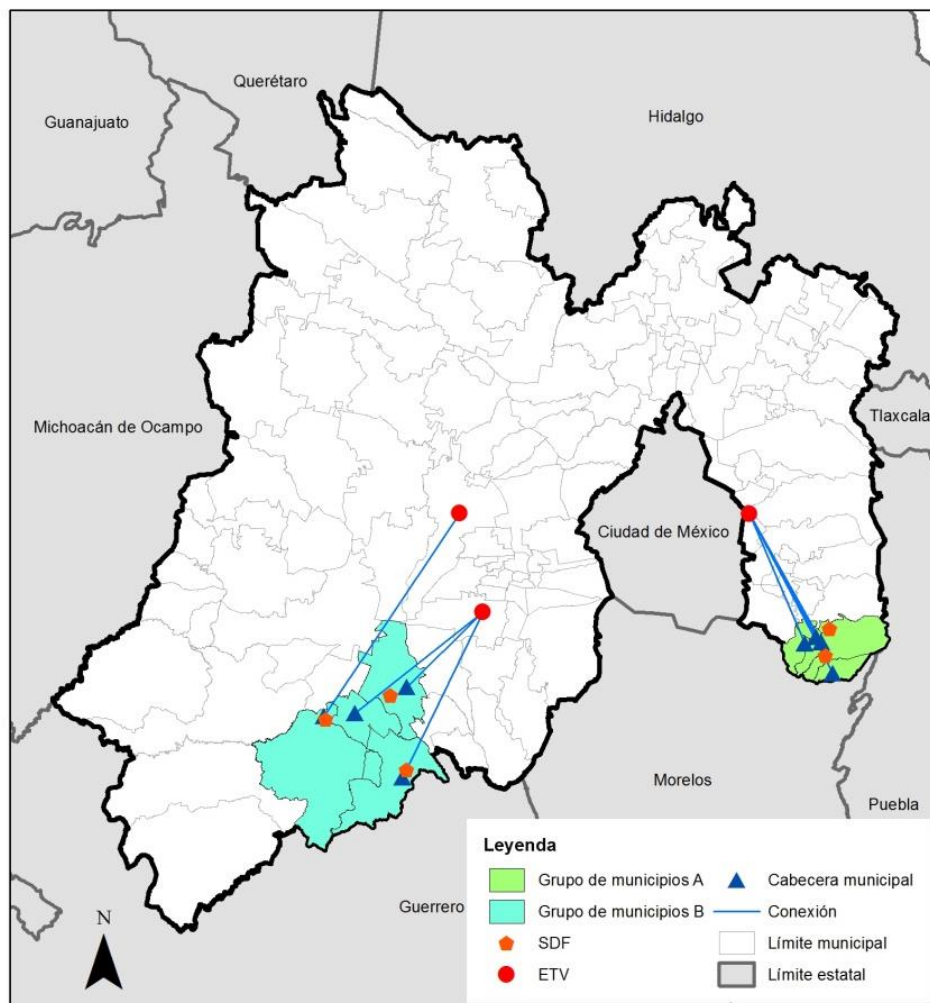


Figura 5.14. Ubicación y conexión con ETV para los grupos de municipios A y B analizados.

Fuente: Elaboración propia.

En el grupo A (semirurales), se ha incluido el municipio de Ecatzingo (rural), por razones de localización.

En las tablas 5.3 y 5.4 se presentan los grupos de municipios seleccionados para el análisis respecto al potencial de valorización de residuos sólidos urbanos.

Tabla 5.3. Grupo de municipios A.

Municipio	Población hab	Generación per cápita kg/hab/día	Generación de RSU ton/día	Valorización ton/día
Atlautla	27,663	0.39	11	2.33
Ecatzingo	9369	0.40	4	0.87
Ozumba	27,207	0.39	11	2.28
Tepetlixpa	18,327	0.39	7	1.54
Total	82,566		32	7.02

Tabla 5.4. Grupo de municipios B.

Municipio	Población hab	Generación per cápita kg/hab/día	Generación de RSU ton/día	Valorización ton/día
Almoloya de Alquisiras	14,856	0.36	5	1.25
Coatepec de Harinas	36,174	0.36	13	3.09
Sultepec	25,809	0.36	9	2.17
Zacualpan	15,121	0.35	5	1.25
Total	91,960		33	7.76

Se observa que tanto el grupo A de municipios, así como el B, tienen valores de generación de residuos similares, alcanzando valores de 33 toneladas al día. Estas cantidades de residuos son pequeñas en comparación con las generadas por municipios como Ecatepec, cuya generación alcanza las 897 toneladas diarias de residuos.

Así mismo, las cantidades de materiales valorizables están entre 7 y 8 toneladas al día, lo cual demandaría una infraestructura mínima para su preparación y almacenaje.

5.4.7. Análisis del potencial de valorización

Para la determinación del potencial de valorización, se ha considerado el porcentaje de los materiales con un mercado y precio de venta ya establecido. La cantidad de materiales e ingresos se ha estimado por año, de forma de poder comparar dichos valores con los de PIB municipal. Esto último podría dar una referencia respecto al aporte de un esquema de intermunicipalidad y economía circular en una región dada.

En la tabla 5.5 se presenta los materiales considerados en el análisis, los precios promedio de venta de cada material con base en CMM (2015), así como los potenciales ingresos anuales producto de la valorización de los mismos.

Tabla 5.5. Ingreso anual por venta de materiales valorizables en municipios grupo A.

Material	Contenido %	Contenido ton/año	Precio de compra \$/kg	Ingreso (\$)
Papel	3.8	452	0.94	\$ 425,060
Cartón	4.7	553	0.91	\$ 503,058
PET	3.0	349	3.48	\$ 1,215,236
HDPE	2.1	245	2.12	\$ 519,476
Vidrio	5.9	701	0.36	\$ 252,280
Aluminio	0.4	49	12.96	\$ 628,997
Hojalata	1.6	189	1.58	\$ 299,252
Total	21.4			\$ 3,843,359 *

Se puede observar que los materiales que más aportan al ingreso son los plásticos (PET) y los metales (hojalata y aluminio). En un año el potencial de ingresos ronda los 3.8 millones de pesos para los cuatro municipios del grupo.

Tabla 5.6. Ingreso anual por venta de materiales valorizables en municipios grupo B.

Material	Contenido %	Contenido ton/año	Precio de compra \$/kg	Ingreso (\$)
Papel	3.8	453	0.94	\$ 426,116
Cartón	5.9	716	0.91	\$ 651,226
PET	3.0	366	3.48	\$ 1,274,649
HDPE	2.4	285	2.12	\$ 604,807
Vidrio	5.9	717	0.36	\$ 258,063
Aluminio	0.8	98	12.96	\$ 1,268,992
Hojalata	1.7	199	1.58	\$ 315,145
Total	23.5	2835		\$ 4,798,998

De acuerdo con la tabla 5.6, se observa que los materiales que más aportan en el ingreso son los plásticos y el aluminio. Los ingresos por las ventas de materiales rondan los 4.8 millones de pesos anuales.

Los precios de venta son los estimados en los AIN, los cuales son un 30% más bajo que los registrados en las ETV. Esto último debido a que, en conjunto, las cantidades de materiales son mayores y permiten un mejor precio. En el caso que se ajustaran los precios de venta a los registrados en las ETV, los montos serían para el grupo A de \$5,591,495 y para el grupo B de \$6,821,218.

Se puede observar cómo una pequeña variación porcentual en el contenido de aluminio, material con el valor más alto, genera un incremento sustancial del ingreso.

En las tablas 5.7 y 5.8 se presenta el potencial de contribución al Producto Interno Bruto (PIB) municipal 2018 (IGCEM, 2018), para el grupo de municipios A y B, respectivamente.

Tabla 5.7. Ingreso vs. PIB intermunicipalidad grupo A.

Intermunicipalidad grupo A	PIB (\$)	Contribución estatal (%)	Ingreso por valorización (\$)	Contribución al PIB del grupo (%)
Atlautla	\$ 1,010,700,000	0.063%	\$ 5,591,495.44	0.24%
Ecatzingo	\$ 120,000,000	0.007%		
Ozumba	\$ 809,800,000	0.050%		
Tepetlixpa	\$ 404,500,000	0.025%		
Total	\$ 2,345,000,000	0.145%		

*Los precios de compra son con base en la información recabada en CMM (2015).

Para el caso de la intermunicipalidad del grupo A, el aporte del 21.4% de los residuos valorizados, representa un 0.24% del PIB del grupo de municipios. Aunque este porcentaje es bajo, debe tomarse en cuenta que dichos residuos representan un gasto para los municipios y muchas veces terminan en un tiradero a cielo abierto.

Tabla 5.8. Ingresos vs. PIB intermunicipalidad grupo B.

Intermunicipalidad grupo B	PIB (\$)	Contribución estatal (%)	Ingreso por valorización (\$)	Contribución al PIB del grupo (%)
Almoloya de Alquisiras	\$ 302,200,000	0.019%	\$ 6,821,218.36	0.18%
Coatepec de Harinas	\$ 2,731,600,000	0.169%		
Sultepec	\$ 314,800,000	0.020%		
Zacualpan	\$ 550,300,000	0.034%		
Total	\$ 3,898,900,000	0.242%		

Para el caso de la intermunicipalidad del grupo B, el porcentaje de aporte de la valorización del 23.45% de los residuos generados, representa el 0.18% del PIB del grupo.

Se debe considerar que existen otro porcentaje de residuos, como los orgánicos, que pueden aportar en el desarrollo de fertilizantes agrícolas, así como los residuos considerados de rechazo, generando desarrollo en su aprovechamiento energético mediante la incineración.

El resultado final muestra el gran potencial de la visión de economía circular, la cual busca reintegrar los materiales a la industria, permitiendo reducir significativamente la disposición final de residuos sólidos urbanos. Para lograr lo anterior no solo se requiere solventar aspectos técnicos y estratégicos, sino también que exista la voluntad política de los tomadores de decisión para llevar a cabo una propuesta más radical en el manejo de estos.

Por otro lado, los municipios rurales o semirurales, de manera individual, no despiertan el interés de la inversión privada debido a la baja cantidad de materiales que hace inviable su

aprovechamiento, la propuesta de intermunicipalidades ya presenta un esquema más atractivo para la inversión pública y/o privada.

Para lograr con éxito un esquema de valorización, es necesario conocer los mercados disponibles, demandas, manejo de la participación social y una estructura administrativa estricta, permitiendo sacar adelante un proyecto de esta envergadura.

6. Discusión

6.2. Diagnóstico

Aún con una legislación vigente en materia de separación y valorización de materiales reciclables, falta mayor rigurosidad en la aplicación y seguimiento de la misma. Aunado a esto, existe un vacío en materia fiscal en el tema, lo que facilita la competencia desleal, el monopolio de materiales, la evasión fiscal, los pactos informales de precios y mercados, dificultando con esto la seguridad jurídica para quienes quieren invertir en el área. Esta informalidad está íntimamente ligada al problema legal de la industria del reciclaje y su problemática social.

Las estrategias de manejo de residuos sólidos en el Estado de México, a nivel municipal, no presentando ningún tipo de reestructuración, enfoque o visión desde hace décadas, siendo el principal objetivo el de entregar el servicio de recolección y disposición final de residuos a la mayor cantidad de población al menor costo posible. Por lo anterior, los esfuerzos por valorizar los residuos se reducen a esporádicas campañas de sensibilización ambiental. Esto último responde al modelo neoliberal impuesto, institucionalmente o por medio de caciques, lo que permite que una gran mayoría de trabajadores informales (grupos vulnerables del sistema, que les es difícil encontrar trabajo en el sistema formal) encuentre en los residuos un modo de vida, miserable por decirlo menos, mientras un reducido grupo (líderes políticos, empresarios, entre otros) concentra los grandes beneficios económicos de su manejo ¿para qué cambiar entonces el modelo?

Otro aspecto relevante es la participación de los estratos medio y bajo en las actividades de valorización y comercialización de algunos materiales, principalmente aluminio y PET.

Cabe destacar el conocimiento del estrato bajo respecto a los precios de cada material, así como los lugares donde obtienen mejores beneficios por su venta (pago en efectivo, pago semanal, básculas mejor calibradas, etc.). Así mismo, se observa que los porcentajes de materiales valorizables contenidos en los residuos sólidos urbanos es mayor en los municipios rurales que en los urbanos, lo que permite establecer el potencial de desarrollo de proyectos de valorización en esquemas de asociaciones intermunicipales en dichos municipios.

Frente a la necesidad de un nuevo modelo productivo, la economía circular apuesta por un mayor aprovechamiento de los residuos (Prieto, Jaca y Ormazabal, 2017), reduciendo al mínimo su disposición final. Es quizá esta visión la que permita dar un salto hacia adelante respecto a la gestión de los residuos.

6.3. Relación espacial entre AIN y ETV

Las dinámicas de los acopios informales (AIN), así como de algunas empresas de tratamiento y valorización (ETV), principalmente pequeñas, están asociadas a una economía de supervivencia, en donde los factores informales juegan un papel preponderante, generando dinámicas de movilidad de dichas unidades económicas.

No existe un patrón que describa la interrelación económico-espacial entre los AIN y las ETV y se debe profundizar en el análisis de las variables y actores que describan de mejor manera dicho

comportamiento, con el objetivo de regular y fortalecer la creación de empresas de valorización a mediano y largo plazo.

En la búsqueda de una respuesta al comportamiento de la distribución y asociación espacial entre acopios informales y empresas de tratamiento y valorización, la visión estructuralista en la localización de la industria plantea que las empresas buscan mantener la mano de obra más barata y menos conflictiva de las zonas periféricas, así como beneficiarse de la diferencia de costos entre los distintos territorios (Bustos, 1993). Esto último implica que en el análisis de localización no solo deben considerarse factores económicos, como el de transporte, sino también variables sociales y políticas que permiten comprender de mejor manera la creación de una empresa en un lugar determinado.

Es posible que la inexistencia de patrones de distribución en el espacio sea resultado de lo que Bauman (2002), en su libro *Modernidad Líquida*, expresa como efectos de la era de la globalización. Las formas de la empresa, la demanda, así como el papel que juega el tiempo y el espacio, genera nuevos fenómenos económicos mediante la apertura y creación de nuevas fronteras, se rompen y crean nuevos vínculos. Esto permite que las empresas y la política dejen de actuar en planos diferenciados.

Por otra parte, la *Teoría Económica Institucional* de Douglass North (1992) ofrece un acercamiento a las formas de interacción, formales e informales, en un marco conocido como “reglas del juego”. Estas reglas pueden limitar las acciones de los agentes económicos generando nuevas estructuras de poder basadas en limitantes formales, informales y el costo de su aplicación. Esto requiere conocer más a fondo las estrategias, limitantes y desafíos de las empresas para operar en el mercado de valorización de residuos sólidos urbanos.

6.4. Metodología de clúster propuesta

La metodología propuesta para modelar clústeres de manejo y valorización de residuos sólidos urbanos es fácil de aplicar, pero requiere un nivel de experiencia para lograr una adecuada selección de las variables e interpretación de los resultados.

Es fundamental realizar un análisis exploratorio de las variables, así como el análisis de componentes principales, lo que permite comprender de mejor manera la incidencia de cada variable en el análisis. El resultado obtenido depende significativamente de las variables utilizadas al momento de aplicar el modelo. Se utilizó el modelo *k-means*, mediante el uso del software R, lo que facilita estructurar una metodología de análisis, así como la generación de gráficos y mapas para su interpretación.

Los clústeres generados permiten dar una orientación clara respecto al nivel de manejo de los residuos en los municipios, facilitando la comprensión territorial de los mismos, así como su interrelación con la infraestructura de manejo y valorización existente.

La metodología propuesta requiere fuentes de información oficial y de campo, así como un análisis previo de la situación regional de gestión y manejo de los residuos sólidos urbanos, facilitando la comprensión e interpretación de los resultados.

6.5. Potencial de desarrollo regional

De acuerdo con la definición de Gutiérrez (2007), el potencial de desarrollo regional se refiere a la capacidad de una región para crecer y elevar el nivel de vida de la población. Dicha capacidad es un proceso que puede ser medido, aplicando métodos de cálculo para estimar el grado de impacto del o los factores de potencialidad. Dicha cuantificación es el paso previo a la toma de medidas de políticas regionales (Toral, 2001).

Al utilizar el PIB municipal como unidad de medida para establecer la incidencia de la valorización de RSU en las regiones resultantes del análisis de clúster, no solo facilita cuantificar el impacto, sino que también permite un análisis de auto correlación espacial local.

El análisis muestra que para una pequeña región de municipios rurales y semi-rurales, el impacto de la valorización del 21,44% y 23.45% de los residuos sólidos, genera contribuciones al PIB intermunicipal de 0.15% y 0.24% respectivamente, lo cual logra ser interesante como proyecto de inversión, ya sea público, privado o mixto.

Con base en los resultados obtenidos, es posible establecer que los clústeres, o conglomerados territoriales, tienen un alto potencial para el desarrollo de proyectos de valorización de residuos sólidos urbanos. Así mismo, facilita la implementación de políticas públicas acorde con realidades territoriales similares. Por lo anterior, los residuos se vuelven una fuente de ingreso y no un gasto para el municipio.

En este trabajo solo se ha utilizado el 20% de los residuos para demostrar el potencial de la valorización de los residuos, sin embargo, en el Estado de México hay experiencias que permitirían no solo su comercialización, sino también su transformación en otros productos, pudiendo aprovecharse más del 50%. Esto facilitaría integrar el manejo de los residuos sólidos a una economía circular, generando empleos, técnicos, desarrollo de tecnologías, demanda de suministros, entre otras dinámicas económicas basadas en su valorización y aprovechamiento.

7. Conclusiones

La valorización de los residuos sólidos urbanos es una actividad que se realiza desde tiempos prehispánicos en la Ciudad Estado de Tenochtitlán (lugar donde hoy se ubica la Ciudad de México), donde los residuos eran separados y reutilizados en actividades agrícolas, iluminación de la ciudad, entre otros. Es posible que dichas prácticas hallan sido replicadas en otras regiones del Imperio Mexica.

De las lecciones dejadas por las culturas prehispánicas, así como de geógrafos, economistas, urbanistas, entre otros, del último siglo, se puede desprender que, para un manejo adecuado de los residuos sólido en una región, es necesario conocer y comprender la interrelación espacial entre los distintos actores involucrados. Pasar de una visión local a una regional, permitiría potenciar el correcto manejo y la valorización de los residuos sólidos urbanos.

La utilización de clúster regionales, o sistemas intermunicipales, de manejo de residuos sólidos urbanos, es una alternativa que da viabilidad logística, técnica y económica a la valorización de materiales reciclables, en el Estado de México. Además, permite una mejor comprensión del territorio, desde un punto de vista espacial, económico y social. De igual manera permite comprender la interrelación entre los actores formales e informales involucrados en la valorización de los residuos sólidos urbanos.

Con base en el diagnóstico realizado fue posible determinar que los métodos, estructura de manejo y valorización de residuos es el mismo desde hace décadas, generando un retraso en lo que se refiere a innovación y manejo de residuos para su aprovechamiento. Este esquema solo beneficia a intermediarios y grandes empresas de valorización.

Como resultado del análisis de las encuestas aplicadas a domicilios, fue posible establecer que existe una variación de los niveles de participación en la valorización de residuos por estrato socioeconómico, siendo el estrato alto más participativo en el cumplimiento de la legislación referida a separación de residuos, mientras el estrato bajo tiene una mayor participación en la valorización y comercialización de materiales reciclables.

Las cinco variables utilizadas en el modelo de clúster, fueron obtenidas de fuentes oficiales y otras como resultado del diagnóstico estatal, lo cual permitiría replicar la metodología propuesta en otras regiones. Se observó una distribución asimétrica de los datos, principalmente para las variables de generación de residuos, potencial de valorización y conectividad, lo que demostraría la desigualdad en el manejo de sus residuos a la que se enfrentan los municipios más pequeños respecto a los más grandes. Dicha desigualdad evidenciaría la necesidad de un esquema intermunicipal, que permita genera el contrapeso territorial necesario para dar viabilidad a la valorización de los residuos, principalmente en los municipios con un índice de conectividad bajo.

El levantamiento de información en campo permitió la generación de una geodatabase de datos valiosa y representativa, tanto del manejo como de la valorización de residuos sólidos urbanos en el Estado de México. La información recabada en CMM (2015), considera entre otros datos, visita a 82 sitios de disposición final (SDF), aplicación de encuesta a 24 empresas de tratamiento y valorización, así como a 28 acopios informales (AIN). De igual forma se aplicaron 3360 encuestas a

domicilios, con lo cual se pudo conocer la participación social en la valorización de residuos por estrato socioeconómico, siendo los estratos bajos los más participativos en las actividades de separación y comercialización de materiales reciclables. De acuerdo a la clasificación de residuos realizada en 16 municipios del Estado de México, se ha demostrado que los porcentajes de materiales valorizables contenidos en los residuos sólidos urbanos es mayor en los municipios rurales que en los urbanos, lo que permite establecer el potencial de desarrollo de proyectos de valorización en esquemas de asociaciones intermunicipales.

El indicador de conectividad propuesto permite establecer que la relación entre los acopios informales (AIN) y las empresas de tratamiento y valorización (ETV) no obedece a variables de proximidad. Así mismo se pudo determinar que la mayor concentración de ETV están ubicadas en los municipios de Ecatepec, Nezahualcóyotl, Chimalhuacán y Valle de Chalco, municipios periurbanos a la Ciudad de México. De igual manera, las encuestas aplicadas a los AIN revelaron que los principales destinos de los materiales recuperados son los municipios de Chalco, Tenango del Valle, Toluca, Tecámac, Ecatepec y Amecameca.

El modelo de clúster propuesto se basa en el método de *K-means* para agrupar los municipios. Si bien el modelo no aglomera de manera jerárquica, el análisis estadístico exploratorio y de componentes principales facilita su interpretación. Los resultados muestran que la generación de residuos sólidos y el potencial de valorización tienen una alta correlación positiva. Sin embargo, el índice de conectividad propuesto tiene una alta correlación pero con signo negativa, lo cual aporta de manera importante a la interpretación de los resultados.

Los sistemas de información geográficos, así como los softwares para análisis de bases de datos, como R, facilitan el manejo e interpretación de la información, convirtiéndose en herramientas básicas en la gestión, manejo y valorización de los residuos sólidos urbanos.

Mediante dos escenarios posibles se estableció el impacto al desarrollo regional de la valorización de residuos sólidos mediante la estructura intermunicipal. Para la intermunicipalidades A y B, los impactos de la valorización de residuos alcanzó respectivamente el 0.24% y 0.18% del PIB de cada grupo. Dichos valores son significativos, considerando que actualmente el manejo de residuos representa un alto costo del presupuesto municipal.

Es posible afirmar que los clústeres territoriales facilitan la implementación de políticas enfocadas a incrementar la valorización de materiales reciclables, impactando de manera positiva en el desarrollo regional y local.

Es importante recalcar la incidencia de la participación social en la valorización de los residuos, por lo cual es necesario ahondar en este tema con el fin de adaptar los programas de inversión a las dinámicas locales y regionales.

Es necesario generar bases de datos institucionales que aporten información confiable y actualizada referente a precios de materiales, centros de acopios y empresas de valorización, así como políticas enfocadas en promover la valorización de los residuos, con el fin de contribuir en la economía circular de localidades y ciudades.

8. Bibliografía

- Abarca, L., Maas, G. y Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management Journal*, 33(1), 220-232.
- Amin, A. (2000). Industrial districts, en E. Sheppard and T.J. Barnes (Eds.), *A Companion to Economic Geography* (pp. 149-168). Oxford.
- Banco Mundial (2013). *Agenda de reformas en México para un crecimiento incluyente y sostenible – México*. Washington: Banco Mundial.
- Bansal, P. y Roth, K. (2000). Why companies go Green: A model of ecological responsiveness. *The Academy of Management Journal*, 43(4), 717-736.
- Bas, T., Amoros, E. y Kunc, M. (2008). Innovation, entrepreneurship and clúster in Latin America Natural Resource. Implication and future Challenges. *Journal of Technology, Management and Innovation*, 3(4), 52-65.
- Bauman, Z. (2002). *Modernidad líquida*. España: Fondo de Cultura Económica de España.
- Bolaños, O. (1999). Caracterización y tipificación de organizaciones de productores y productoras. Unidad de planificación estratégica. Trabajo presentado en el. *XI Congreso Nacional Agronómico / I Congreso Nacional de Extensión*, Costa Rica.
- Bosque Sendra, Joaquín; Rodríguez Rodríguez, Vicente y Santos Preciado, José Miguel (1983). La geografía cuantitativa en la universidad y la investigación española. *Cuadernos críticos de geografía humana*, 8(44), 0210-0754.
- Bustos Gisbert, María Luisa (1993). Las teorías de localización industrial: una breve aproximación. *Revista de Estudios Regionales*, España, 35, 51-76.
- Cabrera, P. (2011). Clúster industriales y su profunda relación con la geografía: un acercamiento al desarrollo de los clústers locales. *Revista Boletín de Geografía*, 32, 1-14.
- Caló, J. (2010). De recuperadores a productores. La experiencia de Nuevo Rumbo en la especialización y agregación de valor sobre el vidrio reciclado. *Revista de las Jornadas de Investigación en Disciplinas Artísticas y Proyectuales (JIDAP)*, 1:1-8.
- Capel, H, y Urteaga, L. (1994). *Las nuevas geografías*. Barcelona: Salvat Editores.
- Castaldo, A., Acero de la Cruz, R., García Martínez, A., Martos, J., Pamio, J., Mendoza García, F. (2003). Caracterización de la invernada en el nordeste de la provincia de La Pampa (Argentina), trabajo presentado en el *XXIV Reunión Anual de la Asociación argentina de Economía Agraria*, Río Cuarto, Argentina.
- Castillo, H. (2005). Basura: un problema metropolitano. *Revista Veredas*, 6(10), 156-171.
- Castillo, H. (2011). La Basura y la Sociedad. En Museo Universitario de Arte Contemporáneo (Ed.), *Residual: intervenciones artísticas en la ciudad* (pp. 135-157).

- Centro de Información Técnica (CIT) (2013). *Sistema de codificación de los materiales plásticos (Basado en la NORMA IRAM 13700)*. Argentina: Ecoplas.
- Centro Mario Molina (2015). *Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos urbanos en el Estado de México (Informe Final)*. Ciudad de México, México: CONACYT.
- Céspedes J. y Martínez J. (2006). *Generación y difusión de la innovación en distritos industriales*. Recuperado de <http://www.madrimasd.org/revista/revista36/tribuna/tribuna3.asp>
- Chias, L., Iturbe, A. y Reyna, F. (2001). Accesibilidad de las localidades del Estado de México a la red carretera pavimentada: un enfoque metodológico. *Investigaciones Geográficas*, 46, 117-130.
- Chung, A. (2004). Modelo de clúster empresariales en la gestión de los residuos sólidos urbanos, *Industrial Data Revista de Investigación*, 7(1), 65-69.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2011). *Índice Absoluto de Marginación 2000-2010*. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion
- Cortés, F. (2008). Los métodos cuantitativos en las ciencias sociales de América Latina. *Iconos Revista de Ciencias Sociales*, 30,91-108.
- Cortina, J. (2007). *Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción* (Tesis de maestría). Universidad de las Américas, Puebla.
- Cortinas, C. (2010). *Reciclaje de plásticos, en el contexto del desarrollo sustentable y humano*. Recuperado de <https://docplayer.es/12084885-Reciclaje-de-plasticos-en-el-contexto-del-desarrollo-sustentable-y-humano.html>
- Cortinas, C. (Febrero, 2004). Nueva visión legislativa de los residuos sólidos en México. Trabajo presentado en el *Congreso Internacional de Culturas y Sistemas Jurídicos Comparados*. Ciudad de México, México.
- Cuervo, A., Montoro, A. y Romero, A. (2008). *Clústers and Business Innovation*. Heidelberg: SpringerBerlin.
- Diez, J. (2004). *Transformaciones en la gestión municipal: el caso latinoamericano*. Argentina: Instituto de Economía Universidad Nacional del Sur.
- Dos Santos, A. y Wehenpohl, G. (2001). De pepenadores y triadores, el sector informal y los residuos sólidos municipales en México y Brasil. *Gaceta Ecológica*, 60,70-80.
- Dutrénit, G. (2009). *Sistemas regionales de innovación: un espacio para el desarrollo de las PYMES*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Ferreira, L. y Hitchcock, D. (2009). A Comparasion of hierarchical methods for clustering functional data. *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, 39(9), 1925-1949.

- Flamand, L., Martínez P., S. y Camacho, O. (2007). *Metodología de cálculo: Índice de Desarrollo Municipal Básico (IDMb)*. México: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED).
- Galán, G., Casanueva, R y Castro A. (2010). Capital social e innovación en clústers industriales. *Revista europea de dirección y economía de la empresa*, 19(4), 37-58.
- Galván, F. y Santín del Río, L. (2012). *Asociacionismo intermunicipal: Estrategias para el desarrollo sustentable del territorio y de los servicios públicos en México*. México: Arlequín.
- García, A. (2004). *Redes Sociales y Clústers Empresariales, Desarrollo Humano Local: Una Antología*. Cuba: Universidad de la Habana.
- García, A. (2006). *Recomendaciones táctico operativas para implementar un programa de logística inversa: estudio de caso en la industria del reciclaje de plásticos*. México: EUMEDNET.
- García, E. (2012). *Evaluación para la competitividad para el desarrollo industrial de sectores industriales económicamente importantes: El clúster del plástico en Ciudad Juárez* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, A. (1998). La incorporación del desarrollo sustentable en el modelo de desarrollo regional para el manejo óptimo de recursos naturales (conceptos teóricos). En S. Rodríguez, J. Serrano y A. J. Villar (Coord.), *Desarrollo regional y urbano en México a finales del siglo XX* (pp. 55-65). México: AMECIDER-UAEM-IIE(UNAM).
- Germain, R. (1993). The adoption of statistical methods in market research: 1915-1937. *The International Library of Critical Writings in Business History*, 6, 435-448.
- Graizbord, B. y Héctor, S. (1986). Expansión física de la ciudad de México. En G. Garza (Coord.), *Atlas de la ciudad de México* (pp. 120-125). México: Departamento del Distrito Federal / El Colegio de México.
- Grajierna, J., Gamboa, I. y Molina, A. (2004). Los clúster como fuente de competitividad: el caso de la Comunidad Autónoma del País Vasco. *Cuadernos de Gestión*, 4(1), 55-67.
- Gratelly, P. (2004). *Metodología y estrategia de participación para la implementación de la Estrategia Regional de la Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana (ERDEBA) y sus planes de acción* (Informe técnico). Perú: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Biota BD S.A. y Universidad de Turku (Finlandia).
- Gutiérrez, C. (2007). Potencial de desarrollo y gestión de la política regional: El caso de Chihuahua. *Frontera Norte*, 38(19), 7-35.
- Gutiérrez, C. (2002). Estrategias para el manejo integral de los residuos sólidos en centros turísticos. Trabajo presentado en el *XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS-FEMISCA*, Cancún, México.
- Hartigan, J. A. and Wong, M. A. (1979). A K-means clustering algorithm. *Applied Statistics*, 28, 100-108.

- Hazra, T. y Goel, S. (2009). Solid waste management in Kolkata, India: Practices and challenges. *Journal of Waste Management*, 29, 470-478.
- Henry, R., Yongsheng, Z. y Jun, D. (2006). Municipal solid waste management challenges in developing countries - Kenya case study. *Journal of Waste Management*, 26, 92-100.
- Hettner, A. (1982). La naturaleza de la geografía y sus métodos. En J. Gómez, J. Muñoz y N. Ortega (Eds.), *El pensamiento geográfico* (pp. 311-322). Buenos Aires: Alianza Universidad.
- Hirschman A. (1957). *The strategy of economic development*. Estados Unidos: Universidad de Yale.
- Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGECEM) (2018). *Producto Interno Bruto Municipal 2018. Secretaría de Finanzas del Gobierno del Estado de México*. Recuperado de http://igecem.edomex.gob.mx/sites/igecem.edomex.gob.mx/files/files/ArchivosPDF/Productos-Estadisticos/Indole-Economica/PIB/PIB_Municipal_2018.pdf
- Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2010). *La caja negra del gasto público*. México: Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2011). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegaciones 2011, Residuos sólidos urbanos*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2013/default.html#Microdatos>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2015). *Encuesta Intercensal 2015*. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>
- Kaiser, H. (1974). An index of factor simplicity. *Psychometrika*, (39), 31-36.
- Kokusai, J. (1998). *Estudio sobre el manejo de los residuos sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos* (Informe final) Ciudad de México, México: Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y KokusaiKogyo Co. Ltda.
- Lazerson, M. (1995). A New Phoenix?: Modern putting-out in Modena knitwear industry. *Administrative Science Quarterly*, 40, 34-59.
- Lévy, J. y Varela, M. (2003). *Análisis multivariable para las ciencias sociales*, Editorial. Madrid: Pearson Educación.
- Llanas, R., Mandujo, C. y Platas, F. (1996). *Residuos Sólidos y Ecología en México, Una Visión Histórica*. México: AMCRESPAC/SEMARNAP.
- Marshall, A. (1920). *Principles of economics*. Londres: Sociedad de Libros en Ingles.
- Maureira, A. (2009). *Innovación y capital social, factores claves que facilitan la formación y desarrollo de un clúster en el sector vitivinícola chileno; el caso del Programa Territorial Integrado: Vitivinícola Valle del Maipo* (Tesis de maestría). Universidad de Chile.

- McEvily, B. y Zaheer, A. (1999). Bridging ties: A source of firm heterogeneity in competitive capabilities. *Strategic Management Journal*, 20(12), 1133-1156.
- Medina M. (2005). Serving the unserved: informal refuse collection in México. *Waste Management Research*, 23, 390-397. DOI: 10.1177/0734242X05057698
- Mercado, A. (2011). El clúster de la publicidad en la Ciudad de México. En A. Mercado y M. Moreno (Coords.), *La Ciudad de México y sus clústers* (pp.95-141). México: UAM-Juan Pablos.
- Moghadam, M., Mokhtarani, N. y Mokhtarani, B. (2009). Municipal solid waste management in Rasht City, Iran. *Journal of Waste Management*, 29, 485-489.
- Monroy, J. (2003). *Plan Puebla-Panamá como estrategia ante la problemática de atraso en el sur-este mexicano* (Tesis profesional). Universidad de las Américas de Puebla.
- Montero, C. y Morris, P. (Enero 1999). Territorio, competitividad sistémica y desarrollo endógeno, Metodología para el estudio de los Sistemas Regionales de Innovación. Trabajo presentado en el *Seminario Internacional Instituciones y actores del desarrollo territorial en el marco de la globalización*, Concepción, Chile.
- Mora, J. (2004). *El problema de la basura en la Ciudad de México*. México: Fundación de Estudios Urbanos y Metropolitanos Adolfo Chritlieb Ibarrola.
- Mrayyan, B. y Hamdi, M. (2006). Management approaches to integrated solid waste in industrialized zones in Jordan: A case of Zarqa City. *Journal of Waste Management*, 26, 195-205.
- North, D. (1992) Institution and Economic Theory. *The American Economist*, 36(1), 3-6.
- Nystrom, H. (1995). *Manufacturing Clúster Growth Methodology and model for the Arizona-Sonora (Mexico) Region* (Tesis doctoral). Universidad del Estado de Arizona.
- Amin, A. (2000). Industrial districts. En E. Sheppard and T.J. Barnes (Eds.), *A Companion to Economic Geography* (pp. 149-168). Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Örjan, S. (2009). *Clúster: Equilibrando fuerzas evolutivas y constructivas*. Estocolmo: Ivory Tower.
- Orozco, D. y Dominguez V. (2011). Encadenamientos industriales y la derrama tecnológica de la inversión extranjera directa. *Economía: Teoría y Práctica*, 35, 63-92.
- Ortega, J. (2003). *Los horizontes de la geografía. Teoría de la geografía*. Barcelona: Ariel Geografía.
- Ortiz, E. (1978). *Limpia y transportes*. México: Sindicato único de Trabajadores del Gobierno del Distrito Federal, Sección Uno.
- Paiva, V. (2004). *Las cooperativas de recuperadores y la gestión de residuos sólidos urbanos en el Área Metropolitana de Buenos Aires*. Revista Theomai (Número especial). Recuperado de <http://revista-theomai.unq.edu.ar/numespecial2004/artpaivanumespec2004.htm>
- Porter, Michel (2000). Local, competition and economic development: local clúster in a global economy. *Economic Development Quarterly*, 14(1), 15-34.
- Porter, Michel (2003). The economic performance of region. *Regional Studies*, (37), 549-578.

- Porter, M. (1998). *Clusters and the new economics competition*. *Harvard Business Review*, 76(6), 77-90.
- Pretty, J. (1995). The many interpretations of participation. *Turism in Focus*, 16, 4-5.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2014). *Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: Nueva metodología*. Recuperado de <https://www.undp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReduccionPobreza/InformesDesarrolloHumano/UNDP-MX-PovRed-IDHmunicipalMexico-032014.pdf>
- Quadri, G., Wehenpohl, G., Sánchez, J., López, A. y Nyssen, A. (2003). *La basura en el limbo: Desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de los residuos sólidos urbanos*. México: Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental y Agencia de Cooperación Técnica Alemana.
- Rionda, J. (2006). *Teorías de la región*. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=70WqhwKnJG8C&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Jorge+Isauro+Rionda+Ram%C3%ADrez%22&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiQ9YfurcjoAhUIOq0KHTJYC2YQ6wEIKzAA#v=onepage&q&f=false>
- Ramos, J. (1998). *Una estrategia de desarrollo a partir de los complejos productivos (clúster) en torno a los recursos naturales*. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/31046>
- Real Academia Española (2020). *Diccionario de la lengua española, consultada en febrero de 2020*. Recuperado de <https://dle.rae.es/>
- Reclus, E. (1965). *La geografía como metáfora de libertad*. México: Plaza y Valdez S.A.
- Robles, B. (2011). *Oaxaca transición hacia el desarrollo: Una estrategia de impulso desde sus regiones*. México: Benjamín Robles Montoya.
- Rocha, H.O. (2004) Entrepreneurship and development: The role of clusters. *Small Business Economics*, 23(5), 363-400.
- Rudder, W., Keane, M., O'Sullivan, G., and Bischoff, R., (2005). *Review of Alternative Solid Waste Management Methods for Greater Vancouver Regional District*. Canada: Earth Tech (Canada) Inc.
- Ruggerio, C. (2011). Clúster de plantas sociales de recuperación de residuos ¿una oportunidad para propender a una gestión integral de los residuos sólidos urbanos? El área metropolitana de Buenos Aires como caso de estudio. En: Suárez, F. y Schamber, P. (Eds), *Recicloscopio II. Mirada sobre recuperadores , políticas públicas y subjetividades en América Latina* (pp.155-180). Buenos Aires: Prometeo-UNGS.
- Salguero, J. (2006). Enfoque sobre algunas teorías referentes al desarrollo regional. Recuperado de http://www.sogeocol.edu.co/documentos/Enf_teo_des_reg.pdf

- Salom, J. (2005) El papel de los geógrafos en el desarrollo de los estudios regionales en España. *Investigaciones Regionales*, 6, 153-174.
- Sanabria, T. (2007) Los alcances del concepto de región. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 1(11):234-239.
- Sánchez, E., Van der Wal, M., López, H., Vázquez, A., Espinoza, R. y Álvarez, J. (2016). Operación de siete plantas de composta en la Ciudad de México. En Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C. (Eds), *Los residuos sólidos como fuente de materiales y energía* (pp. 244-252).
- Sánchez Luna, Gabriela (1996). El crecimiento urbano del Distrito Federal y su legislación urbanística. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, 85:283-302.
- Sancho y Cervera, J. y Rosiles, G. (2005). *El manejo de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en México*. México: Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL).
- Santos, M. (2000). *La naturaleza del espacio, Técnica y tiempo. Razón y emoción*. Barcelona: Ariel S.A.
- Schaefer, F. (1988). *Excepcionalismo en geografía*. Barcelona: Publicaciones de la Universitat de Barcelona.
- Scheinberg, A. (2011). *Value added: Modes of sustainable recycling in the modernisation of waste management systems* (Tesis doctoral). Universidad de Wageningen.
- Secretaría de Ecología del Estado de México (SEEM) (1999). *Análisis del mercado de los residuos sólidos municipales reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo*. México: Secretaría de Ecología del Estado de México y Cooperación Técnica Alemana (GTZ).
- Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA.DF) (2010). *Programa de gestión integral de los residuos sólidos para el Distrito Federal 2010-2015*. México: Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales, indicadores cables y desempeño ambiental*. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2009). *Programa Nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2009-2012*. México: SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología (INE) (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos en México*. México: Instituto Nacional de Ecología (INE).
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) (2016). *Programa de gestión integral de residuos sólidos PGIRS 2016-2020*. Recuperado de <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>

- Sforzi, F. (1999). La teoría marshalliana para explicar el desarrollo local, en F. Rodríguez (Ed.), *Manual de desarrollo local* (pp. 13-32). Asturias: Gijón.
- Toral, A. (2001). *El factor espacial en la convergencia de las regiones de la Unión Europea: 1980-1996* (Tesis doctoral). Universidad Pontificia Comillas de Madrid.
- Torres, F., Delgadillo, J., Gasca, J. y Enríque, I. (2008). *Formaciones regionales comparadas: los casos de México, España e Italia*. México: El Colegio de Tlaxcala A.C.
- Unger, K. (2010). *Globalización y clúster regionales en México: Un enfoque evolutivo*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Unger, K. y Chico, R. (2004). La industria automotriz en tres regiones de México; un análisis de clústers. *El Trimestre Económico*, 71(284), 909-941.
- Unger, K., Detraux, B., Martínez, A. y Revilla, M. (2003). *Los clústers industriales en México: especializaciones regionales y la política industrial*. Chile: CEPAL-GTZ.
- Valerio, D., García, A., Acero de la Cruz, R., Castaldo, A., Manuel, J. y Martos, J. (2004). Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos. *Documento de Trabajo: Producción Animal y Gestión*, 1, 1-9.
- Vargas, G. (2007). Diversidad y riqueza del medio intertropical y la geografía colonial. En Bergoening, J.P y Brenes, L.G. (Eds.), *Práctica de la Geografía* (pp. 211-227). Cartago: Tecnológica.
- Vázquez, A. (2000). *Desarrollo económico local y descentralización: aproximación a un marco conceptual* (LC/R. 1964). Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31392/1/S00020088_es.pdf
- Wamsler, C. (2000). *El sector informal en el reciclaje de los residuos sólidos en el Estado de México*. México: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH / Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México.
- Zermeño, S. (2009). *Reconstruir a México en el siglo XXI: Estrategias para mejorar la calidad de vida y enfrentar la destrucción del medio ambiente*. México: Océano de México.
- Zhuang, Y., Wu, S.W., Wang, Y.L., Wu, W.Z. y Chen, Y. (2008). Source separation of household waste: A case study in China. *Journal of Waste Management*, 28, 2022-2030.

Anexo 1. Generación de residuos sólidos urbanos para los municipios del Estado de México

A continuación se presentan los resultados de la expansión de la generación per cápita y la generación total diaria de residuos sólidos urbanos, con base en los estudios realizados en campo, para todos los municipios del Estado de México.

Grupo	Municipio	Generación per cápita (kg/hab/día)		Promedio del Grupo	Población 2014 (INEGI)	Generación RSU (ton/día)
		Promedio Inicial	Promedio Ponderado			
I	Ecatepec de Morelos	0,593	0,528	0,551	1.698.643	897
	Nezahualcóyotl	0,511	0,488		1.134.789	554
II	Naucalpan de Juárez	0,430	0,363	0,503	864.923	314
	Tlalnepantla de Baz	0,648	0,686		677.712	465
	Toluca	0,431	0,431		878.016	379
III	Atizapán de Zaragoza	0,496	0,496	0,454	515.153	255
	Chalco	0,463	0,463		345.361	160
	Chimalhuacán	0,443	0,443		673.443	299
	Coacalco de Berriozábal	0,430	0,463		285.012	132
	Cuautitlán Izcalli	0,476	0,476		535.823	255
	Ixtapaluca	0,427	0,401		499.841	200
	Metepec	0,452	0,452		225.267	102
	Nicolás Romero	0,452	0,452		406.489	184
	Tecámac	0,491	0,484		423.043	205
	Tultitlán	0,440	0,490		525.218	257
Valle de Chalco Solidaridad	0,429	0,429	379.685	163		
IV	Acolman	0,390	0,390	0,386	171.744	67
	Almoloya de Juárez	0,399	0,399		161.070	64
	Almoloya del Río	0,388	0,388		12.120	5
	Amecameca	0,388	0,388		49.859	19
	Apaxco	0,382	0,382		29.078	11
	Atenco	0,388	0,388		64.486	25
	Atizapán	0,392	0,392		11.177	4
	Atlacomulco	0,394	0,329		103.923	34
	Atlautla	0,394	0,394		30.093	12
	Ayapango	0,392	0,392		10.405	4
	Calimaya	0,395	0,395		52.160	21
	Capulhuac	0,384	0,384		36.516	14
	Chapultepec	0,387	0,387		11.607	4
	Chiautla	0,392	0,392		28.583	11
	Chicoloapan	0,387	0,387		182.162	71
Chiconcuac	0,384	0,384	24.906	10		
Cocotitlán	0,388	0,388	12.465	5		

Coyotepec	0,384	0,384	39.871	15
Cuautilán	0,395	0,395	159.197	63
Ecatzingo	0,396	0,396	10.107	4
Huehuetoca	0,390	0,390	125.160	49
Hueypoxtla	0,391	0,391	42.295	17
Huixquilucan	0,459	0,459	258.535	119
Isidro Fabela	0,397	0,397	11.260	4
Ixtapan de la Sal	0,391	0,391	35.868	14
Ixtlahuaca	0,406	0,406	152.386	62
Jaltenco	0,383	0,383	27.126	10
Jilotzingo	0,387	0,387	20.517	8
Jocotitlán	0,402	0,402	65.436	26
Juchitepec	0,394	0,394	25.244	10
La Paz	0,417	0,417	271.000	113
Lerma	0,406	0,406	152.815	62
Melchor Ocampo	0,383	0,383	58.137	22
Mexicaltzingo	0,393	0,393	12.808	5
Nextlalpan	0,385	0,385	38.602	15
Ocoyoacac	0,392	0,392	67.081	26
Otumba	0,393	0,393	37.126	15
Otzolotepec	0,396	0,396	84.968	34
Ozumba	0,391	0,391	29.384	11
Papalotla	0,382	0,382	4.429	2
Rayón	0,392	0,392	13.886	5
San Antonio la Isla	0,389	0,389	27.788	11
San Martín de las Pirámides	0,388	0,388	27.177	11
San Mateo Atenco	0,387	0,387	77.206	30
Tejupilco	0,411	0,411	76.129	31
Temamatla	0,389	0,389	11.995	5
Temascalapa	0,391	0,391	38.168	15
Temoaya	0,400	0,400	97.540	39
Tenancingo	0,406	0,406	98.057	40
Tenango del Aire	0,366	0,374	11.408	4
Tenango del Valle	0,402	0,402	84.095	34
Teoloyucán	0,392	0,392	60.819	24
Teotihuacán	0,274	0,267	57.456	15
Tepetlaoxtoc	0,393	0,393	29.703	12
Tepetlixpa	0,392	0,392	19.501	8
Tepotzotlán	0,397	0,397	101.637	40
Tequixquiac	0,384	0,384	36.092	14
Texcalyacac	0,385	0,385	5.513	2

	Texcoco	0,425	0,425		254.641	108
	Tezoyuca	0,385	0,385		41.326	16
	Tianguistenco	0,394	0,394		75.453	30
	Tlalmanalco	0,387	0,387		48.446	19
	Tonanitla	0,410	0,410		11.512	5
	Tonatico	0,396	0,396		12.918	5
	Tultepec	0,399	0,399		125.951	50
	Valle de Bravo	0,544	0,526		67.397	35
	Xalatlaco	0,388	0,388		31.067	12
	Xonacatlán	0,389	0,389		47.823	19
	Zinacantepec	0,408	0,408		187.928	77
	Zumpango	0,402	0,402		179.308	72
V	Acambay	0,373	0,373	0,365	63.987	24
	Aculco	0,378	0,371		47.781	18
	Almoloya de Alquisiras	0,359	0,359		15.482	6
	Amanalco	0,312	0,310		24.536	8
	Amatepec	0,359	0,359		26.459	9
	Axapusco	0,360	0,360		27.868	10
	Chapa de Mota	0,360	0,360		31.045	11
	Coatepec Harinas	0,364	0,364		38.714	14
	Donato Guerra	0,360	0,360		35.708	13
	El Oro	0,430	0,428		36.367	16
	Ixtapan del Oro	0,353	0,353		6.831	2
	Jilotepec	0,374	0,374		91.814	34
	Jiquipilco	0,371	0,371		74.665	28
	Joquicingo	0,354	0,354		13.976	5
	Luvianos	0,408	0,408		27.913	11
	Malinalco	0,360	0,360		27.314	10
	Morelos	0,362	0,362		29.873	11
	Nopaltepec	0,351	0,351		9.393	3
	Ocuilan	0,365	0,365		34.980	13
	Otzoloapan	0,347	0,347		4.989	2
	Polotitlán	0,358	0,358		13.609	5
	San Felipe del Progreso	0,401	0,401		133.692	54
	San José del Rincón	0,416	0,416		97.649	41
	San Simón de Guerrero	0,354	0,354		6.772	2
	Santo Tomás	0,358	0,358		9.415	3
	Soyaniquilpan de Juárez	0,356	0,356		12.577	4
	Sultepec	0,359	0,359		26.561	10
	Temascalcingo	0,380	0,380		66.180	25
Temascaltepec	0,352	0,352	34.474	12		

Texcaltitlán	0,336	0,334	18.390	6
Timilpan	0,360	0,360	16.242	6
Tlatlaya	0,352	0,352	33.352	12
Villa de Allende	0,362	0,362	51.289	19
Villa del Carbón	0,366	0,366	48.259	18
Villa Guerrero	0,368	0,368	64.783	24
Villa Victoria	0,370	0,370	103.468	38
Zacazonapan	0,342	0,342	4.205	1
Zacualpan	0,354	0,354	15.979	6
Zumpahuacán	0,355	0,355	16.785	6

Anexo 2. Propuesta de Clasificación de Residuos Sólidos Urbanos

A continuación, se presenta la clasificación de residuos propuesta para la determinación de la fracción orgánica, valorizables, potencialmente valorizables y el rechazo.

Subproductos		Descripción
Orgánicos	Residuos de alimentos	Rápida degradación
	Residuos de jardín y poda	Mediana degradación
	Aceite	Vegetal envasado
	Huesos	Pollo, cárnicos, etc.
	Madera	Palos de helado, trozos madera, aglomerados, etc.
Papel	Papel de rechazo	Sanitario, servilletas usadas, papel sucio, etc.
	Periódico	
	Revistas	Papel con impresión a color, papel brillante, etc.
	Papel	Papel de oficinas, papel blanco limpio, cuadernos, etc.
	Papel kraft	Papel café para envolver
Cartón	Cartón	
	Cartón corrugado	
	Pulpa moldeada	Embalaje para huevo
	Cartón liso y cartulina	
	Dúplex (envases de remedios, detergentes, cereales, te, de alimentos etc.)	Una cara con cubierta plástica
Plásticos	1 PET	Envases de bebidas gaseosas, jugos, jarabes, aceites comestibles, bandejas, artículos de farmacia, medicamentos. etc.

	2 PEAD HDPE	Envases de leche, detergentes, champú, baldes, bolsas, tanques de agua, cajones para pescado, etc.
	3 PVC	Tuberías de agua, desagües, aceites, mangueras, cables, símil cuero, usos médicos como catéteres, bolsas de sangre, etc.
	4 PEBD LDPE	Bolsas para residuos, usos agrícolas, etc.
	5 PP	Envases de alimentos, industria automotriz, artículos de bazar y menaje, bolsas de uso agrícola y cereales, tuberías de agua caliente, films para protección de alimentos, pañales descartables, etc.
	6 PS	Envases de alimentos congelados, aislante para heladeras, juguetes, rellenos, etc.
	7 Otros plásticos	Adhesivos e industria plástica. Industria de la madera y la carpintería. Elementos moldeados como enchufes, asas de recipientes, etc. Espuma de colchones, rellenos de tapicería, etc.
Tetrapak	Tetrabrik®	Leche, jugos, suavizantes, etc.
Pañales y celulosas sanitarias	Pañales	
	Higiene femenina	
Vidrios	Transparente o blanco	
	Café	
	Verde	

	Otros vidrios	Espejos, parabrisas automóvil, etc.
Metales	Hojalata	
	Aluminio	
	Cobre	
	Bronce	
	Estaño	
	Fierro	
	Otros	
Electrónicos	Electrónicos	Residuos de computadora, artículos electrónicos, teléfonos celulares, etc.
	Eléctricos	Electrodomésticos, juguetes, etc.
Otros	Textiles	
	Suciedad y cenizas	
	Gomas	
	Aerosoles	Pintura, insecticidas, desodorantes, etc.
	Cueros	
	Pilas	
	Cerámicas	
	Otros	(Insecticidas, aerosoles, tinturas de pelo, cosméticos, medicamentos, barnices, disolventes pinturas, pinturas, baterías de autos, aceite de motor, raticidas, etc.)

Anexo 3. Algoritmo para la generación de clústeres utilizando software R

El siguiente script se realizó utilizando el software R. En el desarrollo de este análisis se utilizó la plataforma RStudio Cloud, la cual es gratuita y permite realizar el análisis en línea.

La información se ingresa mediante un archivo *shape* (.shp), en cuya tabla están las variables de análisis normalizadas. Se realiza el análisis exploratorio y de correlación, determinación de KMO, análisis de componentes principales (PCA) y finalmente se conforman los clústeres utilizando el modelo de K-means. EL resultado se entrega en un gráfico de la región analizada.

A continuación se detalla el *script* realizado.

```
#Seleccionar el directorio en el que se trabajar
setwd("/cloud/project/datos")

#Instalacion de paqueteria requerida
install.packages("sf")
install.packages("corrplot")
install.packages("factoextra")
install.packages("FactoMineR")
install.packages("clúster")
install.packages("ape")
install.packages("devtools")
install.packages("factoextra")
install.packages("psych")
install.packages("ggcorrplot")
install.packages("lattice")
install.packages("ggplot2")

#librerias
library(sf) # leer el archivo shape
library(corrplot) # graficar matriz de correlacion
library("factoextra") #para usar PCA
library(devtools)
library(factoextra)
library("FactoMineR") #PCA
library(clúster) # para clúster
library(psych)
library(ggcorrplot)
library(lattice)
library(ggplot2)

#cargar el archivo shape
edo_mex <- st_read("/cloud/project/datos/MUN_VAR_ANALISIS_VF.shp")

#Pregunta la clase del objeto espacial
class(edo_mex)
summary(edo_mex)

# exploración de los datos
```

```
# vamos a definir los nombres de las variables
```

```
Conectividad<- edo_mex$Z_IC  
Indice_desarrollo_humano<- edo_mex$Z_IDH  
Generación_residuos <- edo_mex$Z_RST  
Indice_desarrollo_municipal <- edo_mex$Z_IDM  
PIB <- edo_mex$Z_PIB  
Población <- edo_mex$Z_POB  
Valorización<-edo_mex$Z_VAL
```

```
#Indice de desarrollo humano - Población  
plot(Población,Indice_desarrollo_humano)  
# agrega lineas punteadas en 0,0  
abline(h=0,lty=3)  
abline(v=0,lty=3)  
#Datos de la linea de tendencia  
m1<-lm(Población~Indice_desarrollo_humano)  
summary(m1)  
#Agregar linea de tendencia  
abline(lm(Población~Indice_desarrollo_humano), col=5)  
cor(Población,Indice_desarrollo_humano)
```

```
#PIB-Población  
plot(Población,PIB)  
abline(h=0,lty=3)  
abline(v=0,lty=3)  
#Datos de la línea de tendencia  
m2<-lm(Población~PIB)  
summary(m2)  
#Agregar linea de tendencia  
abline(lm(Población~PIB), col=5)  
cor(Población, PIB)
```

```
#Generación_residuos-Población  
plot(Población, Generación_residuos)  
abline(h=0,lty=3)  
abline(v=0,lty=3)  
#Datos d la linea de tendencia  
m3<-lm(Población~Generación_residuos)  
summary(m3)  
#Agregar linea de tendencia  
abline(lm(Población~Generación_residuos), col=5)  
cor(Población,Generación_residuos)
```

```
#Valorización-Población  
plot(Población,Valorización)  
abline(h=0,lty=3)
```

```

abline(v=0,lty=3)
#Datos d la linea de tendencia
m4<-lm(Población~Valorización)
summary(m4)
#Agregar linea de tendencia
abline(lm(Población~Valorización), col=5)
cor(Población,Valorización)

#Población-Conectividad
plot(Población,Conectividad)
abline(h=0,lty=3)
abline(v=0,lty=3)
#Datos d la linea de tendencia
m5<-lm(Población~Conectividad)
summary(m5)
#Agregar linea de tendencia
abline(lm(Población~Conectividad), col=5)
cor(Población,Conectividad)

# Grafico de correlación entre todas las variables
pairs(~Conectividad + Indice_desarrollo_humano + Generación_residuos +
Indice_desarrollo_municipal + PIB + Población)

VAR<-as.data.frame(edo_mex)
summary(VAR)

pairs.panels(VAR[,c(5,7,8,9,10)],
             method = "pearson", # correlation method
             hist.col = "#00AFBB",
             density = TRUE, # show density plots
             ellipses = TRUE # show correlation ellipses
)

#creamos una tabla para guardar las variables de interes
datos<-data.table::as.data.table(Conectividad)
datos$IDH <- Indice_desarrollo_humano
datos$IDM <- Indice_desarrollo_municipal
datos$RSU <- Generación_residuos
datos$PIB <- PIB
datos$POB <- Población
datos$IC <-Conectividad
datos$VAL <- Valorización

datos
summary(datos[,c(2,3,4,7,8)])

kmo <- function(x)
{

```

```

r <- cor(x)
r2 <- r^2
i <- solve(r)
d <- diag(i)
p2 <- (-i/sqrt(outer(d,d)))^2
diag(r2) <- diag(p2) <- 0
KMO <- sum(r2)/(sum(r2)+sum(p2))
MSA <- colSums(r2)/(colSums(r2)+colSums(p2))
return(list(KMO=KMO,MSA=MSA))

}
# Llamamos a la funcion kmo, devuelve el valor de kmo y los msa de cada variable
kmo(datos[,c(2,3,4,7,8)])
# matriz de correlacion de variables
cor_mat <- round(cor(datos[,c(2,3,4,7,8)]),2)
#imprimir la matriz de correlacion como un mapa de colores
corrplot(cor_mat, type="upper", order = "hclust")
corrplot.mixed(cor_mat, order="AOE")

# hacemos pca para pasar a otro espacio
res.pca <- PCA(datos[,c(2,3,4,7,8)],graph = FALSE)
print(res.pca)
eigenvalores<- res.pca$eig
#imprime los primeros eigen valores
head(eigenvalores[,1:2])

# graficamos la varianza explicada por cada componente
fviz_screplot(res.pca,ncp=6,main="Varianza",xlab = "Componentes principales", ylab =
"Porcentaje de varianza")

# valores importantes del pca
#correlación de las variables con las componentes
head(res.pca$var$coord)

#contribución de las variables en las componentes principales
head(res.pca$var$conrib)

# graficamos el mapa circular de la correlacion de variables contra las componentes(positiva o
negativa),
#la barra de colores indica la contribucion
fviz_pca_var(res.pca,col.var = "contrib")+
scale_color_gradient2(low="white", mid="green", high = "red")
corrplot(res.pca$var$cos2,is.corr = FALSE)

# quitamos todos los datos que no nos interesan
edo_mex$CVEGEO <- NULL
edo_mex$NOM_ENT <- NULL
edo_mex$POB1 <- NULL

```



```

edo_mex$NOMBRE_1 <- NULL
edo_mex$NOM_ENT_1 <- NULL
edo_mex$CVEGEO_1 <- NULL
edo_mex$POB81_R <- NULL
edo_mex$OID_1 <- NULL
edo_mex$Z_CCR <- NULL
edo_mex$Z_VAL <- NULL

# analisis del clúster usando k-means
set.seed(5)
nclúster <- 5
solution<-kmeans((datos[,c(2,3,4,7,8)]),nclúster) #solucion con 5 clústers
#graficar los resultados obtenidos
clusplot(datos[,c(2,3,4,7,8)], solution$clúster, color=TRUE, shade=TRUE, labels=nclúster, lines=0)

#graficar los resultados en el mapa

#agregar la etiqueta de la solucion del clúster
edo_mex$clúster <- solution$clúster
edo_mex
clústerFinal<-edo_mex[,c(5,7,8,9,10,13)]
clústerFinal
print(solution)

# grafica mapas con todas las columnas que contengan los datos
plot(edo_mex[, "clúster"], axes = T, axis=0.8)

plot(clústerFinal, axes = T, axis=0.8)

plot(edo_mex$clúster, axes = T, axis=0.8)

```

Anexo 4. Cédulas de encuesta a Acopios Informales (AIN) y Empresas de Tratamiento y Valorización (ETV)

CÉDULA DE ENCUESTA PARA APLICACIÓN A ACOPIADORES INFORMALES

Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de los Residuos Sólidos Urbanos del Estado de México

Datos generales de la asociación							
Ubicación (coordenadas)							
Dirección							
Fecha y hora							
Entrevistado						Edad	
Contacto							
Tipo de materiales que valorizan							
Observaciones							
1. Producción y soporte							
1.1	¿Desde que año realiza esta actividad?						
1.2	¿Tiene familiares que le ayuden en las tareas de recuperación y valorización de materiales?			Si		No	
	Padres		Hermanos		Esposo/Esposa	Hijo	
1.3	¿Usted y su familia cuentan con seguro popular?			Si		No	
1.4	¿Recibe algún apoyo por parte de Gobierno?			Si		No	
1.5	¿Cuál?						
1.6	¿Pertenece a alguna asociación vinculada a las actividades que realiza? (sindicato, cooperativa, etc.)						

1.7	¿Han recibido capacitación sobre manejo integral de residuos sólidos?	Si		No				
1.8	¿Se le da algún valor agregado a los materiales?	Si		No				
Por favor indique el valor agregado que le da a cada material que recupera y valoriza								
	Material	Cartón	Papel	PET	HDPE	Aluminio	Lata	Vidrio
1.9	Valor agregado (compactación, lavado, separación por color, etc.)							
1.10	¿Qué propone para aumentar la cantidad de material que recupera diariamente?							
	Reducir la pepena en el camión recolector							
	Promover la separación de los residuos							
	Incrementar tiempos entre cobertura y cobertura							
	Tener un lugar cercano donde almacenar materiales							
	Acceso a un lugar adecuado para trabajar							
	Promover la organizaciones de acopiadores (cooperativas, asociaciones, etc.)							
	Apoyo con transporte para sacar el material							
	Facilitar acceso a otros compradores							
	Otro, especifique							
2. Demanda de materiales valorizables								
2.1	¿Se ha incrementado la demanda de materiales recuperados-valorizados?	Si		No				

2.2	¿Dónde vende sus materiales?	¿Un externo viene a comprarlos?							
		¿Usted los vende fuera del SDF (indicar)?							
		No lo se							
		Otro							
2.3	Destino de los materiales								
	Material	Cartón	Papel	PET	HDPE	Alumini o	Lata	Vidrio	
	Cantidad								
	Precios venta (\$/kg)								
	Destino								
	Período								
3. Proveedores de materiales valorizables									
3.1	¿Compra algún material reciclable fuera de aquí?					Si		No	
3.2	Origen de los materiales								
	Material	Cartón	Papel	PET	HDPE	Alumini o	Lata	Vidrio	
	Cantidad								
	Precios compra (\$/kg)								
	Origen								
	Período								
4. Competencia en la recuperación y comercialización de materiales valorizables									
4.1	¿Cuántas personas trabajan en el SDF?								
4.2	¿Cuántos acopiadores compiten con usted por los materiales?								

4.3	¿Considera que recupera suficiente material al día?			
	Me va bien	Si, algo	Ahora poco	Esta mala la cosa
4.4	¿Por qué?			

 Firma y Nombre del
 entrevistado

 Nombre y firma del
 entrevistador

CÉDULA DE ENCUESTA PARA EMPRESAS DE TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE RSU Y RME
Plan para el manejo, aprovechamiento y valorización de los Residuos Sólidos Urbanos del Estado de México

Datos generales de la empresa								
Razón social						Fecha		
Dirección						Coordenadas		
Entrevistado				Cargo				
Teléfono				e-mail				
Tipo de materiales que maneja								
Superficie (m ²)			Clasificación como centro de acopio*					
(*)A<250 m ² ; B≥250 y <600 m ² ; C≥600 y <2000 m ² ; D≥2,000 m ²								
1. Demanda								
1 . 1	¿Cuál es el comportamiento en la demanda de materiales valorizados?			Creciente		Decreciente		
1 . 2	¿Cuál es el destino de los materiales que trata? Indicar en porcentaje	% de producción al DF						
		% de producción al Edo. de México						
		% De producción a Estados periféricos						
		Michoacán	Querétaro	Hidalgo	Puebla	Tlaxcala	Guerrero	Moreros
		% de destino en otros Estados						

						% de destino internacional					
1 . 3	Destino de los materiales										
	Material	Cartón	Papel	PE T	HDPE	Alumi nio	Lata	Vidrio			
	Cantidad										
	Precios venta (\$/kg)										
	Destino										
	Período										
2. Proveedores											
2 . 1	¿Cuenta con proveedores de materiales fuera del Estado?							Si		No	
2 . 2	Origen de los materiales										
	Material	Cartón	Papel	PE T	HDPE	Alumi nio	Lata	Vidrio			
	Precios compra (\$/kg)										
	Cantidad										
	Origen										
	Post industrial o post consumo										
Período											
2 . 3	¿Sus proveedores son empresas o personal legalmente constituidas o están en la informalidad?							Formales		Informales	
								% Formales		% Informales	
3. Competencia											

3 . 1	¿Cuántas empresas compiten con su empresa en la zona, municipio o la región?										
3 . 2	¿Qué tan competitiva considera que es su empresa?										
	Muy competitiva		Algo competitiva		Poco competitiva		Nada competitiva				
3 . 3	¿Por qué?										
4. Producción y soporte											
4 . 1	¿Se le da algún valor agregado a los materiales?					Si		No			
Indique el proceso o valor agregado que se le da a cada material											
	Material	Cartón	Papel	PE T	HDPE	Aluminio	Lata	Vidrio			
4 . 2	Valor agregado (trituración, compactación, lavado, térmico, etc.)										
	Consumo energético (watts/mes, lts gasolina/mes, etc.)										
	Consumo de agua (lts/mes)										
4 . 3	¿Cuál es la cantidad de personas que emplea su empresa actualmente?										
4 . 4	¿Han recibido capacitación para la actividad que realizan?				Nº empleados	Horas de capacitación	Fecha de las últimas capacitaciones				
				Operadores							
				Técnicos							
				Profesionales							

¿Cuáles son los tres principales obstáculos que han limitado el crecimiento de su empresa?						
4 . 5	Falta de mano de obra calificada		Comentarios:			
	Problema de calidad con proveedores					
	Falta de financiamiento					
	Competencia local					
	Competencia internacional					
	Regulaciones					
	Aranceles e impuesto					
	Localización de clientes					
	Falta de demanda de productos					
	Otro, especifique					
4 . 6	Consumo de suministros (relación horizontal)	Local	Otro estado	Importado	Comentarios:	
	Operación	Maquinaria				
		Vehículos				
		Seguridad industrial				
		Mantenimiento industrial				
		Limpieza				
		Mantenimiento eléctrico				
	Administración y Finanzas	Papelería				
		Soporte computación				
		Alimento				

Nombre y firma del
entrevistado

Nombre y firma del
entrevistador