



SEP

SES

TecNM

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

**“GUIA PRACTICA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS
SOLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MEXICO
Y ESTADOS ALEDAÑOS DEL NORTE Y SUR”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:
M. en C. ELVIRA OLAY ROMERO
No. Control:
9928D0772

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. MARÍA DEL CONSUELO HERNÁNDEZ BERRIEL

CODIRECTOR DE TESIS:
DR. ISAÍAS DE LA ROSA GÓMEZ

METEPEC, ESTADO DE MÉXICO, SEPTIEMBRE DEL 2020.



"2020, Año de Leonor Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Metepéc, Edo. de México., 10/septiembre /2020
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN
DEPI-3200-389/2020

C. ELVIRA OLAY ROMERO
CANDIDATA AL GRADO DE DOCTORA EN
CIENCIAS AMBIENTALES
PRESENTE

De acuerdo con el Reglamento de Titulación del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica dependiente de la Subsecretaría de Educación Superior de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora realizó con respecto a su trabajo de Tesis titulado **"GUÍA PRACTICA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MÉXICO Y ESTADOS ALEDAÑOS DEL NORTE Y SUR"**, la División de Estudios de Posgrado e Investigación concede autorización para que proceda a la impresión del mismo

Sin más por el momento, quedo de usted.

ATENTAMENTE

"Educación, integridad y ciencia"

JOSÉ LUIS GARCÍA RIVAS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN



XJGR/IMAB





"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Metepec, Edo. de México., 09/septiembre /2020
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN
DEPI-3200-384/2020

DR. JOSÉ LUIS GARCÍA RIVAS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E

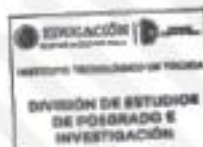
Por este medio comunicamos a usted que la comisión Revisora designada para analizar la tesis denominada **"GUÍA PRÁCTICA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MÉXICO Y ESTADOS ALEDAÑOS DEL NORTE Y SUR"**, que como parte de los requisitos para obtener el grado académico de Doctora en Ciencias Ambientales presenta la **C. ELVIRA OLAY ROMERO** con número de control **9928D0772** para sustentar el acto de Recepción Profesional, ha dictaminado que dicho trabajo reúne las características de contenido y calidad para proceder a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

DRA. MARÍA DEL CONSUELO HERNÁNDEZ BERRIEL
DIRECTORA DE TESIS

DR. ISAÍAS DE LA ROSA GÓMEZ
CO-DIRECTOR DE TESIS

DRA. AMAYA LOBO GARCÍA DE CORTAZAR
REVISORA DE TESIS



DRA. DOLORES ELIZABETH TURCOTT CERVANTES
REVISORA DE TESIS

DRA. MARÍA DEL CONSUELO MAÑÓN SALAS
REVISORA DE TESIS

DRA. MARÍA DEL CARMEN CARREÑO DE LEÓN
REVISORA DE TESIS



DEDICATORIA

"Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano"

(Isaac Newton)

*"Ten esperanzas no expectativas, quizás así consigas un milagro y no una
decepción"*

A la vida "DIOS" por tantos y tantos Milagros.

A mis padres por el apoyo incondicional, mil gracias, este también es su logro... y ahora el que sigue, los amo mil ocho mil.

A mis bendiciones por el tiempo compartido para mi desarrollo profesional, este es el resultado de las horas frente al ordenador. Ustedes son la razón para esforzarme por el presente y el mañana, son mi motivación; ustedes encuentren la propia y alcancen todo lo que se propongan. Las Amo.

A mi misma, por todo tu esfuerzo y dedicación, siempre comprometida y motiva en dar lo mejor, abriendo puertas y si las cerraban, abriendo ventanas; buscando ir más allá de lo mínimo necesario para cumplir, proponiendo y sugiriendo ideas al proyecto, reconociendo y aprendiendo de los errores... y por ser tan tú a pesar de las dificultades, cumpliendo lo que te propones.

AGRADECIMIENTOS

"El que da, no debe volver acordarse; pero el que recibe nunca debe olvidar."
(Proverbio hebreo)

A CONACyT por la beca otorgada.

A SEMARNAT-CONACYT por el financiamiento mediante el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental con el Proyecto SEMARNAT-2015-1-263315 "Ubicación de rellenos sanitarios intermunicipales futuros en el Estado de México y estados aledaños".

Al TecNM e Instituto Tecnológico de Toluca por ser parte de mi formación integral como profesionista y abrirme las puertas para obtener el presente doctorado. A la Universidad de Cantabria, Santander España, por recibirme para realizar la estancia doctoral, sin duda una de las mejores experiencias.

A mi grupo de asesores por creer en mi para realizar la presente investigación, por todas sus enseñanzas no solo en el aula, por mostrarme la importancia de valores tan esenciales para desarrollarse y crecer profesionalmente como el trabajo en equipo, colaboración, puntualidad y honestidad. Por todo su trabajo en campo y de escritorio, más las consultas personales en los momentos en que las cosas se ponían grises (Dr Isaías y Dra Carreño). Gracias.

A todos los alumnos que estuvieron involucrados con alguna parte del desarrollo de la presente investigación, compañeros de doctorado: Isis, de maestría: Diego y Jesús, licenciatura de la UTVT: Omar, Joel, Ricardo, Jason, Esteban, Jesús, Azael, Aidé, Jesica, Vanessa, David, Viridiana, Gerardo, y licenciatura del ITTol: Jesús y Pedro. Si olvide a alguien una disculpa, TODOS sumaron, desde prestar su camioneta para ir a los muestreos hasta la captura de datos.

Al equipo UNICAN (Amaya, Ana, Miguel) por contribuir de manera significativa con la publicación de los artículos y todas sus atenciones y enseñanzas durante mi estancia en Santander, España; me encantaría seguir colaborando con ustedes.

A mi amiga Ely Turcott por compartir y compartir y compartir, gracias por enseñarme más de lo que es la diferencia entre gestión y manejo integral. De las cosas que puedo agradecer de mi estancia en España es el haberte conocido, tu valiosa colaboración y tu amistad. Gracias.

RESUMEN

El crecimiento de población y las actividades humanas incrementan la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) dificultando su gestión y manejo. En todas las etapas del manejo de residuos: generación, barrido, recolección, transporte, tratamiento y disposición final, se tienen en mayor o menor medida problemas ambientales al contaminar el agua, suelo y aire, con los correspondientes riesgos asociados para la salud pública. En México, los Ayuntamientos municipales tienen la responsabilidad de la gestión de los RSU. El objetivo de la presente investigación fue diseñar y elaborar una guía práctica, que ayude a las municipalidades a través de indicadores, a evaluar el desempeño de su manejo integral de los residuos sólidos urbanos (MIRSU), para identificar las áreas a controlar y mejorar, reduciendo costos y haciendo sustentable y eficiente su manejo, contribuyendo así a eliminar los tiraderos a cielo abierto (TCA), mitigando los daños a la salud y al medio ambiente. El desarrollo de la guía práctica se basó en una investigación de campo hecha a 70 municipios, aplicando una cédula de entrevista a los encargados del MIRSU; y de acuerdo con la información recabada se eligieron los indicadores que podían ser evaluados. Con el análisis de los indicadores y la aplicación de la guía práctica en tres de ellos, se detectó que los municipios no contemplaban todas las etapas del MIRSU. La recolección es la etapa que más control tiene para mantener los RSU fuera de la mancha urbana; sin embargo, de acuerdo con los indicadores evaluados, el 62% de los municipios tienen una cobertura de su población menor al 70%. Las etapas de tratamiento, valorización y disposición son las de mayor área de oportunidad, debido a que el 53% de los municipios depositan sus RSU en TCA y ninguno realiza tratamiento formal. Lo anterior se puede asociar a la corta administración, a la curva de aprendizaje y a la generación de RSU constante, que obliga a las municipalidades a tomar acciones inmediatas y concretarse en recolectar los RSU para evitar problemas sanitarios y descontento de la población; así como a la falta de recursos legislativos, económicos, técnicos y sociales. Se logró diseñar la guía práctica, que pretende ser un instrumento de apoyo para los tomadores de decisiones del gobierno municipal para mejorar el MIRSU; sin embargo, para el éxito e implementación de ella se requieren cuatro pilares fundamentales: Voluntad política, Profesionalización, Recursos económicos y Continuidad después de cada trienio.

ABSTRACT

Population growth and human activities increase the generation of urban solid waste (MSW), making it difficult to manage. In all the stages of waste management: generation, sweeping, collection, transport, treatment and final disposal, there are environmental problems to a greater or lesser extent by contaminating the water, soil and air, with the corresponding associated risks for public health. In Mexico, municipal councils are responsible for the management of MSW. The objective of this research was to design and develop a practical guide, which helps municipalities through indicators, to evaluate the performance of their integral municipal solid waste management (MSWM), to identify the areas to control and improve, reducing costs and making its management sustainable and efficient, thus helping to eliminate open dumps (OD), mitigating damage to health and the environment. The development of the practical guide was based on a field investigation carried out in 70 municipalities, applying an interview card to those in charge of the MSWM; and according to the information collected, the indicators that could be evaluated were chosen. With the analysis of the indicators and the application of the practical guide in three of them, it was detected that the municipalities do not contemplate all the stages of the MSWM. Collection is the stage that has the most control to keep MSW out of the urban area; however, according to the evaluated indicators, 62% of the municipalities have a population coverage of less than 70%. The treatment, recovery and disposal stages are the ones with the greatest area of opportunity, since 53% of the municipalities deposit their MSW in OD and none carry out formal treatment. This can be associated with the short administration, the learning curve and the constant generation of MSW, which forces municipalities to take immediate and concrete actions to collect MSW to avoid health problems and discontent of the population; as well as the lack of legislative, economic, technical and social resources. The practical guide was designed, which aims to be a support instrument for municipal government decision makers to improve the MSWM; However, for its success and implementation, four fundamental pillars are required: Political Will, Professionalization, Economic Resources and Continuity after each triennium.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
INTRODUCCIÓN	1
1. FUNDAMENTOS	4
1.1 Marco Legal y Normativo	4
1.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	5
1.1.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su reglamento	6
1.1.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	6
1.1.4 Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas	7
1.1.5 Ley General de Cambio Climático	8
1.2 Gestión y Manejo de RSU	9
1.2.1 La Gestión integral de residuos sólidos urbanos	10
1.2.2 Etapas del manejo integral de residuos sólidos urbanos	13
1.3 Herramientas para la gestión de residuos sólidos	21
1.3.1 Publicaciones en materia de Residuos Sólidos Urbanos en México	21
1.3.2 Indicadores de desempeño	27
1.3.3 Uso de Sistemas de Información Geográfica en la ubicación de Rellenos Sanitarios	28
1.4 Contexto General del Área de Estudio	33
1.4.1 Estado de México	33
1.4.2 Guerrero	35
1.4.3 Querétaro	36
1.4.4 Hidalgo	36
1.4.5 Morelos	37
1.5 Panorama de la gestión integral de residuos sólidos urbanos nacional y de los Estados del Área de Estudio	38
1.5.1 Municipios con Programas y Reglamentos en materia de Residuos Sólidos Urbanos	39
1.5.2 Generación y composición	40
1.5.3 Recolección	42
1.5.4 Estaciones de transferencia y centros de acopio	42
1.5.5 Transporte para los residuos sólidos urbanos	43

1.5.6	Reciclaje	45
1.5.7	Tratamiento	46
1.5.8	Sitios de Disposición	47
2.	PARTE EXPERIMENTAL	49
2.1	Recopilación de información Nacional en materia	50
2.2	Identificación de los municipios del Área de Estudio	50
2.3	Selección de municipios representativos	51
2.4	Investigación documental municipal del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos	53
2.5	Investigación de campo municipal del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos	53
2.6	Estudios de campo en municipios seleccionados	55
2.7	Selección y Aplicación de Indicadores	56
2.8	Evaluación del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos	57
2.9	Elaboración de Guía práctica para el Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos	57
2.10	Aplicación de la Guía PRÁCTICA en tres municipios del Estado de México	58
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
3. 1	Recopilación de información Nacional en materia de Residuos Sólidos Urbanos	59
3. 2	Identificación de los municipios del Área de Estudio	61
3. 3	Selección de municipios representativos	62
3. 4	Investigación documental municipal del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos	67
3. 5	Investigación de campo municipal del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos	71
3. 6	Estudios de campo en municipios seleccionados	73
3.6.1	Estudios de caracterización en Sitios de Disposición Final	73
3.6.2	Encuestas casa-habitación	74
3.6.3	Estudio de rutas de recolección de Residuos Sólidos Urbanos	86
3. 7	Selección y Aplicación de Indicadores	94
3. 8	Evaluación del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos	102
3.8.1	Indicadores Transversales	102
3.8.2	Indicadores Económicos	105
3.8.3	Indicadores Desarrollo personal	109
3.8.4	Indicadores de Aspectos técnicos	112
3.8.5	Evaluación global de Indicadores	119
3.8.6	Calidad de los Indicadores	123
3. 9	Elaboración de la Guía Práctica para el Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos	127

3. 10	Aplicación de la Guía Práctica en municipios	128
4.	CONCLUSIONES	134
5.	RECOMENDACIONES	136
6.	REFERENCIAS	137
	ANEXO A	148
	ANEXO B	149
	ANEXO C	150
	ANEXO E	163
	ANEXO F	200
	ANEXO G	207

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Marco jurídico-normativo Federal en materia de residuos.	5
Figura 1. 2 Componentes de un sistema sencillo de MIRSU.	11
Figura 1. 3 Flujograma de un Sistema de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos.	11
Figura 1. 4 Mapa Estado de México y Estados Aledaños.	33
Figura 1. 5 Aportación Estatal al PIB Nacional, 2014.	34
Figura 1. 6 Mapa Estado de Guerrero.	35
Figura 1. 7 Mapa Estado de Querétaro.	36
Figura 1. 8 Mapa del Estado de Hidalgo.	37
Figura 1. 9 Mapa Estado de Morelos	38
Figura 1. 10 Porcentaje de municipios con PMPGIRSU por Entidad Federativa.	39
Figura 1. 11 Porcentaje de municipios con Reglamentos en materia de RSU por Entidad Federativa.	40
Figura 1. 12 Composición de los RSU en México 2011.	41
Figura 1. 13 Porcentaje de RSU recolectados por las Entidades del Área de Estudio en 2012.	42
Figura 1. 14 Cantidad de Vehículos Total y Tipo por Entidad Federativa en 2012.	44
Figura 1. 15 Composición de los RSU reciclados, 2011.	45
Figura 1. 16 Cantidad Nacional de Sitios de Disposición, 2012.	47
Figura 1. 17 Cantidad de Sitios de Disposición de las Entidades del Área de Estudio.	48
Figura 2. 1 Diagrama de bloques del método.	49
Figura 2. 3 Criterios y subcriterios para análisis de ponderación lineal.	52
Figura 3. 1 No. de publicaciones por etapa del MIRSU.	59
Figura 3. 2 Municipios del Área de Estudio.	61
Figura 3. 3 Conglomerados de los municipios del área de estudio.	65
Figura 3. 4 Etapas del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos consideradas	67
Figura 3. 5 Ubicación de Sitios de Disposición Final en los municipios del área de estudio.	69
Figura 3. 6 Respuestas contestadas en cada clúster por etapa del MIRSU.	72
Figura 3. 7 Composición de residuos sólidos urbanos de los municipios seleccionados.	74
Figura 3. 8 Localidades de Pilcaya y grado de marginación.	75
Figura 3. 9 Equipo encuestador en el municipio de Pilcaya, Guerrero.	76
Figura 3. 10 Número de habitantes por casa encuestada.	77
Figura 3. 11 Número de baños por casa habitación.	77
Figura 3. 12 Interés de la población por mejorar de la calidad del medio ambiente.	78

Figura 3. 13 Opinión de tirar los RSU en un lugar no apropiado.	78
Figura 3. 14 Tipo de recipiente en el cual almacenan sus RSU.	79
Figura 3. 15 Manejo de los RSU en casa-habitación.	80
Figura 3. 16 Actitud para dar propina o pagar por el servicio de recolección.	81
Figura 3. 17 Disposición final y entrega de RSU.	81
Figura 3. 18 Generación estimada de RSU.	82
Figura 3. 19 Sabe el lugar en donde son depositados sus RSU.	83
Figura 3. 20 Le gustaría recibir capacitación sobre el cuidado del medio ambiente.	83
Figura 3. 21 Opinión sobre la construcción de un RESA.	84
Figura 3. 22 Opinión sobre la construcción de una planta de composta.	85
Figura 3. 23 Opinión sobre la construcción de una planta de incineración.	85
Figura 3. 24 Disposición para participar en estudios futuros sobre RSU.	86
Figura 3. 25 Ubicación del municipio de Pilcaya, Guerrero.	87
Figura 3. 26 Camión recolector en el garaje del Municipio. de Pilcaya, Gro.	88
Figura 3. 27 Descarga del camión recolector en el SDF de Municipio. de Pilcaya, Gro.	88
Figura 3. 28 Ruta 1, Avenidas de Pilcaya, Guerrero.	89
Figura 3. 29 Recolección de RSU en Avenidas Pilcaya, Guerrero.	89
Figura 3. 30 Ruta 2, Calles de Pilcaya, Guerrero.	90
Figura 3. 31 Recolección de RSU en Calles Pilcaya, Guerrero.	90
Figura 3. 32 Ruta 3 La Concepción, Pilcaya, Guerrero.	91
Figura 3. 33 Recolección de RSU en La Concepción, Guerrero.	91
Figura 3. 34 Personal de recolección de Pilcaya, Guerrero. en SDF y estudiantes del ITTol.	92
Figura 3. 35 Indicador Perfil del personal en puestos clave, I-5T.	104
Figura 3. 36 Indicador Proporción total de personal informal, I-6T.	105
Figura 3. 37 Indicador Presupuesto para la gestión de residuos, I-2E.	105
Figura 3. 38 Costo total por tonelada, I-3E.	107
Figura 3. 39 Evaluación Indicadores costo por etapa (%).	108
Figura 3. 40 Proporción de personal informal en cada etapa.	109
Figura 3. 41 Personal formal por cada 10,000 habitantes y 1000 toneladas recolectadas.	110
Figura 3. 42 Salario promedio comparado con el salario mínimo.	111
Figura 3. 43 Personal que cuenta con servicio médico en los municipios estudiados.	111
Figura 3. 44 Rendimiento en cada etapa.	113
Figura 3. 45 Grado de aprovechamiento en recolección y transporte I-2R.	114

Figura 3. 46 Indicador vida útil de los sitios de disposición I-3DF.	115
Figura 3. 47 Distribución de municipios respecto a la cobertura en recolección	116
Figura 3. 48 a) Tipo de Sitio de disposición I-9DF b) Porcentaje de residuos depositados	117
Figura 3. 49 Evaluación global de los indicadores.	119
Figura 3. 50 Análisis Indicadores por clúster y por entidad.	120
Figura 3. 51 Evaluación global de indicadores por etapas	121
Figura 3. 52 Semáforo de indicadores por municipio.	122
Figura 3. 53 Costo por tonelada versus cantidad de indicadores evaluados con Desempeño bueno.	123
Figura 3. 54 Calidad de los indicadores considerando todas las respuestas de los municipios.	123
Figura 3. 55 Calidad & desempeño de indicadores.	124
Figura 3. 56 Módulos de la guía para mejorar MIRSU.	127
Figura 3. 56 Comparación del Desempeño por etapa	130
Figura 3. 57 Desempeño global del MIRSU.	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Normatividad Mexicana en materia de residuos sólidos.	8
Tabla 1. 2 Puntos importantes a considerar en el Barrido.	15
Tabla 1. 3 Aspectos importantes a considerar en la Recolección.	16
Tabla 1. 4 Tipos de Tratamiento de RSU.	19
Tabla 1. 5 Tipos de Disposición Final de los RSU.	20
Tabla 1. 6 Información generada a nivel federal en torno a los Programas Nacionales de Prevención y Gestión integral de los residuos.	22
Tabla 1. 7 Programas Estatales de Prevención y Gestión integral de los residuos	23
Tabla 1. 8 Publicaciones en materia de RSU.	25
Tabla 1. 9 Investigaciones SIG – MCDA.	32
Tabla 2. 1 Categorías y parámetros a investigar para los MAE.	51
Tabla 2. 2 Cantidad de preguntas por etapa en la Cédula de Entrevista.	54
Tabla 2. 3 Clasificación de la calidad para indicadores e información base.	54
Tabla 3. 1 Análisis de las publicaciones en materia de RSU	60
Tabla 3. 2 Municipios del Estado de México que colindan con Estados aledaños.	61
Tabla 3. 3 Municipios de los Estados aledaños que colindan con el Estado de México.	62
Tabla 3. 4 Correlación de parámetros.	62
Tabla 3. 5 Categorías y parámetros analizados para selección de municipios.	62
Tabla 3. 6 Análisis Descriptivo de parámetros MAE.	63
Tabla 3. 7 Municipios extremos.	64
Tabla 3. 8 Municipios representativos por conglomerado	65
Tabla 3. 9 Análisis descriptivo de parámetros por clúster.	66
Tabla 3. 10 Comparación de las medias de cada clúster.	67
Tabla 3. 11 Etapas del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos consideradas en los Bandos Municipales.	68
Tabla 3. 12 Cantidad de SDF en las Entidades del Área de Estudio.	70
Tabla 3. 13 Municipios del área de estudio que consideran a los Hospitales y Unidades económicas.	70
Tabla 3. 14 Contacto a Municipios del área de estudio y aplicación de Cedula de encuesta.	71
Tabla 3. 15 Número de preguntas contestadas por los municipios encuestados.	71
Tabla 3. 16 Calidad de respuesta MAE y clúster.	73
Tabla 3. 17 Municipios encuestados.	75

Tabla 3. 18 Grado de marginación en localidades Municipio Pilcaya, Guerrero.	75
Tabla 3. 19 Encuestas aplicadas en cada estrato.	76
Tabla 3. 20 Rutas de recolección de RSU de Pilcaya, Guerrero.	88
Tabla 3. 21 Tiempos rutas de recolección de Pilcaya, Guerrero.	93
Tabla 3. 22 Análisis Rutas de recolección.	94
Tabla 3. 23 Categorías de Indicadores aplicados a los municipios.	95
Tabla 3. 24 Indicadores Transversales.	96
Tabla 3. 25 Indicadores Económicos.	97
Tabla 3. 26 Indicadores de Barrido.	98
Tabla 3. 27 Indicadores de Recolección.	99
Tabla 3. 28 Indicadores de Disposición Final.	100
Tabla 3. 29 Indicadores SEMARNAT-GTZ & Indicadores Identificados.	101
Tabla 3. 30 Existencia de Legislación Nacional y Estatal, I-1T.	103
Tabla 3. 31 Indicador Costo Total por tonelada, I-3E.	106
Tabla 3. 32 Costo por tonelada en cada etapa.	107
Tabla 3. 33 Rendimiento en Barrido, Recolección y Disposición de residuos sólidos.	112
Tabla 3. 34 Indicador Vida útil disponible de los sitios de disposición final, I-3DF.	115
Tabla 3. 35 Intensidad de uso de suelo en disposición final, I-8DF.	117
Tabla 3. 36 Resumen Sitios de Disposición Final de los municipios estudiados.	118
Tabla 3. 37 Situación de los sitios de disposición de los MAE.	118
Tabla 3. 38 Tipo de operación en el SDF.	119
Tabla 3. 39 Porcentaje de indicadores Calidad Alta.	124
Tabla 3. 40 Porcentaje de Indicadores con Calidad Aceptable.	125
Tabla 3. 41 Porcentaje de indicadores con Calidad Baja.	126
Tabla 3. 42 Porcentaje de Indicadores con Calidad Desconocida.	126
Tabla 3. 42 Porcentaje de Indicadores con Calidad Desconocida (continuación).	127
Tabla 3. 44 Desempeño de Indicadores en la Aplicación de la Guía práctica.	131

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos ha existido desde las primeras sociedades del ser humano, hace 10,000 AC (Marshall & Farahbakhsh, 2013). En los años 1790 y 1850 con la Revolución Industrial se incrementó la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) y fue la salud pública, el medio ambiente, la escasez de recursos, el valor de los residuos y el cambio climático, los que impulsaron el progreso en la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) (David C Wilson, 2007). Sin embargo, la prioridad de los municipios era solo la recolección y disposición; lo que provocó la proliferación de los tiraderos a cielo abierto (TCA) y la quema, siendo entre 1900 y 1970 la eliminación en su mayor parte no regulada y no controlada (Marshall & Farahbakhsh, 2013). Fue hasta 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD-92), en Río de Janeiro, Brasil (Cumbre de la Tierra); en donde se establecen en la Agenda 21, las bases para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (MIRSU), reconociendo que la gestión de los residuos debe ser atendida desde su origen y se considera entonces importante a la GIRSU (UN, 1992).

En México la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) establece que los municipios tienen a su cargo las funciones del MIRSU, que consiste en la recolección, traslado, tratamiento, y disposición final de los RSU; así como la responsabilidad de formular los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PMPGIRSU), y de 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 LGPGIR y en las disposiciones legales que emitan las entidades federativas correspondientes; sin embargo a nivel nacional solo el 7.2% de los 2458 municipios cuentan con un PMPGIRSU (DOF, 2003; SEMARNAT, 2019).

En cuanto a la generación de RSU, México en el 2012 generó 42,103,000 toneladas. Su volumen creciente ha ocasionado problemas, entre los que se destacan la falta de cobertura en su recolección nacional, la cual se incrementó de 78.67% en 2010 a 90.8% en 2016 (SEMARNAT, 2019); la infraestructura insuficiente para su separación y tratamiento; el agotamiento acelerado de la vida útil de los rellenos sanitarios (RESA) y el incremento del uso de tiraderos a cielo abierto (TCA) (CNGMD, 2013); así como el deterioro del medio ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y lixiviados altamente contaminantes, provenientes de la inadecuada disposición final de los RSU (Kaza, *et. al.*, 2018; Tchobanoglous, *et. al.*, 1994).

El área de estudio de la presente investigación contempla los municipios de la periferia del Estado de México y los municipios colindantes de las Entidades Federativas de Guerrero, Morelos, Querétaro e Hidalgo. En el 2012 las Entidades del Área de Estudio (EAE) reportaron una generación de RSU de 9,800,000 toneladas, lo que representa el 23.45% del total nacional en dicho año, siendo el Estado de México la Entidad que más generó con un 16.15% (SEMARNAT, 2019). Para ese mismo año las EAE tenían el 22% de RESA del total nacional y el 14% de TCA, contabilizando 43 en Hidalgo, 42 en el Estado de México, 96 en Michoacán y 77 en Guerrero (CNGMD, 2013). Adicionalmente en el 2016 las EAE reportaron tener el 19.7% de los PMPGIRSU del total nacional (SEMARNAT, 2019).

Ante este panorama es necesario buscar soluciones que minimicen los daños a la salud y al Medio Ambiente, que ocasionan el inadecuado manejo y disposición de los RSU. Si bien la gestión y manejo ejecutados de manera correcta son la alternativa para minimizar su impacto, se requiere información precisa para evaluar la situación individual y diseñar programas para cada circunstancia, especialmente para las poblaciones pequeñas que actualmente carecen de servicio y disponen un alto porcentaje de sus RSU en TCA. Adicionalmente para el desempeño de los PMPGIRSU se requiere que éstos estén diseñados con base a diagnósticos reales; sin embargo, la información oficial publicada, como el Diagnóstico básico sobre RSU, proviene de fuentes documentales y no de una investigación de campo (INECC-SEMARNAT, 2012).

Para medir el nivel de desempeño del GIRSU se han incorporado el uso de indicadores. Trabajos como el de Wilson *et al.*, (2015b) proponen indicadores benchmarking (evaluación comparativa) que incluyen indicadores clave (Key Waste-related data), para los componentes físicos y de gobernanza del GIRSU. También se han añadido indicadores de sustentabilidad, que permiten la evaluación de la parte ambiental, social y económica (Desmond, 2006; Ristić, 2005), así como trabajos que consideran la jerarquía de gestión de residuos (prevención, reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de energía y finalmente vertido) (ElSaid & Aghezzaf, 2018). Turcott-Cervantes *et al.*, (2018) por su parte realizaron una revisión minuciosa de los indicadores propuestos en el ámbito de la GIRSU, resumiéndolos en un listado final de 377 indicadores.

Conforme a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue diseñar y laborar una guía práctica, que ayude a las municipalidades a través de indicadores a evaluar el desempeño de su MIRSU, para identificar las áreas a controlar y mejorar, reduciendo costos y haciendo sustentable y eficiente el manejo de los RSU, contribuyendo a eliminar los TCA y mitigando los daños a la salud y al medio ambiente.

En la primera parte de la tesis se presentan los fundamentos, que incluyen el marco legal y normativo en materia de RSU, la recopilación de información documental Nacional en materia de RSU, la identificación e importancia de indicadores en el MIRSU y el uso de sistemas de información geográfica. La segunda sección contiene la parte experimental, donde se describen las actividades a realizar, como: la recopilación de información documental en materia del MIRSU, la identificación de los municipios del área de estudio (MAE), la selección de municipios representativos, la investigación de campo del MIRSU de los MAE que incluyó el aplicar una cedula de entrevista (CE), la caracterización de RSU en sitios de disposición final, estudios de ruta de recolección de RSU y encuestas en casa habitación. La tercera parte comprende los resultados, donde se describe cómo la información recopilada fue depurada y analizada, para finalmente a partir de los 377 indicadores propuestos por Turcott-Cervantes *et al.*, (2018), identificar el conjunto de los que podían ser evaluados para realizar un diagnóstico del MIRSU de acuerdo con la información de los MAE y se presenta la aplicación de la guía práctica para el manejo integral de residuos sólidos urbanos. Finalmente se encuentran el apartado con las principales conclusiones obtenidas y los anexos. El Anexo E contiene la guía práctica para el manejo integral de residuos sólidos urbanos.

1. FUNDAMENTOS

En México, en el año 2003 con la publicación de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los residuos sólidos municipales (RSM) cambiaron su denominación a la de residuos sólidos urbanos (RSU), a los cuales define como los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y, los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (DOF, 2003).

1.1 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

El marco legal en materia de residuos comprende diferentes herramientas en los tres niveles de gobierno, que permiten subdividir los derechos y responsabilidades que le competen a la Federación, los Estados y sus municipios tales como: leyes, reglamentos, normas, bandos y códigos, los cuales deberán respetar y fomentar para el desarrollo y el MIRSU.

El instrumento normativo de mayor jerarquía en México es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM); en el ámbito Federal para la GIRSU se tiene la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la LGPGIR, Normas Oficiales Mexicanas (NOM's), Normas Mexicanas (NMX) y la Ley General de Cambio Climático (LGCC) (Figura 1.1).

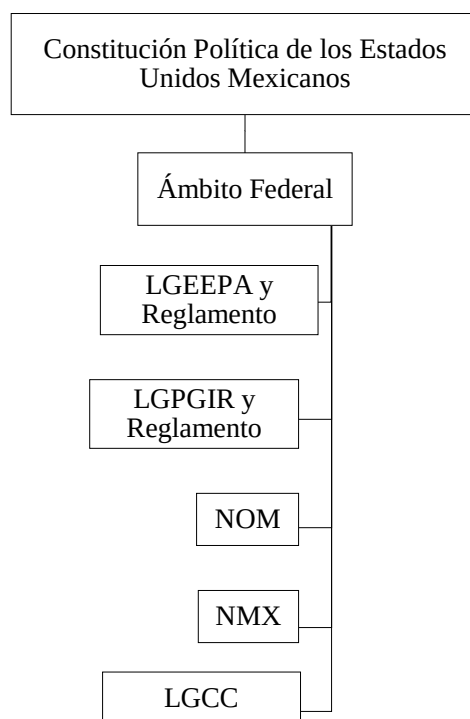


Figura 1. 1 Marco jurídico-normativo Federal en materia de residuos.

1.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Dentro de la CPEUM se encuentran los siguientes artículos que hacen refiere al tema de la GIRSU (DOF, 2016):

Artículo 4. Que *“toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar”*.

Artículo 115. Establece que los Estados y sus Municipios tienen la responsabilidad del Sistema de Aseo Urbano (SAU), el cual comprende la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos. De igual manera, *“los Municipios podrán, previo acuerdo entre sus Ayuntamientos, coordinarse y asociarse para la más eficaz prestación de los servicios públicos. En este caso...deberán contar con la aprobación de las legislaturas de los Estados respectivas. Así mismo cuando a juicio del Ayuntamiento respectivo sea necesario, podrán celebrar convenios con el Estado para que éste, de manera directa o a través del organismo correspondiente, se haga cargo en forma temporal de algunos de ellos, o bien se presten o ejerzan coordinadamente por el Estado y el propio Municipio”*.

1.1.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su reglamento

La LGEEPA y su Reglamento hacen referencia a las responsabilidades que la Federación, el Estado y sus Municipios tienen para la preservación y restauración del suelo, el agua y demás recursos naturales; así como la protección al ambiente. Tiene por objeto *“propiciar el desarrollo sustentable logrando el equilibrio entre los beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas”* (LGEEPA, 1988).

La LGEEPA y su Reglamento consideran en los artículos 5, 7 y 8, que los tres niveles de gobierno tendrán como responsabilidad compartida el regular, prevenir y controlar la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas y móviles; en el artículo 109 BIS, establece que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Estado y sus Municipios deberán actualizar e *“integrar un registro de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos de su competencia”*; el artículo 116, *“para el otorgamiento de estímulos fiscales, las autoridades competentes considerarán a quienes adquieran, instalen u operen equipo para el control y disminución de emisiones contaminantes a la atmósfera”*; el artículo 134, *“corresponde al estado y la sociedad reducir la generación de residuos sólidos...incorporar técnicas y procedimientos para su reutilización y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final”*

Para llevar a cabo el cumplimiento de las tareas, la LGEEPA cuenta con un órgano autorizado, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). A su vez, la ley faculta al Gobierno Federal, a través de éste mismo órgano, para expedir Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y Normas Mexicanas (NMX) (DOF, 2000; LGEEPA, 1988).

1.1.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

La LGPGIR tiene por objeto la GIRSU a través de la minimización en la generación, la valorización, la prevención de la contaminación y la remediación de sitios en donde se depositan los residuos y es de responsabilidad federal, estatal y municipal llevar las acciones necesarias para su cumplimiento. Dentro de los Artículos relevantes se consideran el 7, 9 y 10, los cuales indican que los tres niveles de gobierno deberán promover la creación de infraestructura para el manejo integral de residuos, promover la educación ambiental para la población en general, establecer niveles de mejoramiento ambiental e integrar los resultados (DOF, 2003).

Para los instrumentos económicos, fiscales, financieros y de mercado, para la reducción, la reutilización y el reciclaje de los residuos, así como para objeto de esta Ley, los tres niveles de gobierno cuentan con diferentes atribuciones:

- a) Gobierno Federal; promoverlos y aplicarlos para que incentiven el desarrollo, adopción y despliegue de tecnología.
- b) Gobierno del Estado; diseñarlos, promoverlos y aplicarlos.
- c) Gobierno Municipios; aplicarlos para el “desarrollo, adopción y despliegue de tecnología...que favorezca el manejo integral de los residuos sólidos urbanos”

También se establecen diferentes tareas en cada nivel. A nivel estatal, “promover los programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos...prevenir la contaminación de sitios, y remediar aquellos con presencia de residuos”.

A nivel municipal; la responsabilidad de proporcionar el sistema de aseo urbano y contar con sus PMPGIRSU, con base en el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PEPGIR), y un registro de los grandes generadores de RSU. También se establece que el MIRSU puede llevarse a cabo por el Municipio o por otros gestores a través de su concesión. Dentro de los instrumentos económicos, los Municipios deberán *“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”*.

En los Artículos 39 y 8 de la Ley y del Reglamento, respectivamente, se establece que: “los tres órdenes de gobierno elaborarán, actualizarán y difundirán los inventarios de generación de residuos y sitios de disposición final...en los cuales se asienten datos acerca de su ubicación, el origen, características y otros elementos de información que sean útiles...para desarrollar medidas tendientes a evitar o reducir riesgos” (DOF, 2003; DOF, 2006).

1.1.4 Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas

De acuerdo con la Ley Federal de Metrología y Normalización, las NOM son de uso obligatorio en su alcance y las NMX expresan una recomendación de parámetros o procedimientos. Dentro de las NOM y NMX en materia de residuos destacan las listadas en la Tabla 1.1 (SEMARNAT, 2016).

Tabla 1. 1 Normatividad Mexicana en materia de residuos sólidos.

DESCRIPCIÓN	NORMAS MEXICANAS
Establece las especificaciones para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final.	NOM-083-SEMARNAT-2003
Establece los criterios para clasificar a los RME y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo.	NOM-161-SEMARNAT-2011
Método de cuarteo.	NMX-AA-015-1985
Peso volumétrico <i>in situ</i> .	NMX-AA-019-1985
Selección y cuantificación de subproductos.	NMX-AA-022-1985
Determinación de la generación de RSU.	NMX-AA-061-1985
Determinación de humedad	NMX-AA-016-1984
Determinación de poder calorífico superior	NMX-AA-033-1985
Determinación de cenizas.	NMX-AA-18-1985
Determinación de materia orgánica.	NMX-AA-21-1985
Determinación de nitrógeno total.	NMX-AA-24-1984
Determinación del pH.	NMX-AA-25-1985
Determinación de la relación C/N.	NMX-AA-67-1985
Determinación de hidrógeno a partir de materia orgánica.	NMX-AA-68-1985
Determinación del % de oxígeno en materia orgánica	NMX-AA-80-1985
Determinación de fósforo total.	NMX-AA-94-1985

Fuente: SEMARNAT, 2016.

1.1.5 Ley General de Cambio Climático

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) tiene el objetivo de regular la generación de GEI y las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático. La LGCC contiene los Artículos 7, 8 y 9, que establecen las diferentes atribuciones que tienen los tres niveles de gobierno como (LGCC, 2012):

- a) Promover, convocar, formular, regular, dirigir e instrumentar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático de diferentes fuentes emisoras; entre ellas residuos.
- b) Diseñar y promover convenios para el establecimiento y aplicación de instrumentos económicos, fiscales, financieros, de mercado y fondos locales para acciones de cambio climático.

- c) Elaborar, actualizar y publicar, en colaboración con el INECC, el inventario de emisiones de diversas fuentes emisoras como los residuos.

1.2 GESTIÓN Y MANEJO DE RSU

Desde las primeras sociedades del ser humano existió la generación de residuos, las pequeñas comunidades los enterraban a las afueras de sus asentamientos o los disponían en los ríos o barrancas, sin embargo con el incremento de la población estas prácticas ya no impidieron la propagación de malos olores y enfermedades; en la Edad Media las calles de las ciudades estaban cubiertas por barro pestilente, agua estancada, residuos domésticos, excrementos de animales y humanos; creando vectores de enfermedad (Marshall & Farahbakhsh, 2013). En el año 1300 Europa fue azotada por la peste “Black Death” (muerte negra) causada parcialmente por los desechos acumulados en las calles (Louis, 2004). En los años 1790 y 1850 con la Revolución Industrial se incrementó la generación de RSU y fue que la salud pública, el medio ambiente, la escasez de recursos, el valor de los residuos y el cambio climático impulsaron el progreso en la gestión de los RSU, y apareció en 1830 la primera Comisión de Saneamiento en Londres, que estableció los primeros vínculos claros entre la enfermedad y el manejo sanitario inadecuado. En 1848 y 1875 se crearon los Public Health Acts que establecían los requisitos para deshacerse de los RSU y en los cuales se establecía que las autoridades locales eran responsables de la disposición de los RSU una vez por semana (David C Wilson, 2007), legislaciones similares fueron implementadas en ciudades de Europeas y Americanas. En el siguiente siglo la legislación sanitaria continuó impulsando la gestión de residuos, siendo la primera prioridad de los municipios la recolección y disposición provocando la proliferación de los TCA y la quema, siendo entre 1900 y 1970 la eliminación en su mayor parte no regulada y no controlada (Marshall & Farahbakhsh, 2013).

El medio ambiente comenzó a tomar importancia internacional a partir de 1972 con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano (CNUAH), celebrada en Estocolmo, siendo el punto de partida para las discusiones y debates internacionales sobre el tema. Se reconoce la importancia del cuidado de los recursos y el medio ambiente, de controlar y minimizar la contaminación, de la responsabilidad compartida de los Estados y la necesidad de ayuda a los países en desarrollo (Gómez & Sanahuja, 1999).

Del 3 al 14 de junio de 1992 se tuvo lugar la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD-92), en Río de Janeiro, Brasil (Cumbre de la Tierra); en la cual no se logró crear el marco necesario que permitiera resolver los problemas ambientales, pero establece los

principios para guiar a los gobiernos para alcanzar un desarrollo sostenible. La Agenda 21 es resultado de la Cumbre de la Tierra, que describe un plan de acción detallado para alcanzar el desarrollo sostenible y ser ejecutado en todos los niveles de acción, internacional, nacional y local. La segunda sección del Plan 21 corresponde a la conservación y gestión de los recursos para el desarrollo, en el punto veintiuno contiene la gestión ecológicamente racional de los desechos sólidos y cuestiones relacionadas con las aguas cloacales. En el Plan 21 se establecen las bases para un MIRSU y se reconoce que la gestión de los desechos debe ser atendida desde su origen y no sólo la eliminación o aprovechamiento de los residuos. El programa también plantea la reducción al mínimo de los desechos, el incremento al máximo de la reutilización y reciclado, la eliminación, el tratamiento y la disposición en forma ambientalmente segura y ecológicamente racional; hace énfasis en que para garantizar el desarrollo sostenible se deben establecer y aplicar políticas, programas y planes en todos los niveles (local, regional, nacional e internacional) y la incorporación de todos los sectores sociales (gobierno, sector privado, sociedad civil, grupos de mujeres y jóvenes), y destaca que la elaboración de programas puede realizarse con la cooperación de organizaciones internacionales. Plantea el desarrollo de actividades para el desarrollo de investigación y elaboración de metodologías que permitan conocer los volúmenes, el peso, la generación, composición y recuperación de RSU, mercados de subproductos reciclados y actualización de datos (UN, 1992).

De acuerdo con las metas a corto y mediano plazo fijados en la CNUMAD-92 para el año 2000 los países en desarrollo tendrían que haber establecido las capacidades para monitorear la minimización de la producción de residuos, el reciclaje, la recolección y el tratamiento y establecer programas nacionales con metas propias para cada una de ellas. Asimismo, deberían haber establecido criterios para la disposición final adecuada y para la vigilancia ambiental y para el año 2005 estarán tratando adecuadamente cuando menos el 50% de sus residuos municipales (Acurio *et al.*, 1997).

1.2.1 La Gestión integral de residuos sólidos urbanos

Una de las necesidades en la GIRSU planteada en el Plan 21, es el conocer el estado de la problemática provocada por los RSU, mediante el desarrollo de investigaciones y metodologías que permitan generar y analizar los datos sobre generación, composición, tratamiento y disposición final adecuados. A partir de la celebración de la CNUMAD-92, los actores y agentes de la cooperación internacional empezaron a destinar esfuerzos para trabajar en proyectos de inversión, asistencia técnica, desarrollo institucional, capacitación y evaluación del impacto ambiental relacionados a los RSU. Entre los más importantes

destacan los organismos internacionales, las agencias de cooperación bilateral, las organizaciones internacionales de la sociedad civil y de los Estados, a través de las instituciones de los distintos órdenes de gobierno (regional, nacional y local) (Domínguez-Mares, 2008).

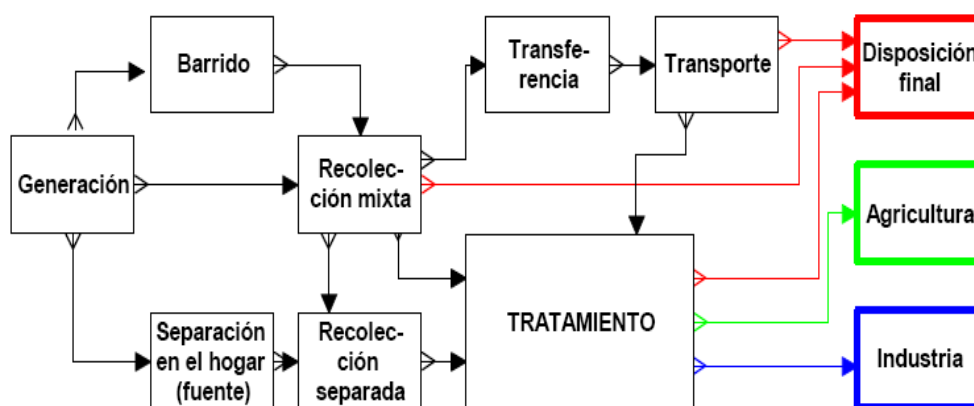
La GIRSU debe ser diferenciada del MIRSU, pues este último se limita a las cuestiones técnicas de los residuos, y puede reducirse a la evacuación y disposición de los RSU (Figura 1.2), mientras que el GIRSU incluye los elementos del entorno geográfico, social, político, económico y cultural, de tal manera que el manejo integral forma parte de la GIRSU.



Fuente: Gunther & Hernández, 2002

Figura 1. 2 Componentes de un sistema sencillo de MIRSU.

El MIRSU entonces, se entiende como el conjunto de las actividades de reducción en la fuente, generación, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento (biológico, químico, físico o térmico), acopio, almacenamiento, barrido, recolección, transporte, transferencia y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social (DOF, 2003; Gunther & Hernández, 2002) (Figura 1.3).



*Tratamiento (Reciclaje, Compostaje, Incineración, Otras formas de tratamiento)

Fuente: Rodríguez *et al.*, 2007.

Figura 1. 3 Flujograma de un Sistema de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos.

En muchos países en desarrollo la gestión de los RSU se limita a la limpia urbana, acotando bajo el término de manejo de RSU a los aspectos técnicos de recolección, tratamiento (composteo, acopio, reciclaje, incineración) y la DF, sin considerar los aspectos no técnicos, como los financieros, sociales (pepenadores), legales, administrativos, y de educación ambiental, los cuales deben manejarse en conjunto para alcanzar un manejo adecuado de los RSU (Rodríguez *et al.*, 2007).

La GIRSU es definida en la LGPGIR como el conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final; a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región (DOF, 2003). Es un proceso complejo que comprende factores técnicos, socio-culturales, administrativos, institucionales, legales y económicos interrelacionados que tiene por objetivo la disminución de los residuos que llegan a su disposición final, de manera tal que se depositen en la forma menos peligrosa para el ambiente y de una forma que conjunte con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación y de la estética (Tchobanoglous *et. al.*, 1994; Wehenpohl & Hernández, 2002).

La gestión integral se define como la disciplina asociada al control del manejo integral de los RSU, reducción en la fuente, reúso, reciclaje, barrido, almacenamiento, recolección, transferencia, tratamiento y disposición final. Para diseñar cualquier sistema para el manejo de residuos sólidos, se requiere de un buen conocimiento de las cantidades reales de los RSU, su composición y sus características químicas y físicas (Tchobanoglous, 1994; Wehenpohl & Hernández, 2002; Wilson *et. al.*, 2015).

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) realizaron en 1997 el “Diagnóstico de la situación del manejo de los residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe”. El Diagnóstico permitió identificar los siguientes aspectos críticos agrupados bajo seis categorías: (1) área institucional y legal; (2) área técnica y operativa; (3) área económico- financiera; (4) área de la salud; (5) área del ambiente; y (6) área social y comunitaria (Acurio *et al.*, 1997)

De acuerdo con Domínguez (2008), en una revisión realizada en las páginas electrónicas de las agencias bilaterales de cooperación para el desarrollo de los miembros del Comité de Ayuda al Desarrollo (CAD) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (UN Habitat) se concentró información

correspondiente a un total de 70 proyectos que incluyeron uno o más elementos del manejo de RSU y/o la GIRSU, desarrollados en diferentes localidades del mundo y temporalidades entre 1992 y 2007. La mayor cantidad de proyectos se concentró en Asia Pacífico con un total de 22, seguida de América Latina y el Caribe con 21, África con 17, Medio Oriente con cinco y Europa del Este con uno; un proyecto de carácter Regional en Asia Pacífico y tres desarrollados simultáneamente en países ubicados en distintas regiones. De los 70 proyectos registrados, 58 se enfocaron en zonas urbanas, ocho en rurales y cuatro consideraron ambas, comúnmente los proyectos se desarrollaron en las ciudades con capitales y sus zonas conurbadas u otras ciudades importantes, como los centros turísticos; los proyectos realizados en zonas rurales o de menor concentración poblacional han sido desarrollados porque tienen como principal objetivo conservar el medio ambiente en zonas protegidas o apoyan iniciativas de turismo sostenible (OECD, 2007; UN Habitat, 2007). Se observa entonces que la cooperación internacional en la GIRSU prefiere actuar en zonas de mayor impacto, sin embargo, se deja de lado una proporción importante del medio ambiente y de las personas que se ubican en áreas rurales y urbanas de menor concentración poblacional (menos de 10mil habitantes).

1.2.2 Etapas del manejo integral de residuos sólidos urbanos

Las etapas consideradas en el MIRSU son generación, barrido, recolección, transporte, tratamiento y disposición final, las cuales se describen a continuación:

- a) **Generación.** La generación de residuos se refiere a su producción originada en la fuente. Las medidas que evitan la generación de los residuos sólidos contribuyen mucho más al alivio de la contaminación ambiental, debido al ahorro de materia prima y energía, que las medidas de reaprovechamiento de los residuos sólidos. Por ello es más conveniente la prevención y reducción de la generación de los residuos sólidos que su reaprovechamiento. Eso requiere de una sensibilización de la población y de los funcionarios en las administraciones sobre el tema en todos los aspectos. La mayor parte de las medidas para disminuir la generación de residuos requieren un cambio de las costumbres de los ciudadanos y/o la introducción de otros productos por parte de la industria. Por lo tanto, las posibilidades de los municipios en intervenir en esta parte son limitadas prácticamente a campañas de sensibilización y educación. Un mayor poder en esta área lo tienen los niveles federales y estatales para elaborar una legislación que promueve medidas de disminución de la generación (Acurio *et al.*, 1997; Wehenpohl & Hernández, 2002)

Prevenir la generación de RSU implica el desarrollo de medidas que le impidan producirse completa o parcialmente desde la fuente. Algunos ejemplos de estas medidas son: dar preferencia a sistemas de múltiple uso (p.ej. botellas de vidrio) en vez de sistemas de uso único, como p.ej. latas o Tetrapak. Producción y compra de bienes de uso durables y fáciles de reciclar después de su descomposición. Uso de acumuladores recargables en vez de pilas y baterías. Limitar el uso de bolsas plásticas en las compras en los supermercados (Tchobanoglous *et.al.*, 1994).

- b) Barrido. Este servicio primario es parte del sistema de prestación del Servicio Público de Limpia en un municipio. El barrido de calles y espacios públicos es una práctica usual cuando la población tiene conciencia sanitaria. Por lo general se prevé después de eventos especiales como ferias, festividades, asambleas, desfiles, reuniones públicas, etc.

El barrido puede efectuarse a través de dos modalidades: manual y mecánica. En el primer caso se emplea la mano de obra de barrenderos, utilizando herramientas sencillas (escobas, recogedores, botes, etc.) y se coordina con las rutas de recolección, de manera tal que los residuos permanezcan el menor tiempo posible en las calles, y la prestación del servicio puede ser individual o por brigada. Mientras que para el barrido mecánico se emplea maquinaria (barredoras de diferentes tipos), pudiéndose combinar ambos métodos.

Para determinar el tipo de barrido, se realiza una evaluación de los costos horarios de ambas alternativas, con el fin de elegir la que más convenga. Por lo general, los parámetros de diseño del barrido de calles y espacios públicos se obtienen a partir de los estudios de tiempos y movimientos efectuados en el servicio actual.

El diseño del barrido manual y/o mecánico se realiza de acuerdo con el área por servir, delimitando las zonas por atender, de preferencia las avenidas principales y calles, así como el centro de la localidad, o bien todas las calles pavimentadas. Es importante determinar los siguientes puntos (Tabla 1.2) (Tchobanoglous *et. al.*, 1994; Turcott-Cervantes, 2018; Wehenpohl & Hernández, 2002).

Tabla 1. 2 Puntos importantes a considerar en el Barrido.

PUNTOS PARA CONSIDERAR	DESCRIPCIÓN
Rutas de barrido	Se determinan las zonas, sectores y lugares donde se proporcione el servicio, asignándole cierto nivel de cobertura. Una vez resuelto esto, se determina el tiempo requerido según la cantidad de residuos a barrer, el equipamiento actual y las condiciones específicas de la localidad. Es necesario el trazo de la ruta que los barrenderos y la barredora deberán recorrer por jornada.
Frecuencia de barrido	Se decide por zonas y sectores en función de las prioridades de atención, demanda, capacidad del equipo, eficiencia del llenado del equipo, eficiencia de los empleados y días laborables.
Rutas de recolección de los residuos barridos manualmente	Se establecen los puntos en los cuales los residuos barridos manualmente han de ser recogidos por los vehículos recolectores, con la finalidad de llevarlos a disposición final.
Equipo y personal necesario para el servicio	Están en función del método seleccionado, lugares asignados para limpieza, costos del equipo, características de las vías a barrer (topografía, pavimentación, longitud, etc.) y personal asignado. En algunas localidades, la reglamentación municipal indica que el barrido de calles es responsabilidad directa de la población, quien tiene la obligación de barrer el frente de su casa y/o establecimiento, so pena de sanciones administrativas o multas.

Fuente: Adaptado de Wehenpohl & Hernández, 2002.

- c) Almacenamiento temporal. La forma en que los residuos domiciliarios y comerciales se arreglan para la recolección tiene una fuerte influencia en el servicio de recolección y sus necesidades dependen de las etapas previstas en la gestión de los RSU. El responsable de la disposición y recolección es el generador, por lo que tiene que ser concientizado para que ponga los residuos conforme a las necesidades establecidas por el municipio (Tchobanoglous, 1994; Wehenpohl & Hernández, 2002; Wehenpohl & Hernández, 2006). Algunos de los aspectos que se requiere definir se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1. 3 Aspectos importantes a considerar en la Recolección.

ASPECTO	DESCRIPCIÓN
Hora y día	El municipio tiene que definir los días y la hora de la recolección y hacerla del conocimiento de los ciudadanos, especialmente en los municipios pequeños en donde la recolección no es diaria. Se debe evitar que los residuos estén demasiado tiempo en las calles donde pueden ser dispersos fácilmente por animales y atraer ratas, moscas, etc. Por eso, en las casas deben tener un espacio donde guardar los residuos hasta su recolección. Si es necesario entregar los residuos directamente al camión, los ciudadanos necesitan saber la hora con anterioridad. Para dar aviso de la llegada del camión se recomienda hacerlo con una campana. La entrega directa evita la dispersión de los residuos en las calles y permite cobrar una tarifa o propina directamente del generador.
Frecuencia de la recolección	La composición de los residuos y las posibilidades de almacenarlos hasta la recolección definen la frecuencia. Bajo las condiciones mexicanas, la recolección se hace una o dos veces por semana. En determinadas zonas se recogen los residuos diariamente, lo que implica generalmente altos costos y baja eficiencia.
Forma de entrega	La forma de entrega o de disposición en las calles varía mucho. Generalmente se usa bolsas plásticas que sobran de la compra de mercadería, cartones, baldes, etcétera. Raramente se usa recipientes hechos especialmente para la recolección. Estos últimos permiten automatizar la recolección; la combinación de diferentes recipientes requiere de mano de obra, más personal en el camión y más tiempo, lo que disminuye la eficiencia. Para evitar que perros y otros animales destruyan las bolsas plásticas y cartones, los ciudadanos deberían instalar estructuras a una altura de 1.5 m para guardar los residuos hasta su recolección.
Entrega por separado	En el caso de que los municipios quieran introducir sistemas de tratamiento como composteo o reciclaje, los generadores tienen que realizar una separación en la fuente y disponer el material por separado. La separación no deberá sobrepasar tres grupos: orgánico, reciclable y no reciclable (restos). La separación en la fuente, con una posterior recolección separada permite un mejor aprovechamiento de materiales.

Fuente: Adaptado de Wehenpohl & Hernández, 2002.

- d) Recolección. La recolección de residuos es en términos generales, el transportar los RSU desde su almacenamiento en la fuente generadora hasta el vehículo recolector y luego trasladarlos hasta el SDF o a la estación de transferencia (SEDESOL, 1997). La recolección de los RSU y su disposición final adecuada tienen como finalidad proteger la salud de la población, reduciendo la proliferación de fauna patógena (ratas, moscas, mosquitos, cucarachas, etc.), así como evitar los impactos potenciales que podrían ocasionar sobre los ecosistemas con la contaminación del agua y los suelos.

La recolección generalmente representa uno de los mayores impactos económicos en la gestión de los residuos sólidos. Por ello tiene una alta importancia buscar la solución adecuada y eficiente.

Dependiendo de las medidas generales de manejo se puede hacer una recolección de residuos mezclados o separados conforme el tipo de tratamiento posterior. La separación de materiales reciclables en el camión por el personal de recolección reduce fuertemente la eficiencia del servicio (Tchobanoglous *et. al.*, 1994; Wehenpohl & Hernández, 2002; Wehenpohl & Hernández, 2006).

- **Recolección mezclada.** La recolección mezclada es la más común, ya que solamente en algunos municipios se realiza una separación sistemática. Este sistema requiere pocos cambios en los hábitos de los generadores, ya que no precisan separarlos en la fuente. Por otro lado, este tipo de recolección anima a los trabajadores en los camiones hacer una prepepena para tener un ingreso adicional por la venta de material reciclable. Con eso, el proceso de la separación en el camión reduce significativamente la velocidad y la eficiencia de este servicio.
- **Recolección selectiva.** La recolección selectiva de residuos sólidos implica que las fracciones sean separadas en la fuente y posteriormente recolectadas también en forma separada. Esta separación reduce bastante la mezcla y contaminación de materiales, lo que en consecuencia aumenta su calidad y valor, permitiendo ampliar el mercado para la venta de los materiales reciclables y de la composta. La separación de residuos orgánicos tiene sentido si hay posterior composteo y si el producto tiene mercado. Puede ser recomendable separar el grupo reciclable en más fracciones, si esto aumenta los ingresos.

La planificación de las rutas es determinante para la eficiencia y eficacia de la recolección de los RSU. Con la revisión y reorganización de las rutas existentes se puede lograr el ahorro de tiempo de recolección y ahorro de costos por la disminución del consumo de gasolina. La planificación correcta de las rutas es un trabajo complejo, que tiene que tomar en cuenta diferentes parámetros (cantidad de residuos a recolectar, capacidad de los vehículos, vialidades y topografía de la zona, etc.), generalmente se deben revisar las rutas existentes para detectar que factores se pueden mejorar (Tchobanoglous *et. al.*, 1994; Wehenpohl & Hernández, 2002; Wehenpohl & Hernández, 2006).

Algunos factores para considerar en la Planificación de las Rutas son (Bertanza *et al.*, 2018; Tchobanoglous, 1994):

- **Coincidencias entre las rutas.** Los camiones de recolección de diferentes rutas pasan por los mismos lugares, donde ya han sido recolectados los residuos por otro camión.

- Localidades poco convenientes. Localidades que, por distancia, accesibilidad u otras razones no encajan con la ruta adonde pertenecen deben ser cambiadas a otras rutas.
 - Tiempo de recolección. Dependiendo de las rutas, puede ser más económico que la recolección se ejecute a la vuelta de localidades donde los camiones pasan dos veces (ida y vuelta a las localidades lejanas). Eso tiene la ventaja que el camión recorre las distancias largas con poco peso (ahorro de gasolina, menor desgaste, velocidades mayores). Generalmente se debe intentar que los camiones que se están llenando vayan acercándose al sitio de disposición final.
 - Hora de la recolección. En dependencia de la estructura urbana (p.ej. calles estrechas y con mucho movimiento en el centro) es importante de definir la hora exacta de la recolección para ser eficiente y para evitar la afectación al tránsito normal (p.ej. durante la noche).
- e) Transferencia. Los camiones de colecta son adecuados para este servicio, pero generalmente son poco eficientes para llevar los residuos por grandes distancias ya que la capacidad se ve limitada por diferentes razones. En casos en los que el sitio de disposición está lejos de la ciudad, puede ser recomendable instalar una planta de transferencia y transportar los residuos en grandes camiones (tipo tráiler). La decisión debe ser tomada con base en un cálculo de costo-beneficio (Wehenpohl & Hernández, 2006). La complejidad de una planta de transferencia depende mucho de su localización. Si están ubicadas en la mancha urbana las zonas aledañas requieren medidas de protección especiales para minimizar ruidos por la operación y paso de camiones, volatilidad de polvos, reducción de olores, entre otros.
- f) Transporte. El transporte es el recorrido que realiza el camión sin hacer al mismo tiempo la recolección. Eso puede ser la parte del camino que corre el camión de la recolección una vez llenado con material hasta la disposición final. En otros casos es solamente el recorrido a partir de la planta de transferencia hasta el punto final del sistema.
- g) Tratamientos. Las diferentes formas de tratamiento de residuos sólidos ayudan a proteger el ambiente y reducir el gasto de materia prima. Si todos los residuos son llevados directamente al relleno sanitario sin tratamiento previo, los materiales reaprovéchalos como el vidrio, aluminio, metal, plástico, etc., se pierden prácticamente para siempre. Además, la disposición final de los residuos tiene un impacto mayor al ambiente por el volumen que representa y aumenta el riesgo de contaminación. La decisión de introducir una o varias formas de tratamiento en el proceso de manejo de RSU tiene que ser tomada

por los responsables municipales, pero se recomienda hacer un estudio sobre sus ventajas y desventajas, como parte integral en el sistema local de la gestión de residuos sólidos (Tabla 1.4) (Wehenpohl & Hernández, 2002; Wehenpohl & Ambrosius, 2006).

Tabla 1. 4 Tipos de Tratamiento de RSU.

	TRATAMIENTO	REQUISITOS PARA SER FACTIBLE	VENTAJAS
Separación y reciclaje	Separación: Acción de clasificar los materiales reaprovéchales en la fuente, durante la recolección, en los centros de acopio o en los sitios de disposición final. Reciclaje: proceso industrial de hacer un nuevo producto con el material que era desecho.	Grandes volúmenes Misma calidad Forma regular	Generación nuevos empleos. Disminuir impactos al medio ambiente por disponer menor volumen y minimizar el uso de materia prima virgen
Tratamiento mecánico-biológico	Es un proceso que en los últimos años ha logrado una alta importancia en Alemania y otros países de Europa. Con esta forma de tratamiento se mejoran las propiedades de los residuos que se quieren confinar para disminuir los posibles impactos ambientales. Se recomienda realizar solamente con el material previsto para la disposición final, siendo compatible con otras formas de tratamiento como la separación de material reciclable y composteo.	La parte mecánica consiste en la homogeneización del material, la parte biológica del proceso es similar al composteo, la diferencia está en que el tratamiento mecánico-biológico mejora las condiciones para la DF. Contrario al composteo, no se interrumpe el proceso de fermentación a 70°C, se deja alcanzar temperaturas hasta casi 100°C; con esto se obtiene un material semi inerte sin valor como mejorador de suelos.	Alto grado de descomposición de la materia orgánica antes de su disposición Con esta medida se logra la casi desaparición de la fase ácida del relleno y con ello una baja significativa de la producción de lixiviados y gases (entre 65 % y 95 %). El tratamiento mecánico disminuye la estructura de los residuos y favorece un alto grado de compactación
Incineración	Es una forma de tratamiento que frecuentemente se usa en los países industrializados con zonas densamente pobladas. Exceptuando a los residuos sólidos minerales, todos las demás pueden ser incinerados.	La incineración es un proceso en que los materiales son oxidados a temperaturas entre 600°C hasta 1,200°C, dependiendo del proceso aplicado y el combustible empleado.	La incineración lleva a una gran reducción de volumen (del 10% al 20 % de su volumen inicial), higienización y estabilización de los materiales nocivos. Se puede aprovechar la energía generada por la incineración.

Adaptado de Wehenpohl & Hernández, 2002.

Tabla 1.4 Tipos de Tratamiento de RSU (continuación).

TRATAMIENTO	REQUISITOS PARA SER FACTIBLE	VENTAJAS
Los residuos orgánicos son los generadores principales de los lixiviados, de la producción de gas y del mal olor en los sitios de disposición final. Composteo La razón es la transformación bioquímica rápida e incontrolada. El composteo es la transformación bioquímica de forma controlada. El proceso de composteo transforma los residuos orgánicos en composta, la cual tiene potencial como mejorador de suelos y puede ser usado en la agricultura y horticultura	Todos los Residuos biodegradables: *Restos orgánicos de comida *Restos de frutas y verduras, *Ramos y hojas de los árboles, pasto, paja *Excremento de animales *Papel, madera (cuando no están contaminados con productos químicos).	Generación nuevos empleos Disminución de generación de lixiviados y gas metano. Puede usarse directamente en el hogar o en los parques y áreas verdes municipales.

Adaptado de Wehenpohl & Hernández, 2002.

- h) Disposición final. Constituye la última etapa del ciclo de vida de los RSU. La aplicación de todas las medidas de reúso y reciclaje permiten depositar los restos económicamente no reaprovéchaes. La cuestión entonces no es de evitar el elemento de disposición en el ciclo de manejo de RSU, sino reducir su cantidad y el impacto al ambiente (Tabla 1.5) (Kaza *et al.*, 2018; Tchobanoglous *et al.*, 1994; Turcott-Cervantes, 2018; Wehenpohl & Hernández, 2006).

Tabla 1. 5 Tipos de Disposición Final de los RSU.

SITIO DE DISPOSICIÓN	CARACTERISTICAS
Tiradero a cielo abierto	Durante décadas, esta actividad no fue vista como un problema serio para los encargados del Servicio de Limpia, ya que bastaba con llevar los RSU fuera de los núcleos urbanos para evitar el impacto visual y las molestias que pudieran causar a la población. Además, la cantidad en que eran producidos y las características de composición permitían su reintegración a la naturaleza sin daños aparentes. Ante esto y con la persistencia de las prácticas tradicionales en la disposición final de los RSU, aparecen grandes tiraderos a cielo abierto, los cuales son un foco de contaminación ambiental (en agua, aire y suelo) aunado al riesgo para la salud pública de la población circundante.
Relleno sanitario	Obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos municipales sobre el suelo, esparciéndolos y compactándolos al menor volumen posible, para cubrirlos con material natural y/o sintético. Además, debe considerar los mecanismos para el control de impactos ambientales y debe estar de acuerdo con los requisitos normativos

Fuente: Griffith & Trois, 2006; Günther & Hernández, 2006; Kelly *et al.*, 2006; Nedwell & Reynolds, 1996; Rodriguez *et al.*, 2004.

Tabla 1.5 Tipos de Disposición Final de los RSU (continuación).

SITIO DE DISPOSICIÓN	CARACTERISTICAS
Sitio de Disposición Controlada	Cuenta con algunas obras de infraestructura y aplica métodos de operación comparables a un relleno sanitario. Estos sitios en general no cumplen por completo con la NOM-ECOL-083-1996 y no cuentan con la impermeabilización necesaria. Por otro lado, no representan un riesgo demasiado grande para el ambiente y la salud, razón por cual se permite que continúen en operación hasta que el sitio termine su vida útil.
Sitio de Disposición en Proceso de Control	Son sitios aptos para ser rehabilitados y que se encuentran en el proceso de transformación a sitio de disposición controlada.
Relleno Sanitario (RESA)	Tipo de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería particulares para controlar la fuga de lixiviados y la generación de biogás, su función es confinar en forma segura y eficiente sus principales agentes impactantes (biogás y lixiviados). La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias. De acuerdo con ella los RESA deben: 1) garantizar la extracción, captación, conducción y control de los biogases generados; 2) garantizar la captación y extracción de los lixiviados; 3) contar con drenajes pluviales para el desvío de escurrimientos y el desalojo del agua de lluvia; y 4) controlar la dispersión de materiales ligeros, así como la fauna nociva y la infiltración pluvial.
RESA Biorreactor	Debe contar con instalaciones adecuadas para monitorear, captar, tratar y aprovechar el biogás y los lixiviados generados

Fuente: Griffith & Trois, 2006; Günther & Hernández, 2006; Kelly *et al.*, 2006; Nedwell & Reynolds, 1996; Rodríguez *et al.*, 2004.

1.3 HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La LGPGIR en México en 2003, fue el primer instrumento en materia de RSU a nivel nacional, en el cual quedaron plasmadas las definiciones y categorías de residuos, así como las responsabilidades y obligaciones a nivel federal, estatal y municipal; así como la elaboración y la publicación de un Programa para la prevención y gestión integral de residuos como instrumento en los tres órdenes de gobierno (DOF, 2003; DOF, 2009).

1.3.1 Publicaciones en materia de Residuos Sólidos Urbanos en México

En el 2009 se publica por primer ocasión a nivel nacional un Programa para la prevención y gestión integral de residuos; y en el 2006 se realizó la publicación del primer diagnóstico de RSU en México (Tabla 1.6) (DOF, 2003; DOF, 2009).

Tabla 1. 6 Información generada a nivel federal en torno a los Programas Nacionales de Prevención y Gestión integral de los residuos.

AÑO	DOCUMENTO	OBSERVACIONES
2006 ^a	Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos.	Primer diagnóstico realizado a nivel nacional.
2009 ^b	Programa Nacional para la prevención y gestión integral de los residuos 2008-2012.	Primer Programa Nacional publicado, ya no es vigente.
2012 ^c	Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos.	Segundo diagnóstico realizado a nivel nacional.
2017 ^d	Programa nacional para la Prevención y gestión Integral de los residuos 2017-2018	Contiene datos del 2012. Considera que el manejo de los RSU es todavía básico en algunos municipios del país

Fuente: ^bDOF, 2009; ^dDOF, 2017; ^cINECC, 2012; ^aSEMARNAT-INECC, 2006.

Destaca que el Programa Nacional fue publicado a finales del 2018 y sólo por un año. Las entidades federativas que han publicado sus Programas Estatales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Programas Estatales (PEPGIR) hasta el 2012 se muestran en la Tabla 1.7. De los 32 estados que se tienen en los Estados Unidos Mexicanos, solamente faltan de publicar sus respectivos programas estatales: Campeche, Guanajuato, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tlaxcala y Zacatecas, esto implica que sólo falta que el 25% de las entidades federativas publiquen su respectivo PEPGIR (INECC & SEMARNAT, 2012).

Aunque, esto no exime tampoco, a las entidades cuyo PEPGIR está próximo a vencer o vencido y requerirá de una actualización para no quedar obsoleto. De los 2457 municipios de la República Mexicana, solo el 7.2% (178 municipios) cuentan con un Programas orientados a la Gestión Integral de los Residuos (SEMARNAT, 2019).

Con ello después de más de 10 años de la publicación de la LGPGIR, a nivel nacional no se tiene un PNPGIR basado en datos del 2012, y adicionalmente en la LGPGIR no se contempla el cómo elaborar e implementar cada uno de los instrumentos y requisitos que solicita (DOF, 2003).

Tabla 1. 7 Programas Estatales de Prevención y Gestión integral de los residuos reportados en SEMARNAT.

AÑO	ENTIDAD FEDERATIVA	AÑO	ENTIDAD FEDERATIVA
2010	Aguascalientes	Sin fecha	Jalisco
Sin fecha	Baja California	2008	Michoacán
2011	Baja California Sur	Sin fecha	Morelos
Sin fecha	Chiapas	2009	Nayarit
2012	Chihuahua	2009	Nuevo León
2013	Coahuila	Sin fecha	Oaxaca
2011	Colima	2011	Querétaro
2010	Distrito federal	2009	Quintana Roo
2011	Durango	Sin fecha	Sonora
2009	Estado de México	Falta	Tamaulipas
2009	Guerrero	Sin fecha	Veracruz
2005	Hidalgo	2009	Yucatán

Fuente: INECC & SEMARNAT, 2012

Para conocer el desempeño del MIRSU a nivel nacional, se cuenta con la información que publica la SEMARNAT a través de los Indicadores básicos del desempeño ambiental de México, los cuales proporcionan información general de la cantidad de RSU generados, la forma en que se da disposición, el número de RESA y una estimación de los materiales valorizables (SEMARNAT, 2018). Otra fuente de la SEMARNAT es la base de datos estadísticos BADESNIARN, la cual contiene un conjunto de indicadores clave divididos en generación, recolección, disposición y gestión, los cuales no son específicos para cada municipio, sino en su mayoría muestran datos estatales basados en proyecciones y algunos actualizados al 2016 (SEMARNAT, 2019).

Por su parte el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su versión Beta también cuenta con indicadores sobre residuos, pero estos al igual que en la SEMARNAT, son en su mayoría generales y del 2012 o 2014; tienen un Mapa Digital (Sistema de Información Geográfica), que permite visualizar de forma estatal el comportamiento de algunos de los indicadores (INEGI, 2018). A nivel nacional existen indicadores generales que miden principalmente la generación *per cápita*, el porcentaje de RSU que se recolecta y se lleva a disposición final.

Lo anterior denota que no se tiene un panorama real de la evolución y eficiencia de los sistemas de manejo y GIRSU en el país, al no tener diagnósticos reales de cada una de las municipalidades y de las poblaciones, esto deriva en no contar con información real de las diversas problemáticas que permita tomar decisiones correctas en materia de residuos.

Existen publicaciones en materia de RSU que podrían ayudar a los ayuntamientos a tomar decisiones y a mejorar el MIRSU (Tabla 1.9), en su mayoría son publicadas por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la SEMARNAT y la Secretaría de Educación del Gobierno del Estado de México (SEGEM) en colaboración con la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) entre 1999 y el 2012, sin embargo, muchas de ellas ya no están disponibles en las páginas de internet o son de difícil localización si no se conoce su existencia, por lo que difícilmente los municipios tendrán conocimiento de ellas; adicionalmente el primer paso es identificar la situación real en cada una de las etapas (contar con un diagnóstico) para poder elegir que manual o guía usar.

En la tabla 1.8 se agrupan los documentos publicados de acuerdo con las etapas que cubren (aunque sea de manera general) y por el año en que fueron publicadas, con lo que se tienen al menos 16 manuales o guías para conocer sobre cada una de las etapas de manejo y en que consiste la gestión integral de los residuos. En el ámbito económico y social solo se encontraron dos publicaciones, ambas de suma importancia, debido a que una trata la incorporación de tarifas del 2003 y la otra versa en la cuestión de género del 2006; temas que aun en la actualidad no han sido resueltos e incorporados en los sistemas de limpia de los ayuntamientos. En cuanto a generación se enlistan dos documentos y para recolección solo uno, sin embargo, contienen lo necesario para poder realizar estudios e implementar mejoras en estas etapas. Para barrido no se encontró ningún documento exclusivo que explique esta etapa; y para DF se tienen desde manuales para rehabilitar un sitio, guías para el cumplimiento de la norma NOM-083-SEMARNAT-2003, manuales para operar RESA, hasta guías para presentar proyectos ejecutivos. También existen ocho publicaciones para implementar o mejorar la valorización de residuos, desde reciclaje hasta la elaboración de composta.

Tabla 1. 8 Publicaciones en materia de RSU.

ETAPA	DOCUMENTO	AÑO	SECRETARIA	AUTOR
T	Manual técnico – administrativo para el servicio de limpia municipal	2001	SEDESOL	SEDESOL, 2001
T	Guía en elaboración de planes maestros para la gestión integral de los residuos sólidos municipales (PMGIRSM)	2002	SEGEM-GTZ	Gunther & Hernández, 2002
T	La basura en el limbo: desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos sólidos urbanos	2003	COMIA-GTZ	COMIA-GTZ, 2003
T	Experiencias de la GTZ en los procesos de elaboración y ejecución de programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos	2005	GTZ	Rodríguez Salinas <i>et al.</i> , 2007
T	Prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos experiencia de nuevo años de cooperación técnica alemana en México	2006	SEMARNAT-GTZ	Wehempohl & Ambrosius, 2006
T	Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos	2006	SEMARNAT-GTZ	Günther & Hernández, 2006
T	Guía para la licitación y concesión de obras y servicios en la gestión integral de residuos sólidos en México	2007	SEMARNAT-GTZ	Soto Toledo <i>et al.</i> , 2007
T	Guía para la formulación de un plan de manejo de residuos electrónicos en el nivel municipal	2011	INE	INE, 2011
T	Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales	2001	SEMARNAT-MIRES	Medina Roos <i>et al.</i> , 2001
T	Guía de diseño para la identificación gráfica del manejo integral de los RSU	2015	SEMARNAT	SEMARNAT, 2015
E	Estudio básico sobre la implementación de tarifas para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos	2003	SEGEM-GTZ	Bockelmann, 2003
S	Estudio sobre la cuestión de género en la gestión integral de residuos sólidos urbanos	2006	SMAGEM-GTZ	Floribela dos Santos & De Pauli, 2006
G	Estudio de generación y caracterización de residuos sólidos municipales.	2000	SEGEM-GTZ	Hernández Barrios, 2000
G	Minimización y manejo ambiental de los residuos solidos	1999	SEMARNAT-INE	INE, 1999

DF. Disposición Final; E. Económico; G. Generación; ND. No Disponible; R. Recolección; S. Social T. Se incluyen de forma general todas las etapas del MIRSU; V. Valorización

Tabla 1. 8 Publicaciones en materia de RSU (continuación).

ETAPA	DOCUMENTO	AÑO	SECRETARIA	AUTOR
DF	Manual para la rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto en el Estado de México	2002	SEGEM-GTZ	Bierto <i>et al.</i> , 2002
DF	Alternativas de disposición final - guía de toma de decisión	2002	SEGEM-GTZ	Afferden <i>et al.</i> , 2002
DF	Proyecto sectorial tratamiento mecánico-biológico de residuos sólidos informe final	2003	GTZ	Hüttner, 2003
DF	Guía para el desarrollo, presentación y evaluación de proyectos ejecutivos para rellenos sanitarios	2003	SEGEM-GTZ	Hernández Barrios <i>et al.</i> , 2003
DF	Guía de cumplimiento de la norma Nom-083-semarnat-2003	2004	SEMARNAT-GTZ	Hernández Barrios <i>et al.</i> , 2004
DF	Guía para la realización de planes de regularización conforme a la Nom-083-semarnat-2003	2005	SEMARNAT-GTZ	Hernández Barrios <i>et al.</i> , 2005
DF	Plan de regularización tipo para la rehabilitación de sitios de disposición final categoría D	2006	SEMARNAT-GTZ	Hernández Barrios <i>et al.</i> , 2006
DF	Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios	2006	SEMARNAT-GTZ	Wehenpohl & Hernández Barrios, 2000
DF	Manual de rehabilitación, clausura y saneamiento de sitios de disposición final	2012	GTZ-Gob del EdoMex, Gro, Quintana Roo	Ortiz Conde & Hernández Barrios, 2012
V	Análisis del mercado de los residuos sólidos municipales reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo	1999	SEGEM-GTZ	Wehenpohl, 1999
V	El sector informal en la separación del material reciclable de los residuos sólidos municipales en el Estado de México	2000	SEGEM-GTZ	Wamsler, 2000
V	Información técnica sobre reciclaje	2003	SEGEM-GTZ	Vest, 2003
V	Manual de compostaje municipal -tratamiento de residuos urbanos	2006	SEMARNAT-INE-GTZ	Rodríguez Salinas & Córdova, 2006
V	Guía para la implementación de proyectos de separación de residuos sólidos urbanos dirigida a los municipios de los estados de Guerrero, México y Quintana roo	2012	GTZ-Gobierno del EdoMex, Guerrero, Quintana Roo	Macht, 2012

DF. Disposición Final; E. Económico; EdoMex. Estado de México; G. Generación; ND. No Disponible; R. Recolección; S. Social T. Se incluyen de forma general todas las etapas del MIRSU; V. Valorización

1.3.2 Indicadores de desempeño

Los indicadores de desempeño son herramientas de medición utilizadas por las organizaciones para evaluar el éxito o el fracaso de una actividad determinada, las evaluaciones periódicas de los indicadores conducen a la identificación de las mejoras necesarias en el sistema, se miden en términos de decisiones de inversión, niveles de aceptación pública, participación social y necesidades ambientales (Sanjeevi & Shahabudeen, 2015).

El primer paso formal y sistemático hacia el desarrollo de indicadores ambientales en México se realizó en 1993, con el *“Taller Norteamericano de Información Ambiental”*, en el que participaron el Instituto Nacional de Ecología (INE), Environment Canadá y la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos. Para en 1994 elaborar el estudio: *An Approach Towards Environmental Indicators for México* (SEMARNAT, 2020); y en materia de residuos de acuerdo con Turcott-Cervantes (2018), se comienza a generar información estadística y diversos indicadores ambientales sobre manejo de residuos, a partir de la creación de la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) en 1994.

Desde entonces se han publicado otros documentos en este sentido, para finalmente, publicar anualmente, desde el 2005 el documento: *“Indicadores básicos del desempeño ambiental de México”*. En general todos los indicadores propuestos en México (a excepción de los indicadores de GTZ), corresponden solamente a generación total y *per cápita*, residuos dispuestos en RESA, reciclaje y tratamiento, inversión y gasto en manejo de residuos; sin embargo, no se tienen indicadores para todas las etapas de manejo de los residuos y la gestión integral tampoco es abordada de manera completa. Además, son indicadores individuales que sólo muestran una medición puntual y no son presentados como un sistema de indicadores para evaluar de manera integral el manejo y la gestión de los residuos (SEMARNAT, 2018).

La Guía para la elaboración de PMPGIRSU, publicado por la Secretaria de Ecología del Gobierno del Estado de México y la GTZ en el 2006 (Wehempohl & Ambrosius, 2006), propone una serie de indicadores y menciona que su aplicación permite verificar la evolución de la prestación del servicio de forma sencilla, ya que fue elaborada para que cualquier municipio en México pudiera implementarlo, sin embargo, la SEMARNAT no ha reportado cuántos PMPGIRSU han sido elaborados hasta la fecha y tampoco se han reportado resultados del uso de estos indicadores.

Por lo anterior es preciso identificar qué indicadores pueden ser estimados por los municipios que permitan tener un diagnóstico de cada una de sus etapas, sin ser generales como los presentados en las páginas oficiales mexicanas en materia de residuos, ni tan demandantes como los propuestos por la GTZ, dado que difícilmente la madurez de las municipalidades tendrán disponibles la cantidad de datos que se requieren para su cálculo.

Adicionalmente, la información que se tiene en fuentes oficiales en su mayoría proviene de estimaciones y no está reportada la calidad y confiabilidad de la misma (INECC & SEMARNAT, 2012; SEMARNAT, 2018). La evaluación de calidad de los datos es un proceso importante para detectar áreas de mejora en la recolección de información base, que posteriormente se utilizará para calcular indicadores sobre gestión de residuos. Si se utiliza información base de mala calidad, los resultados llevarán a tomar decisiones incorrectas o sesgadas respecto a los sistemas de gestión de residuos. En estos, históricamente han existido deficiencias importantes en la calidad y cantidad de información, por lo que deben ir adoptándose diversas estrategias que ayuden a establecer mejores prácticas en la colecta, procesamiento y uso de información (Turcott-Cervantes, 2018)

1.3.3 Uso de Sistemas de Información Geográfica en la ubicación de Rellenos Sanitarios

Situar un RESA es una tarea extremadamente difícil, debido a que la selección de un sitio adecuado requiere de una evaluación sustancial y depende de diversos factores políticos, económicos, sociales y ambientales. Adicionalmente el lugar debe cumplir con los requisitos del gobierno y las regulaciones existentes, así como minimizar los impactos económicos, ambientales, de salud y costos sociales (Sener *et al.*, 2006; Siddiqui *et al.*, 1996).

La disminución de la financiación gubernamental y municipal con extrema oposición política y social, las crecientes densidades de población, preocupaciones de salud pública y menos tierra disponible para la construcción de RESA, son algunas de las dificultades a superar. Los factores ambientales son muy importantes, debido a que el RESA puede afectar el ambiente biofísico y la ecología del área circundante. Los factores económicos deben ser considerados en la ubicación de los RESA, los cuales incluyen los costos asociados con la adquisición, desarrollo y operación del sitio. La oposición social y política han sido indicados como el mayor obstáculo para ubicar con éxito instalaciones de eliminación de desechos. El costo externo y las características indeseables de los RESA a menudo hacen que las personas perciban los riesgos y no los beneficios a largo plazo (Alanbari *et al.*, 2014; Sener *et al.*, 2006; Siddiqui *et al.*, 1996).

El sistema de información geográfica (SIG) es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos. Un SIG está diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos (Olaya, 2014) el cual almacena, recupera, analiza y muestra eficientemente la información de acuerdo con las especificaciones definidas por el usuario (Siddiqui *et al.*, 1996).

Una base de datos es una colección de datos, cuyo objetivo es almacenar y recuperar la información tanto de manera práctica como eficiente. Los sistemas de bases de datos se diseñan para gestionar grandes cantidades de información. La gestión de los datos implica tanto la definición de estructuras para almacenar la información, como la provisión de mecanismos para la manipulación de la información. Los modelos de datos más usados para describir los datos son: el modelo entidad- relación (E-R) y el modelo relacional. El modelo de datos E-R está basado en una percepción del mundo real que consta de una colección de objetos básicos, llamados entidades y, de relaciones entre estos objetos; el conjunto de todas las entidades del mismo tipo y el conjunto de todas las relaciones del mismo tipo, se denominan respectivamente conjunto de entidades y conjunto de relaciones y, se puede expresar gráficamente mediante un diagrama E-R que consta de rectángulos, elipses, rombos y líneas. En el modelo relacional se utiliza un grupo de tablas para representar los datos y las relaciones entre ellos, cada tabla está compuesta por varias columnas y cada columna tiene un nombre único (Silberschatz & Sudarshan, 2002).

Una de las áreas de aplicación más exitosas de SIG, que permite el análisis y facilita la toma de decisiones correctas, es la solución de los problemas ambientales, como la selección de sitios adecuados para colocar SDF de residuos sólidos (Isan & Yagci, 2015), o la evaluación de los ya existentes, debido a que algunos municipios seleccionan SDF para sus residuos sin estudios de viabilidad, programación, diseño y planes de gestión, por lo tanto, varios impactos sociales y ambientales son causados por estos sitios (Monavari *et al.*, 2012).

Los SIG son ideales para estudios preliminares de selección de sitios, porque permite incluir todo tipo de condiciones espaciales técnicas, económicas y sociales, así como estudiar los resultados desarrollados en diferentes condiciones, dando como resultado las áreas más aceptables y los sitios más idóneos de acuerdo con las especificaciones establecidas (Isan & Yagci, 2015; Siddiqui *et al.*, 1996).

Cuando se utiliza un SIG para ubicar RESA, la disponibilidad de datos es de primordial importancia y una limitante sería la falta de datos exactos (actualizados). Además, el análisis del sitio resultante es sensible a la importancia dada a las capas de los mapas individuales. Así, una vez que se ha desarrollado un SIG, puede analizarse el sitio posible para establecer un RESA o el lugar donde ya se ha establecido alguno.

Debido a que algunos datos importantes a menudo no están disponibles para incorporarse en el SIG (por ejemplo, datos relativos a las actitudes Políticas), los resultados no representan la etapa de evaluación final en un procedimiento de selección del sitio para un RESA, se consideran preliminares basadas mayormente en hidrogeología / geología, uso del suelo y proximidad a las poblaciones, y deberían ser seguidos por una investigación de los sitios identificados (Siddiqui *et al.*, 1996).

El análisis con un SIG no es un sustituto del análisis de campo; sin embargo, sí identifica las áreas que son más adecuadas y las directivas que sostienen estas áreas en lugar de aquellas que son inadecuadas o restringidas por regulaciones o restricciones. El uso de SIG proporciona la exclusión de zonas basada en un conjunto de criterios de selección y representación gráfica efectiva. Al final del análisis, una serie de sitios son identificados como candidatos. Estos sitios generalmente satisfacen los requisitos mínimos de los RESA (Sener *et al.*, 2006).

Dentro del proceso de selección de RESA se deben encontrar las alternativas más adecuadas. El método Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) permite determinar (ordenar) áreas alternativas de mediante la asignación de un sistema de puntuación a los factores de decisión (Iskan & Yagci, 2015). Existen diferentes métodos dentro del MCDA, dos de los más utilizados en estudios de ubicación son: el de Ponderación Aditiva Simple que en inglés se denomina Simple Additive Weighting (SAW) y el Proceso de Jerarquía Analítica o Analytic Hierarchy Process (AHP). El método SAW de ponderación aditiva simple es el más sencillo y el más a menudo utilizado como una técnica de decisión multiatributo. Su metodología consiste en calcular la puntuación para cada alternativa multiplicando el valor dado a la alternativa de ese atributo por los pesos de importancia relativa asignados directamente por el usuario y/o tomador de decisiones, seguido por la suma de los productos de todos los criterios. Por lo que el primer paso del método SAW basado en SIG es definir el conjunto de criterios de evaluación (Sener *et al.*, 2006).

El AHP desde su introducción a finales de los años setenta, se ha aplicado en una amplia variedad de entornos prácticos para modelar complejos problemas de decisión. Su capacidad para clasificar y evaluar

cuantitativamente las alternativas de decisión ha llevado a muchas aplicaciones en áreas tan diversas como la salud, la política, la planificación urbana. El AHP se está popularizando en los estudios de toma de decisiones en los que participan objetivos competitivos. La EPA recomienda que se comparen las alternativas de decisión (EPA 1993). Por ejemplo, Erkut y Moran (1991) usaron esta técnica para clasificar un pequeño número de terrenos municipales potenciales para ubicar un RESA para la Ciudad de Edmonton, Alberta, Canadá (Siddiqui *et al.*, 1996).

En el AHP desarrollado por Saaty (1980) descompone un problema de decisión complejo en problemas de decisión más sencillos para formar una jerarquía de decisión. Cuando se desarrolla una jerarquía el primer nivel es el objetivo final, que en este caso sería la selección de sitios adecuados para ubicar un RESA. Una vez completada la etapa de descomposición, se determinan los rankings para los criterios, se realiza una comparación por pares y por medio de una secuencia de multiplicación se producen los pesos para cada criterio, para posteriormente generar la puntuación global de las alternativas (Sener *et al.*, 2006).

Entonces ambas técnicas (GIS y MCDA) son herramientas importantes para la selección de sitios en la ubicación de RESA, donde el uso del SIG permite identificar los sitios adecuados y los no adecuados; mientras que el MCDA clasifica a las áreas, mostrando las mejores opciones de acuerdo con los criterios establecidos por el usuario. Trabajos como los de Siddiqui *et al.*, 2006, Sener *et al.*, 2006, Monavari *et al.*, 2012, Alanbari *et al.*, 2014, Iscan & Yagci C. 2015, utilizaron SIG y MCDA para identificar y clasificar posibles sitios para ubicar RESA, evaluar los sitios usados para disponer sus RSU y compararon las técnicas, encontrando que SIG y MCDA no sustituye el análisis en campo, pero si asegura una selección previa de sitios que cumplan con los requisitos mínimos para establecer un RESA (Tabla 1.9).

Tabla 1. 9 Investigaciones SIG – MCDA.

AUTOR	NOMBRE	PAÍS	OBJETIVO	FACTORES / CRITERIOS DE DECISIÓN (AHP)	SOFTWARE
Siddiqui <i>et al.</i> , 2006	Landfill siting using geographic information systems: a demonstration	Oklahoma, USA	*GIS-AHP identificar y clasificar las posibles zonas RESA *Selección de RESA en Cleveland. *Analizar el efecto variando la importancia en los factores de decisión.	Hidrológicos Geológicos Uso de tierra Proximidad	Digitalizado con USDA-SCS. RASTER formato 200 m
Monavari <i>et al.</i> , 2012	Study of solid waste landfill suitability using regional screening method and AHP in Rasht city	Irán	*La idoneidad del RESA usando método regional, SIG y AHP (64.3% Adecuado)	Método regional Condiciones naturales Uso de tierra Económico SIG / AHP Físicos Económicos-sociales	ARC GIS9.2 Software ERDAS 9.1
Iskan f. & Yagci, 2015	Selection of solid waste landfill site using geographical information system (GIS)	Aksaray, Turquía	*Seleccionar RESA usando SIG (20años) (minimizando impacto)	Distancia urbana Caminos Pozos	Digitalizado con NETCAD Software ARCGIS
Alanbari <i>et al.</i> , 2014	Multicriteria decision analysis for landfill site selection in Al-Hashimyah Qadaa	Babylon Governorate Irak	*Ubicar RESA usando SIG y AMCD *Determinar el área de RESA/5años	Factores naturales Factores artificiales	ARCGIS 9.3 SPATIAL ANALYST
Sener <i>et al.</i> , 2006	landfill site selection by using geographic information systems	Ankara / Turquía	*Desarrollar metodología GIS / MCDA *Aplicarla en ubicación de RESA	Factores naturales Factores artificiales	ND

1.4 CONTEXTO GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación para esta tesis se realizó en los municipios del Estado de México colindantes con los municipios de las Entidades Federativas de Guerrero, Morelos, Querétaro e Hidalgo.

1.4.1 Estado de México

El Estado de México se encuentra al centro de la República Mexicana y está rodeado por ocho estados, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Distrito Federal, Morelos y Guerrero (Figura 1.4). Esta Entidad Federativa en el año 2015 reportó una población total de 16,870,379 (8,241,001 hombres y 8,629,387 mujeres); tiene una extensión de 22351 km², que representa el 1.14% del territorio nacional, su población se distribuía en 87% urbana y 13% rural (a nivel nacional el dato es de 78 y 22 % respectivamente); y su capital es la ciudad de Toluca de Lerdo (INEGI, 2016).

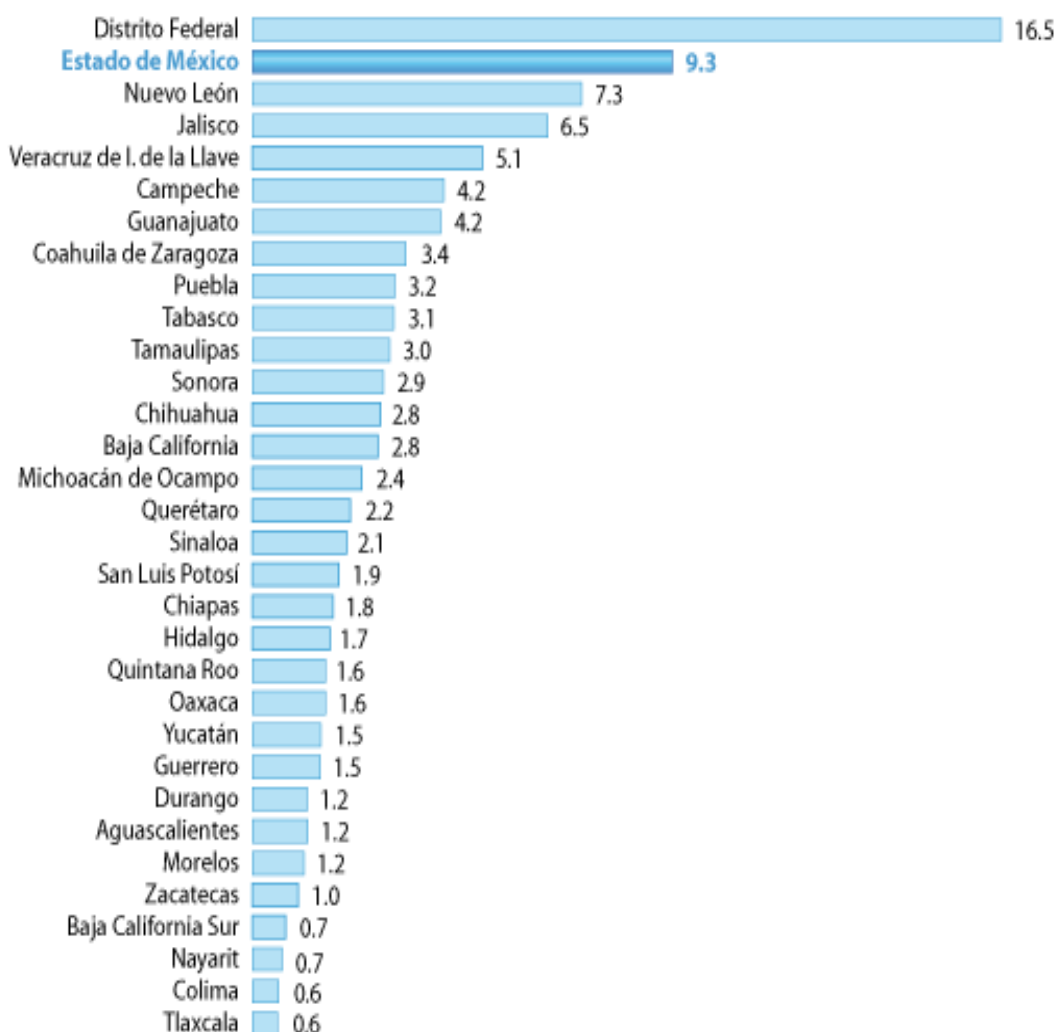


Fuente: INEGI, 2016.

Figura 1. 4 Mapa Estado de México y Estados Aledaños.

De acuerdo con el censo económico del año 2014 el Estado de México aportó al PIB Nacional el 9.3% (Figura 1.5), el sector de actividad que más contribuyó fue el comercio (1.28% Actividades primarias,

32.45% Actividades Secundarias, 66.27% Actividades Terciarias). En ese año contaba con 534,838 unidades económicas (12.6% del país), y empleaba a 2,023,837 personas (9.4% del personal ocupado de México), del total del personal ocupado en la entidad, el 57% (1,152,962) eran hombres y el 43% (870,875) mujeres (INEGI, 2016).



Fuente: INEGI, 2016.

Figura 1. 5 Aportación Estatal al PIB Nacional, 2014.

Está conformado por 125 municipios agrupados en 16 regiones socioeconómicas. Cada municipio cuenta con su propia cabecera municipal, que sirve como sede del poder del gobierno municipal, además de que a menudo se trata de la localidad más importante del territorio (SSDM, 2016).

1.4.2 Guerrero

La Entidad Federativa de Guerrero se localiza en la costa del Pacífico de la República Mexicana; sus fronteras están delimitadas al Noroeste con Michoacán de Ocampo, al Norte con el Estado de México y Morelos, al Este con Puebla y Oaxaca y, al Sur con el Océano Pacífico (Figura 1.6). Tiene una extensión de 63 794 km² que representa el 3.24% del territorio nacional y está provisto de 485 km de litoral. Cuenta con las islas de Ixtapa, Apies, Islas Blancas, Pájaros, Caballos y La Roqueta; además de los islotes Farallón del Obispo, Morro, Frailes Blancos e Islote de San Gabriel. Su capital es la ciudad de Chilpancingo de los Bravo. En el año 2015 reportó una población total de 3,568,139 (1,729,259 hombres y 1,838,880 mujeres), que representa el 3.0% del territorio nacional, su población se distribuía en 58% urbana y 42% rural (INEGI, 2016).



Fuente: INEGI, 2016.

Figura 1. 6 Mapa Estado de Guerrero.

En el año 2014, Guerrero aportó al PIB Nacional el 1.5% (Figura 1.5), el sector de actividad que más contribuyó fue el comercio (5.11% Actividades primarias, 22.71% Actividades Secundarias, 72.18% Actividades Terciarias). Contaba con 135,564 unidades económicas, el 3.2% del país. Empleaba a 396,133 personas, el 1.8% del personal ocupado de México. Del total del personal ocupado en la entidad, el 53% (208,997) eran hombres y el 47% (187,136) mujeres. Está conformado por 80 municipios agrupados en 7 regiones socioeconómicas (INEGI, 2016).

1.4.3 Querétaro

El Estado de Querétaro se encuentra en el centro de la República Mexicana y está delimitado al norte por el estado de San Luis Potosí, al Este con el estado de Hidalgo, al Sur con el Estado de México y Michoacán, y al Oeste con el estado de Guanajuato (Figura 1.7). En el año 2015 reportó una población total de 2,004,471 (973,560 hombres y 1,030,911 mujeres). Tiene una extensión de 11,270 km², que representa el 0.6% del territorio nacional, su población se distribuía en 70% urbana y 30% rural (INEGI, 2016).



Fuente: INEGI, 2016.

Figura 1. 7 Mapa Estado de Querétaro.

En el año 2014, el Estado de Querétaro aportó al PIB Nacional el 2.2% (Figura 1.5), el sector de actividad que más aportó es el comercio (2.42% Actividades primarias, 43.85% Actividades Secundarias, 53.73% Actividades Terciarias). En el 2015 contaba con 69,022 unidades económicas, el 1.6% del país. Empleaba a 458,691 personas, el 2.1% del personal ocupado de México. Del total del personal ocupado en la entidad, el 59% (270,504) eran hombres y el 41% (188,187) mujeres. Está conformado por 18 municipios agrupados en cinco regiones administrativa (INEGI, 2016).

1.4.4 Hidalgo

El estado de Hidalgo se encuentra al centro de la República Mexicana y está rodeado al Norte por el Estado de San Luis Potosí, Noroeste con Querétaro, al Sur con el Estado de México y Tlaxcala, al Sureste con Puebla, y al Noreste con Veracruz (Figura 1.8). En el año 2015 reportó una población total de

2,878,370 (1,390,226 hombres y 1,488,144 mujeres), el 2.4% de total Nacional. Tiene una extensión de 20 813 km², que representa el 1.06% del territorio nacional, su población se distribuía en 52% urbana y 48% rural (a nivel nacional el dato es de 78 y 22 % respectivamente) (INEGI, 2016).



Fuente: INEGI, 2016.

Figura 1. 8 Mapa del Estado de Hidalgo.

En el año 2014, el Estado de Hidalgo aportó al PIB Nacional el 1.7% (Figura 1.5), el sector de actividad que más aportó fue el comercio (3.66% Actividades primarias, 42.0% Actividades Secundarias, 54.34% Actividades Terciarias). En el 2015 contaba con 98,567 unidades económicas, el 2.3% del país. Empleaba a 353,978 personas, el 1.6% del personal ocupado de México. Del total del personal ocupado en la entidad, el 57% (202,355) eran hombres y el 43% (151,623) mujeres. Está conformado por 84 municipios agrupados en 17 regiones administrativa (INEGI, 2016).

1.4.5 Morelos

El estado de Morelos se encuentra al centro de la República Mexicana y está rodeado al Norte por el Distrito Federal y el Estado de México, al Suroeste con Guerrero y al Sureste con el Estado de Puebla (Figura 1.9). En el año 2015 reportó una población total de 1,920,351 (926,442 hombres y 993,909 mujeres) el 1.6% del total Nacional. Tiene una extensión de 4879 km², que representa el 0.25% del territorio nacional, su población se distribuía en 84% urbana y 16% rural (a nivel nacional el dato es de 78 y 22% respectivamente) (INEGI, 2016).



Fuente: INEGI, 2016.

Figura 1. 9 Mapa Estado de Morelos

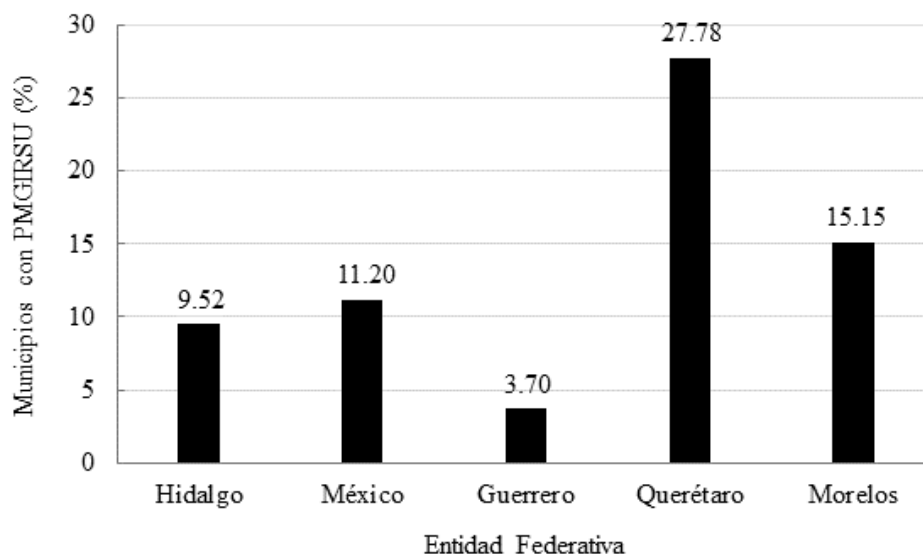
En el año 2014, el Estado de Morelos aportó al PIB Nacional el 1.2% (Figura 1.5), el sector de actividad que más aportó fue el comercio (2.71% Actividades primarias, 31.5% Actividades Secundarias, 65.79% Actividades Terciarias). En el 2015 contaba con 84,651 unidades económicas, el 2.0% del país. Empleaba 297,797 personas, el 1.4% del personal ocupado de México. Del total del personal ocupado en la entidad, el 54% (160,816) eran hombres y el 46% (136,981) mujeres. Está conformado por 33 municipios agrupados en 7 regiones socioeconómicas (INEGI, 2016).

1.5 PANORAMA DE LA GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS NACIONAL Y DE LOS ESTADOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el presente apartado se presentan un panorama de cada uno de los elementos del MIRSU (generación y composición, barrido, recolección, transferencia, transporte, estaciones de transferencia, centros de acopio, reciclaje, tratamiento y DF) a nivel Nacional y de los EAE.

1.5.1 Municipios con Programas y Reglamentos en materia de Residuos Sólidos Urbanos

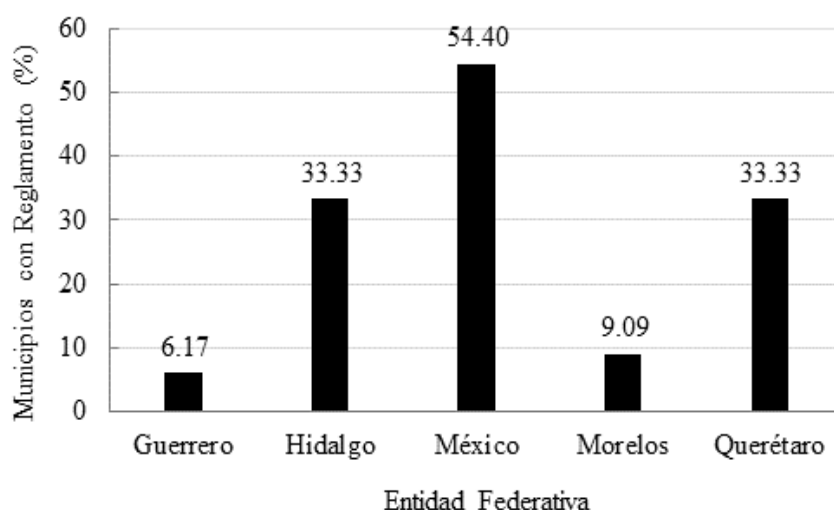
A nivel nacional de los 2458 municipios, en el 2016 solo el 7.2% tenían programas relacionados con la GIRSU y en el 2010 el 20% reglamentos en materia de RSU. Respecto a las cinco EAE, en el 2016 Querétaro tenía el mayor porcentaje de municipios con PMPGIRSU (Figura 1.10) (SEMARNAT, 2019).



Fuente: Adaptado de SEMARNAT, 2019

Figura 1. 10 Porcentaje de municipios con PMPGIRSU por Entidad Federativa.

En cuanto a los reglamentos en materia de RSU, en el 2010 los municipios que lo tenían a nivel nacional era el 20%. De las EAE el Estado de México era el que reportaba un mayor porcentaje con más del 50% de sus municipios con reglamentos (Figura 1.11) (SEMARNAT, 2019).



Fuente: Adaptado de SEMARNAT, 2019

Figura 1. 11 Porcentaje de municipios con Reglamentos en materia de RSU por Entidad Federativa.

1.5.2 Generación y composición

De acuerdo a la OCDE en el 2013 México ocupó el 26° país en generación per cápita con aproximadamente 370 kg/hab-año, donde los Estados Unidos de América (USA, por sus siglas en inglés) con más de 700 kg/hab-año fue el país que más RSU generó (OECD, 2016).

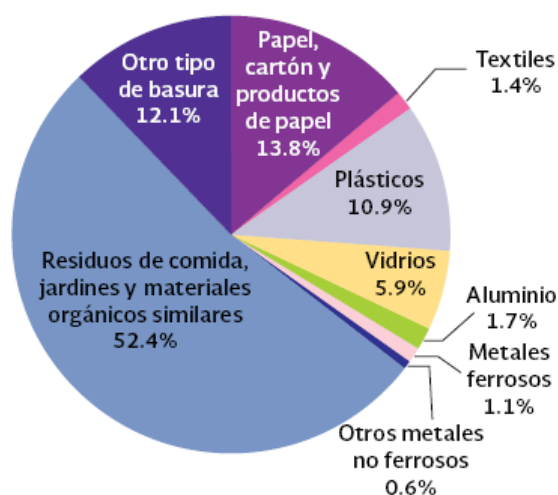
En México la generación total anual de RSU aumentó 43.8%, entre 1997 y 2012, pasando de cerca de 29.3 a 42.1 millones de toneladas, como resultado principalmente del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas y el cambio en los patrones de consumo. Entre 1950 y 2012 la generación per cápita se incrementó más de tres veces, pasando de 300 a 990 g en promedio (SEMARNAT, 2013).

En 2012, las entidades que contribuyeron mayormente a la producción total de RSU en el país fueron el Estado de México (16% del total nacional, 6.789 millones de toneladas), Ciudad de México (12%, 4.949 Mt), Jalisco (7%, 3.051 Mt), Veracruz y Nuevo León (5%, 2.301 y 2.153 Mt). Por el contrario, los que menos contribuyeron fueron Nayarit y Tlaxcala (cada una con 0.8%, 346 mil toneladas y 339 mil toneladas), Baja California Sur y Campeche (cada una con 0.6%, 259 mil y 271 mil toneladas) y Colima (0.5%, 228 mil toneladas) (SEMARNAT, 2019).

Las producciones de los RSU de los estados aledaños al Estado de México reportadas para 2012 fueron: Michoacán (3%, 1.281 Mt), Guerrero (2.5%, 1.013 Mt), Morelos (1.3%, 0.632 Mt), Tlaxcala (0.8%,

0.339 Mt), Puebla (4.5%, 1.894 Mt), Hidalgo (1.8%, 0.767 Mt) y Querétaro (1.6%, 0.666 Mt); los cuales en conjunto con la Ciudad de México y el Estado de México, zona que es del interés de este proyecto, sumaron 18.3 Mt, que ~~son~~ fueron el 43.6% del total nacional (SEMARNAT, 2019).

En cuanto a la composición se estima que los residuos en México en el 2011 contenían aproximadamente el 53% de residuos orgánicos biodegradables, 14% de papel y cartón, 6% de vidrio, 4% de plásticos, 3% de metales y 1% de textiles, mientras que el restante (19%) corresponde a otro tipo de materiales (Figura 1.12) (SEMARNAT, 2016b).



Fuente: SEMARNAT, 2016b.

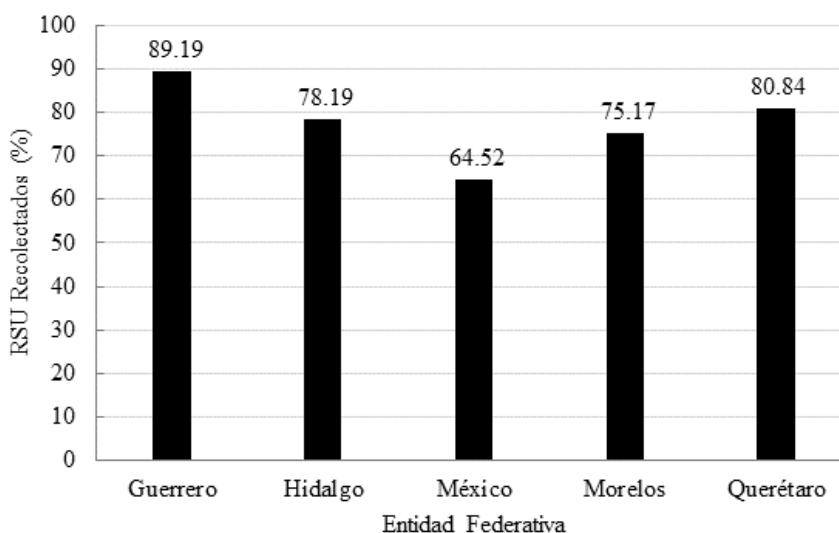
Figura 1. 12 Composición de los RSU en México 2011.

La composición de los RSU depende de los patrones de consumo de una población, que a su vez puede cambiar en función de diferentes factores, entre ellos el clima o época del año, la actividad económica, el ingreso, las costumbres o las cuestiones culturales. Por lo general, países con menores ingresos producen menos RSU con predominio de los residuos orgánicos (RO), mientras que en los países con mayores ingresos, los residuos son mayormente inorgánicos debido al mayor consumo de productos manufacturados (Akinci *et.al.*, 2012; Hernández-Berriel *et al.*, 2015). En México, la composición de los RSU ha cambiado drásticamente; de acuerdo con la SEMARNAT los residuos de alimentos, jardines y materiales orgánicos similares en los años 50's constituían entre el 65% y 70% del total de los RSU generados a nivel nacional, mientras que para el 2012 la composición de los RO fue de 52.4% (SEMARNAT, 2016b).

1.5.3 Recolección

En México, la recolección nacional de los RSU con respecto a los generados, se incrementó de 78.67% en 2010 a 90.8% en 2016 (SEMARNAT, 2019). De acuerdo con los datos reportados en el INEGI, en el 2012, fueron 10 Entidades las que cumplieron con la recolección de sus RSU al 100% (Nayarit, Ciudad de México, Quintana Roo, Baja California Sur, Chihuahua, Colima, Michoacán, Tlaxcala, Zacatecas y Sinaloa); y 12 Entidades reportaron un cumplimiento menor al 80% (Tabasco 79%, Hidalgo 78%, Guanajuato 76%, Morelos 75%, Puebla 70%, Aguascalientes 69%, Yucatán 68%, Baja California 67%, Nuevo León 66%, México 65%, Durango 64% y Chiapas 63%); las 10 Entidades restantes mostraron un desempeño en promedio del 88% (SEMARNAT, 2016b).

En cuanto al Estado de México y sus estados aledaños, solo tres Entidades reportaron el 100% de recolección de sus RSU en el 2012, por su parte, Hidalgo, Morelos, Puebla y el Estado de México tuvieron menos del 80%, destacando el Estado de México con un 65% (Figura 1.13).



Fuente: Adaptado de SEMARNAT 2019.

Figura 1. 13 Porcentaje de RSU recolectados por las Entidades del Área de Estudio en 2012.

1.5.4 Estaciones de transferencia y centros de acopio

De acuerdo con la SEMARNAT en el año 2010 se tenían registradas a nivel Nacional 172 Estaciones de Transferencia incrementando a 226 para el año 2012, de las cuales 44 y 55 respectivamente, se encontraban dentro de los EAE. En el 2012 se tenían en el Estado de México 15, Michoacán 3, Guerrero 1, Morelos 10, Tlaxcala 0, Puebla 8, Hidalgo 2, Querétaro 3 y el Distrito Federal 15.

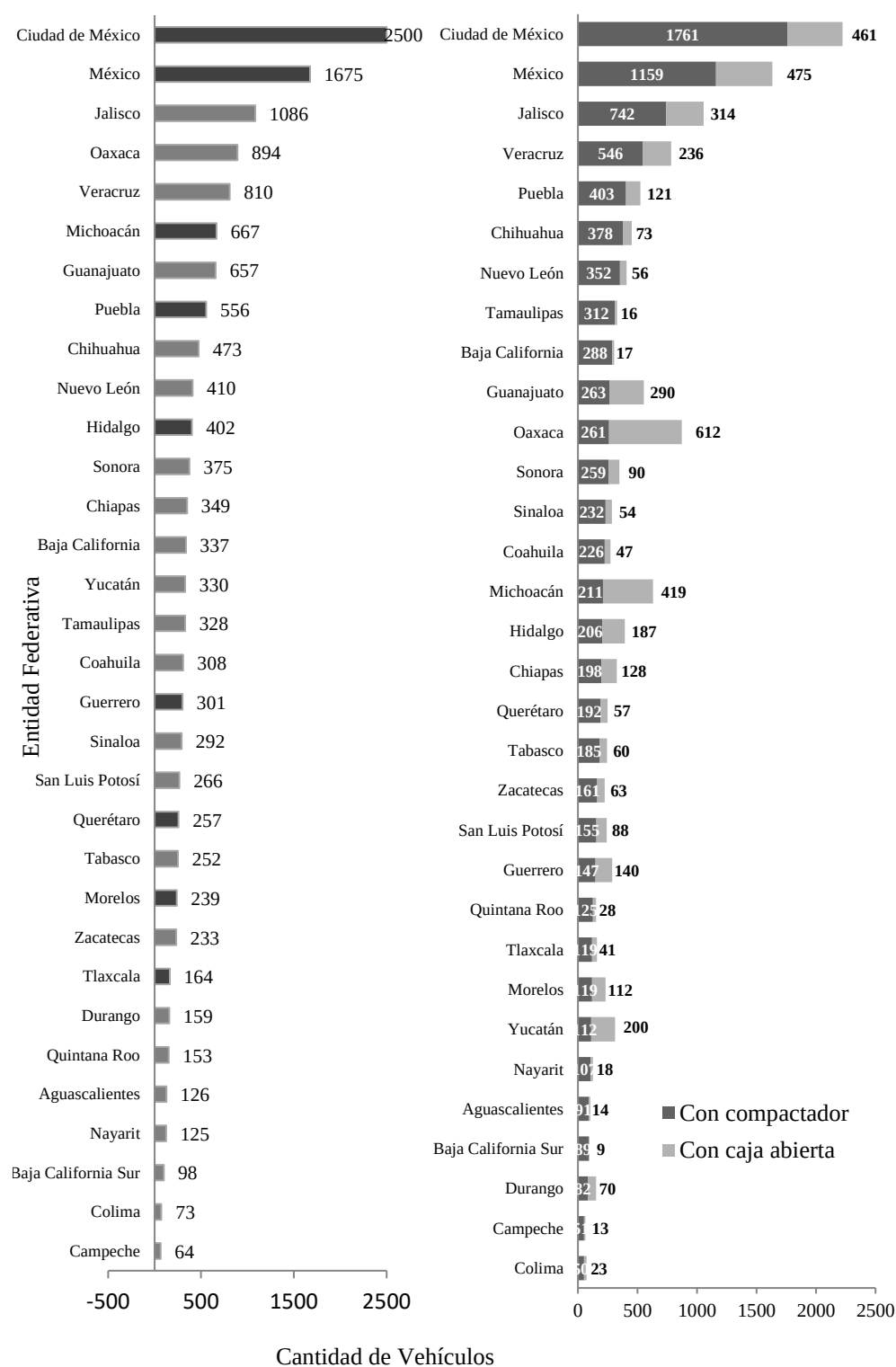
En cuanto a la cantidad nacional de Centros de Acopio del año 2010 al 2012 se incrementó en un 349% pasando de 482 a 1682 sitios registrados. De los cuales en el 2012, 1427 estaban localizados en los EAE: 19 en el Estado de México, 32 en Michoacán, seis en Guerrero, cuatro en Morelos, 2 en Tlaxcala, 38 en Puebla, 18 en Hidalgo, 63 en Querétaro y 404 en el Distrito Federal ahora Ciudad de México (SEMARNAT, 2019).

1.5.5 Transporte para los residuos sólidos urbanos

Respecto al tipo de vehículo utilizado para el sistema de recolección y transporte de los RSU, en la figura 1.17 se muestra la cantidad total de vehículos y la distribución por tipo de camión por Entidad Federativa. Dentro de cada uno de los rubros se consideran los siguientes tipos de vehículos:

- a) Con compactador: comprende cilindro con compactador, compactador con separación, con carga lateral, con carga delantera, con carga trasera, mini compactador de carga lateral, octagonal con compactador y otro (con compactador).
- b) Con caja abierta: incluye camión de caja abierta, camión de volteo, camioneta de redilas y camioneta de volteo.
- c) Otro: abarca vehículos sin compactador, barredoras, pick up, grúas, camión con separación para basura, remolque, contenedor móvil y contenedor hidráulico.

Los Estados con mayor equipamiento en el 2012 fueron la Ciudad de México, el Estado de México, Jalisco, Oaxaca, Veracruz, Michoacán y Guanajuato. De los EAE, Hidalgo, Guerrero, Querétaro y Morelos fueron los que reportaron una menor cantidad, siendo el Estado de México el que mostró mayor equipamiento. Respecto al tipo de vehículo, los que mayor porcentaje de camiones de compactación tenían eran la Ciudad de México, el Estado de México, Jalisco, Veracruz y Puebla, mientras que los Estados de Aguascalientes, Baja California Sur, Durango, Campeche y Colima fueron los que presentaron la menor disponibilidad de éstos. En cuanto a las EAE el Estado de México fue el que contó con la mayor cantidad de este tipo de vehículos y, por el contrario, los que presentaron la menor cantidad son Querétaro y Morelos. En cuanto a los vehículos con caja abierta, el Estado de Oaxaca fue el que mayor número presentó con 612 unidades, las cuales hacen que esté posicionado en el cuarto lugar a nivel nacional en cuanto a número total de vehículos (Figura 1.14). De las EAE, los que mayor cantidad de este tipo de vehículos tuvieron son la Ciudad de México, el Estado de México y Michoacán con más de 400 unidades cada uno y con menos de 100 unidades Querétaro y Tlaxcala (SEMARNAT, 2019).



Fuente: Adaptado de SEMARNAT 2019.

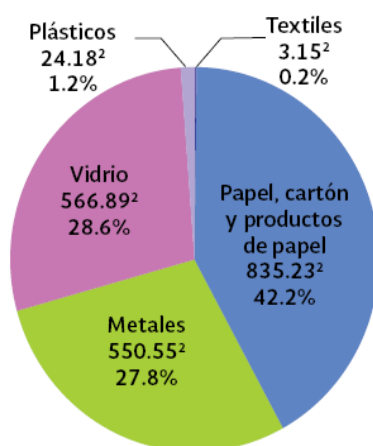
Figura 1. 14 Cantidad de Vehículos Total y Tipo por Entidad Federativa en 2012.

1.5.6 Reciclaje

El volumen de RSU que se recicla en el país se ha incrementado en los últimos años, sin embargo, aún resulta bajo. De acuerdo con las cifras obtenidas en los SDF, en 2011 se recicló 4.8% del volumen de RSU generados; no obstante, esta cifra podría alcanzar el 10% en virtud de que muchos de los RSU susceptibles de reciclarse se recuperan antes de llegar a los SDF, tanto en los contenedores como en los vehículos de recolección.

Si bien la mayoría de las entidades federativas de México cuentan con un “Programa para la prevención y gestión integral de RSU y de manejo especial”, no en todos se realiza la separación de orgánicos e inorgánicos, ni la revalorización de estos últimos, de manera que los residuos reciclables aprovechados han logrado pasar solo del 2.5% en 2002 a 5.2% en 2012; mientras que podrían segregarse 13.8% de papel y cartón, 10.9% de plásticos, 5.9% de vidrios, 1.7% de aluminio y 1.1% de metales ferrosos. Lo anterior permitiría evitar que llegasen a los sitios de disposición sobre el 33.4 % de los RSU y reduciría los gastos de recolección, transporte y disposición para los municipios.

Del volumen total de RSU reciclados en 2011, el mayor porcentaje correspondió a papel, cartón y productos de papel (42.2%), seguido por vidrio (28.6%), metales (27.8%), plásticos (1.2%) y textiles (0.2%) (Figura 1.15). Si se considera el volumen reciclado de cada tipo de RSU con respecto a su volumen producido, los sólidos que más se reciclaron en 2011 fueron los metales (39% del total de metales generados), el vidrio (23.5%) y el papel (14.7%). De los plásticos y textiles sólo se recicló alrededor del 0.5% de cada uno de ellos (SEMARNAT, 2016b).



Fuente: SEMARNAT, 2016b

Figura 1. 15 Composición de los RSU reciclados, 2011.

Estudios sobre la cantidad de residuos sólidos recuperables como el de Aguilar-Virgen *et al.* (2010) en Ensenada (Baja California, México), reportan que en promedio se podrían comercializar semanalmente 643.67 t de residuos alimenticios, 389.45 t de papel y cartón, 217.55 t de plásticos, 78.81 t de vidrio, 37.30 t de metales y 8.11 t de aluminio; obteniéndose un total aproximado de \$ 911 224.18 M.N. por la comercialización de los mismos. Por su parte Durán *et al.* (2013) reportaron que en el Bordo poniente ubicado en el Estado de México, se encontraron materiales que tienen potencial de ser reciclados como: 2.65% vidrio, 1.16% metal ferroso y 0.13% metales no ferrosos. Valdovinos (2013) realizó una caracterización en Naucalpan, Estado de México de acuerdo con la normatividad mexicana vigente, el conjunto de subproductos potencialmente valorizables representaba el 29.10% del total de RSU analizados, incluyendo 28.44% de papel mixto, 22.65% de vidrio mezclado, 21.02% de plásticos diversos, 18.15% de cartón, 8.29% de desechos ferrosos y 1.45% de desechos no ferrosos.

1.5.7 Tratamiento

En el 2016, en las 32 entidades y los 2458 municipios se contabilizaron 47 plantas de tratamiento de RSU (separación, trituración, compactación, composteo, digestión anaerobia), Jalisco fue la Entidad que reportó mayor cantidad de plantas de tratamiento (11). En los EAE, Hidalgo, Morelos y Querétaro reportaron cero plantas de tratamiento de RSU, mientras que Guerrero declaró una y el Estado de México cuatro (SEMARNAT, 2019).

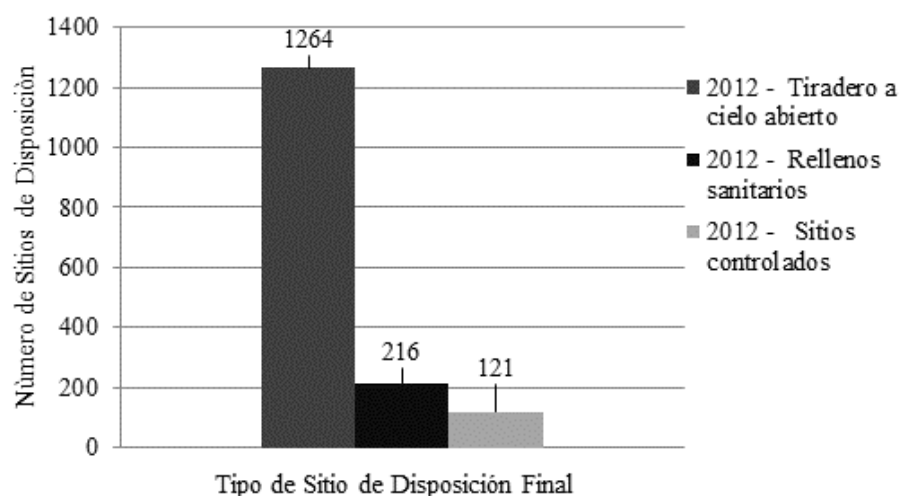
En el Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos del 2012 se reportó que a nivel nacional se tenían 24 plantas de selección, localizadas: siete en Nuevo León, tres en el Estado de México, tres en el Distrito Federal y una en cada uno de los siguientes estados en sus principales ciudades: Aguascalientes, Chiapas, Chihuahua, Guadalajara, Michoacán, Morelos, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí y Tabasco. En lo que se refiere a las plantas de composta se reportaron 98 instalaciones en el país, de las cuales no se contó con datos completos sobre su capacidad instalada y de operación; estas plantas se encontraban ubicadas: nueve en el Distrito Federal, cuatro en Morelos, tres en Quintana Roo, dos en el Estado de México, una en Aguascalientes, una en Yucatán y del resto se careció con información sobre su ubicación (INECC-SEMARNAT, 2012).

Con el propósito de demostrar la viabilidad tecnológica, económica, financiera, institucional y social de aprovechar el biogás generado en SDF de RSU, en 1987 con la cooperación de Banco Mundial (BM), La SEDESOL y La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SDHCP), se llevó a cabo en la ciudad de Monterrey un programa piloto para la captura y uso del gas metano, como resultado de la descomposición

de los desechos orgánicos; actualmente se conoce este proyecto como el Sistema Metropolitano de Procesamiento de Desechos (SIMEPRODE), el cual desarrolla actividades en todo el estado concernientes al manejo, clasificación y DF de RSU. El sistema procesó 5000 t de desechos en los 12 rellenos regionales, abasteciendo de energía eléctrica al alumbrado público de la zona metropolitana y posteriormente el metro de la ciudad, gracias a la planta generadora de energía por biogás. En la planta de selección de subproductos se recuperaron de 4000 a 5000 t al mes de material reciclable (Aluminio, Vidrio, Cartón/papel y plástico) y se trituraron de 60 a 70 toneladas por día de llantas usadas, evitando su incineración (CFE-IIIE, 2012).

1.5.8 Sitios de Disposición

En el año 2012 de acuerdo con la SEMARNAT a nivel Nacional se tenían 216 RESA, 121 SC y 1264 TCA (Figura 1.16). Las Entidades que mayor número de RESA reportaron fueron el Estado México (28), Jalisco (27), Veracruz (18), Chihuahua (18), Guanajuato (17); y con solo un sitio Puebla, Campeche, Aguascalientes, Tlaxcala, Nayarit. La mayor concentración de TCA estaba en los Estados de Oaxaca (214), Veracruz (112), Yucatán (102), Chiapas (99) y Michoacán (96), y por el contrario las Entidades con la menor cantidad de TCA eran Quintana Roo (4), Querétaro (2), Baja California Norte (0), Aguascalientes (0) y Tlaxcala (0) (SEMARNAT, 2019).

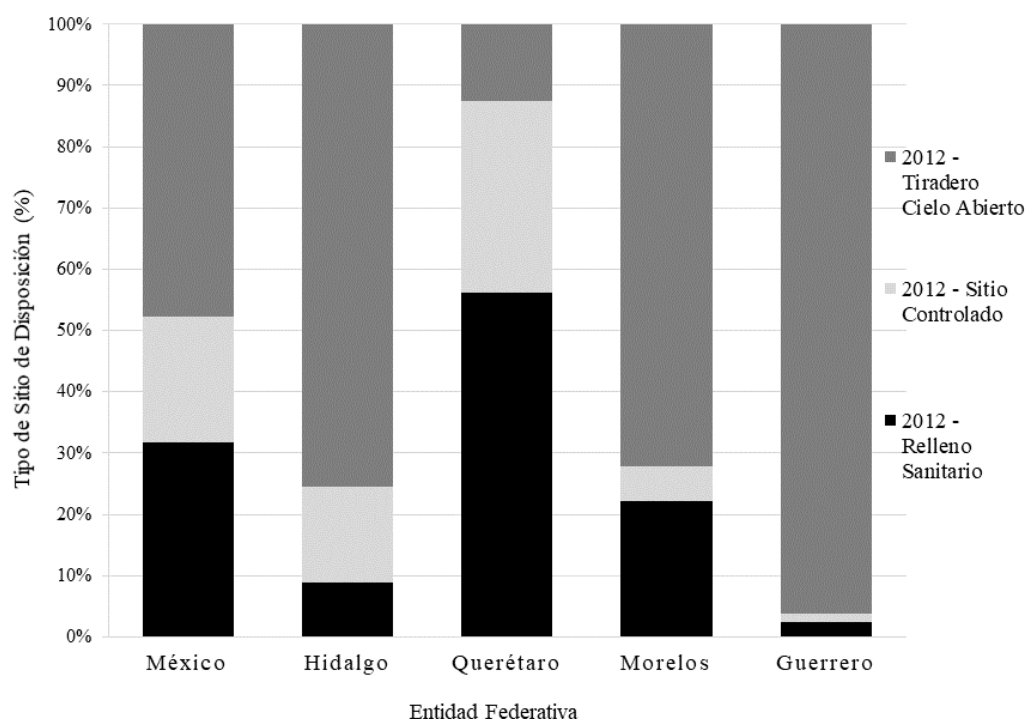


Fuente: Adaptado de SEMARNAT 2019

Figura 1. 16 Cantidad Nacional de Sitios de Disposición, 2012.

De los EAE el Estado de México es el que tiene mayor cantidad de RESA (28). Los TCA son los que predominan, teniendo mayor cantidad Guerrero (77), Hidalgo (43) y el Estado de México (42). El Estado de México es también quien mayor cantidad de SC reporta (18), siendo el segundo con el mayor número de SDF reportados (88) (Figura 1.17) (SEMARNAT, 2019).

En 2012 se estimó que 66.5% del volumen nacional generado de RSU en el país se dispuso en RESA, 7.9% en SC, el 20.6% se depositó en sitios no controlados (TCA) y el restante 5% se recicló (SEMARNAT, 2013).



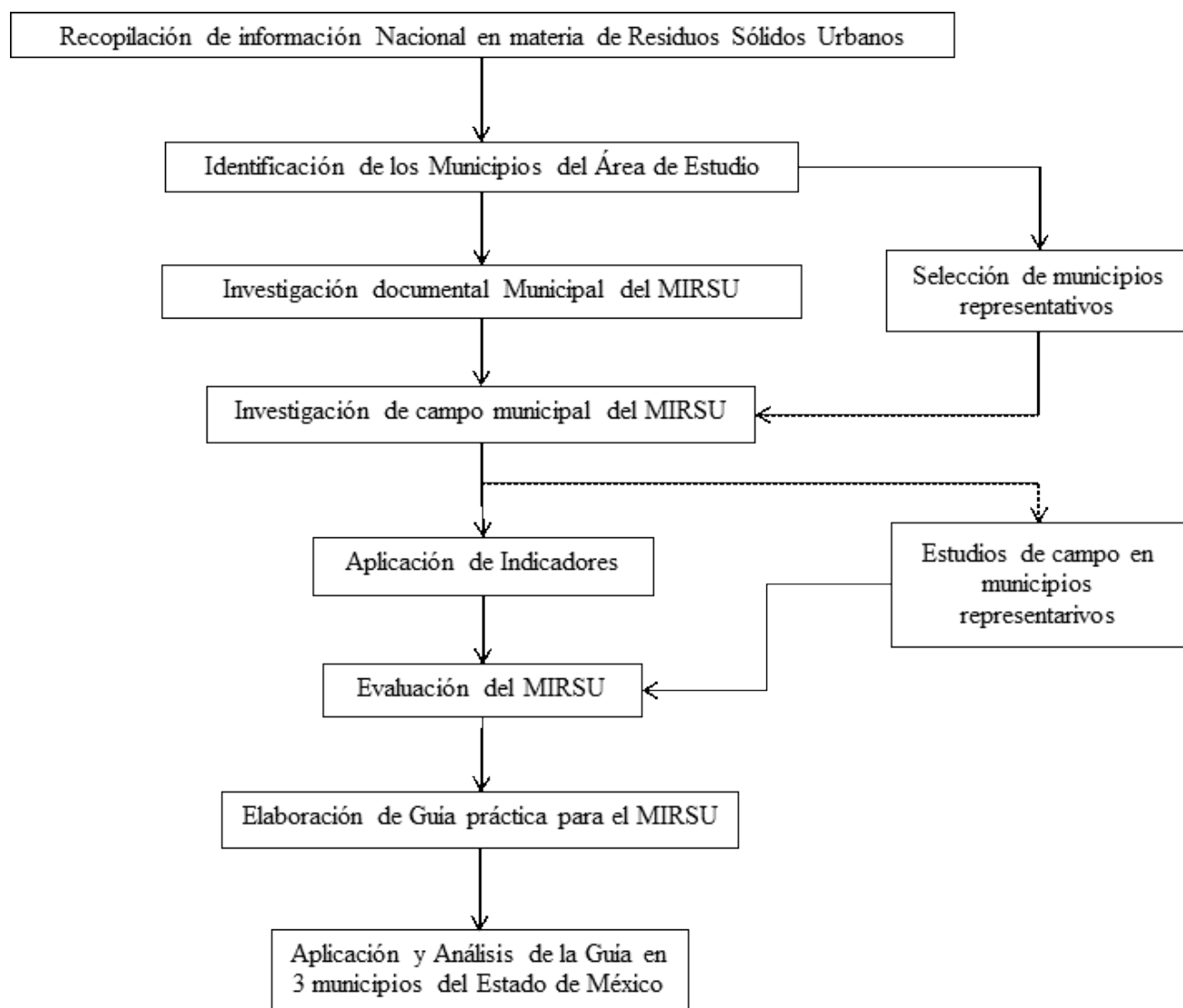
Fuente: Adaptado de SEMARNAT 2019.

Figura 1. 17 Cantidad de Sitios de Disposición de las Entidades del Área de Estudio.

En el 2012 solo el Distrito Federal, Aguascalientes y Quintana Roo dispusieron los RSU en su totalidad en RESA, mientras que Oaxaca, Tabasco, Hidalgo y Chiapas dispusieron menos del 43% de sus RSU en este tipo de sitios (INECC-SEMARNAT, 2012).

2. PARTE EXPERIMENTAL

La metodología desarrollada para elaborar una Guía práctica en pro de la mejora del desempeño del MIRSU para municipios del Estado de México y Estados aledaños se presenta en la figura 2.1.



MIRSU, Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos

Figura 2. 1Diagrama de bloques del método.

A continuación, se describe cada una de las actividades a realizar:

2.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN NACIONAL EN MATERIA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Se realizó la búsqueda en internet de la bibliografía en materia de RSU. Las paginas oficiales consultadas fueron de la SEDESOL, SEMARNAT, INE, SEGEM, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEN). La información en materia de RSU servira para tener un panorama inicial de la GIRSU de los MAE y las publicaciones encontradas se revisaran e incluiran en la guía como apoyo y referencia para los ayuntamientos para incorporar mejoras a corto, mediano y largo plazo durante su gestión y en las subsecuentes.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

A partir de información oficial y utilizando el Mapa Digital y Mapa de Escritorio del INEGI se identificaron a los MAE (INEGI, 2016b). De cada uno de los MAE se realizó la recopilación de información documental oficial del INEGI y la SEMARNAT por ser los organismos que a nivel nacional realizan los censos y publican información en materia económica, social, y ambiental. La información se clasificó en tres categorías: Poblacional, Económica y En materia de RSU; de cada categoría se compilaron los parámetros mostrados en la Tabla 2.1.

Con los parámetros de Población se pretende tener una estimación de la cantidad de RSU que cada municipio está produciendo, es decir a mayor población mayor generación. El Nivel económico de los municipios puede ayudar a predecir la composición y generación de los RSU, ya que entre más unidades económicas se incrementa la generación (SEMARNAT, 2016b). También indica la posible liquidez de los municipios para emprender obras que requieren inversión a largo plazo, como lo es un RESA.

En materia de RSU se buscó información sobre la generación y disposición actual de sus RSU. Los SDF se clasificaron en RESA, TCA y SC, para su ubicación y cuantificación se utilizó el Mapa Digital en línea y Mapa de Escritorio del INEGI (INEGI, 2016b). Se contabilizaron los SDF dentro y fuera de cada municipio considerando un área de influencia de 20 km, debido a que a una distancia mayor el costo por la transporte de los RSU se incrementa y no es factible (Alanbari, *et al.*, 2014).

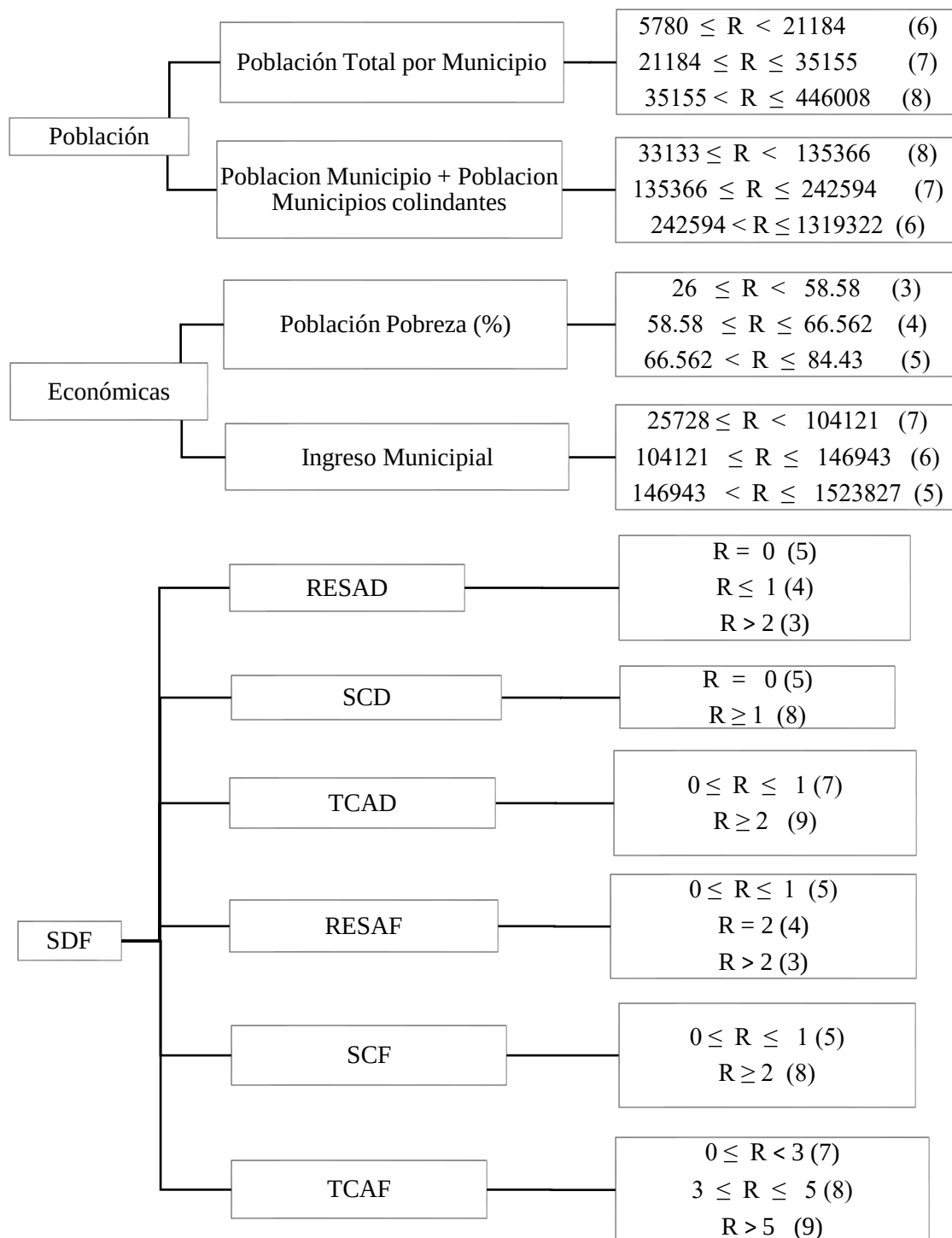
Tabla 2. 1 Categorías y parámetros a investigar para los MAE.

POBLACIÓN	ECONÓMICAS	EN MATERIA DE RSU
• Población Total del municipio (PTM2015) • Población Total de los municipios colindantes (PTMC2015) • Población Total del municipio más municipios colindantes (PTM+MC2015) • Proyección población municipio 2030 (PP2030) • Densidad poblacional (DP2010)	• PIB • Población en situación de pobreza (%) (PSP2010) • Población en situación de pobreza extrema (%) (PE2010) • Ingreso Municipal (IM2014) • Unidades Económicas (UE2008)	• Recolección de RSU (RRSU) • Cantidad de RESAD • Cantidad de SCD • Cantidad de TCAD • Cantidad de SDFD • Cantidad de RESAF • Cantidad de SCF • Cantidad de TCAF • Cantidad de SDFF • Cantidad de SDFT

PIB, Producto Interno Bruto; RESAD, Rellenos Sanitarios Dentro; RESAF, Rellenos Sanitarios Fuera; SCD, Sitios Controlados Dentro; SCF, Sitios Controlados Fuera; SDFD, Sitios de Disposición Final Dentro; SDFF, Sitio de Disposición Final Fuera; SDFT, Sitios de Disposición Final Total; TCAD, Tiraderos a Cielo Abierto Dentro; TCAF, Tiraderos a Cielo Abierto Fuera.

2.3 SELECCIÓN DE MUNICIPIOS REPRESENTATIVOS

A partir de la información documental oficial de cada uno de los parámetros establecidos se realizó un análisis estadístico, para identificar y seleccionar los municipios representativos de los MAE. Se empleó un análisis de clúster jerárquico y ponderación lineal. Primero se efectuó un Análisis de Correlación para identificar la existencia de colinealidad entre los parámetros y descartar los que estuvieran altamente correlacionados. Posteriormente con el programa MINITAB® se hizo un Análisis Descriptivo de cada parámetro, para identificar su tendencia y si había datos atípicos y/o extremos que provocaran que los municipios no pudieran agruparse. Para agrupar los municipios con características semejantes se realizó un Análisis de conglomerados en MINITAB® (Enlace de Ward, Distancia eucladiana cuadrada). Finalmente se aplicó el Análisis de ponderación lineal, para identificar de cada grupo un municipio representativo (con mayor puntaje), con el cual se gestionó realizar estudios de campo. La ponderación de cada subcriterio fue asignada con el fin de encontrar los municipios con mayor número de TCA y que, por su nivel económico y generación de RSU, sea escasa la viabilidad de un RESA, de tal forma que el proyecto de ubicar un RESA intermunicipal represente una opción factible. Los criterios, subcriterios y puntajes considerados se muestran en la figura 2.2 (Mañón-Salas *et. al.*, 2017; Mañón-Salas *et. al.*, 2018).



RESAD, Relleno Sanitario Dentro; RESAF, Relleno Sanitario Fuera; SCD, Sitio Controlado Dentro; SCF, Sitio Controlado Fuera; SDF, Sitio de Disposición Final; TCAD, Tiradero a Cielo Abierto Dentro; TCAF, Tiradero a Cielo Abierto Fuera.

Figura 2. 2 Criterios y subcriterios para análisis de ponderación lineal.

2.4 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL MUNICIPAL DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

En las páginas oficiales virtuales de cada municipio se realizó una revisión referente a su GIRSU, la cual incluyó el marco jurídico en materia de RSU, para identificar los instrumentos legales (reglamentos, planes y/o programas vigentes) con los que cuentan para apoyo del MIRSU; así como sus Bandos Municipales (BM) considerando las etapas: generación de RSU, almacenamiento, limpieza en vías pública, recolección, separación en la fuente, transporte, estaciones de transferencia, tratamiento, disposición final., con el objetivo de identificar las etapas que son atendidas.

2.5 INVESTIGACIÓN DE CAMPO MUNICIPAL DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Se contactó a la persona responsable del MIRSU de cada municipio, la cual podía ser del Departamento de Servicios Públicos, Medio Ambiente y/o Ecología. Se agendó una visita con cada municipio para explicar el proyecto y conocer la disponibilidad para participar; y la investigación del MIRSU se realizó mediante la aplicación de una Cédula de Entrevista (CE) presencial a los responsables del MIRSU de cada municipalidad.

La CE fue elaborada con la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) del Doctorado en Ciencias Ambientales “Tratamiento de Contaminantes y Gestión Ambiental”, clave LGAC-2017-TOLU-DAMB-26 y alumnos de la Maestría en Ingeniería Ambiental y del Doctorado en Ciencias Ambientales del Instituto Tecnológico de Toluca, tomando como base la Guía para la elaboración de PMPGIRSU de la GTZ (Wehenpohl & Hernández, 2006).

Esta CE fue sometida a revisión por miembros de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología aplicada a Residuos Sólidos (SOMERS) y la Red Iberoamericana en Gestión y Aprovechamiento de Residuos (REDIS). La CE está dividida en 5 módulos: Marco legal e Institucional, Económico y Financiero, Barrido, Recolección y Disposición Final; con el fin de cubrir la información básica de cada etapa del MIRSU para estimar indicadores. En la tabla 2.2 se muestran el número de preguntas realizadas para cada etapa.

Tabla 2. 2 Cantidad de preguntas por etapa en la Cédula de Entrevista.

MÓDULO	NÚMERO DE PREGUNTAS
1 Transversales (Marco legal e institucional) (TML)	20
2 Economía y financiamiento (EYF)	7
3 Barrido (B)	13
4 Recolección y transporte (RYT)	38
5 Disposición Final (DF)	35
Total	113

Para evaluar la calidad de los datos recabados en la CE y de los indicadores calculados, se utilizó la metodología propuesta por Turcott-Cervantes (2018), la cual incorpora la evaluación de cada dato de acuerdo a su origen, al nivel de incertidumbre, a la cobertura temporal y a la cobertura espacial (Tabla 2.3). Considerando para la calidad del indicador la puntuación más baja de los datos que lo conformen; cada dato e indicador fue evaluado de esta forma (Ec 1).

$$\text{Calidad de información base} = f \{(\text{origen de los datos}) + (\text{nivel de incertidumbre}) + (\text{cobertura temporal}) + (\text{cobertura espacial})\} \dots\dots\dots \text{Ec 1.}$$

Tabla 2. 3 Clasificación de la calidad para indicadores e información base.

SIGLA	TIPO DE CALIDAD	DESCRIPCIÓN	PUNTUACIÓN*	CARACTERÍSTICAS
A	Alta	Fuente de datos altamente confiable	60-55 puntos	Mediciones directas del dato. Con un nivel de incertidumbre bajo. Cobertura espacial en toda el área evaluada Son datos actualizados (menos de 3 años de antigüedad).
B	Aceptable	Fuente de datos confiable	50-40 puntos	Similar al A, pero con algunas deficiencias: Algunos datos calculados o modelados. Nivel de incertidumbre medio. La cobertura espacial puede corresponder sólo a una parte del área evaluada. Los datos tienen una cobertura temporal regular (más de 3 y hasta 10 años antigüedad).

Tabla 2.3 Clasificación de la calidad para indicadores e información base (continuación).

SIGLA	TIPO DE CALIDAD	DESCRIPCIÓN	PUNTUACIÓN*	CARACTERÍSTICAS
C	Baja	Fuente de datos no confiable	35-20 puntos	Mediciones en su mayoría estimadas o imputadas. Con un nivel de incertidumbre alto. Los datos corresponden a áreas similares o cercanas a la que se está evaluando. La cobertura temporal es mala (más de 10 años de antigüedad).
U	Desconocida	Calidad desconocida	≤15puntos	Si se obtuvo una puntuación igual o menor a 15, o Si uno (o más de uno) de los criterios establecidos es desconocido, o No se evaluó la calidad de los datos.

*Se obtiene con la fórmula:

Calidad de información base= f {(origen de los datos) +(nivel de incertidumbre) +(cobertura temporal) +(cobertura espacial)); donde cada criterio se puede puntuar con 0,5,10 o 15. Si uno o más de los criterios es evaluado con cero puntos, la calidad debe clasificarse como desconocida.

La calidad de los indicadores se obtiene como= (el peor valor de calidad de toda la información base que los integran)

2.6 ESTUDIOS DE CAMPO EN MUNICIPIOS SELECCIONADOS

En los municipios representativos de cada grupo que mostraron disponibilidad se realizaron estudios de composición de RSU en sus SDF, se aplicaron encuestas domiciliarias a la población y para el estudio de las rutas se eligió un municipio. Todos los estudios de campo fueron realizados como parte del Proyecto SEMARNAT-2015-1-263315, denominado “Ubicación de Rellenos Sanitarios Intermunicipales futuros en el Estado de México y Estados aledaños”, financiado por el Fondo Sectorial Ambiental CONACYT-SEMARNAT; y con apoyo de profesores y estudiantes del Instituto Tecnológico de Toluca (ITTol), estudiantes de la Universidad del Valle de Toluca (UTVT) y personal de los Ayuntamientos de los municipios seleccionados.

El método para determinar la composición consistió en conformar una muestra representativa de los RSU de la superficie del SDF, tomando aproximadamente 100 kg en cinco puntos elegidos de manera aleatoria y aplicar el método del cuarteo descrito en la norma NMX-AA-015-1985. De la muestra final de RSU (sobre 50 kg) se clasificaron los subproductos conforme a la norma NMX-AA-022-1985 y una vez clasificados se pesaron por separado, para determinar la composición porcentual (SEMARNAT, 2016). El estudio se realizó en estiaje y lluvias para tener un panorama general de la composición en diferentes épocas del año; agrupándolos en materiales reciclables, orgánicos y otros, con el fin de determinar la proporción de RSU susceptibles a ser valorizados.

La aplicación de Encuestas domiciliarias se realizó por estratos de acuerdo con la población de cada municipio. El documento utilizado para las Encuestas domiciliarias fue elaborado por la LGAC-2017-TOLU-DAMB-26 y alumnos de la Maestría en Ingeniería Ambiental y del Doctorado en Ciencias Ambientales del Instituto Tecnológico de Toluca. La información obtenida de estos estudios servirá para alimentar el SIG que se desarrolla dentro del Proyecto SEMARNAT-2015-1-263315.

Para el Estudio de ruteo se eligió un municipio de acuerdo con su disponibilidad. Se analizaron todas las rutas del municipio utilizando un GPS marca Garmin. El estudio consistió en seguir cada una de las rutas durante un día de trabajo de inicio a fin y durante el trayecto se fue recolectando la siguiente información: número de servicios, tipo de depósito utilizado, peso aproximado, tipo de avenida (pavimento, terracería). Los datos recopilados sirvieron para conocer el balance de las rutas, el grado de aprovechamiento de los camiones recolectores, la intensidad de desplazamiento, el kilometraje recorrido, la eficiencia de los empleados y el consumo de combustible.

2.7 SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE INDICADORES

Con base a la información contestada en las CE aplicadas a los ayuntamientos se seleccionaron los indicadores que pudieran ser calculados para cada etapa (Günther & Hernández, 2006; Turcott-Cervantes, 2018). Las etapas por considerar fueron Barrido, Recolección y Disposición Final, así como las categorías de Indicadores Transversales y Económicos. Con los Indicadores Transversales se realizó el análisis de los instrumentos legales y de gobernanza que tiene los municipios para poder tener una gestión adecuada; con los Indicadores Económicos se estimaron los costos asociados al manejo de los RSU.

Para cada indicador se utilizó la evaluación propuesta por Turcott-Cervantes (2018), la cual establece puntos de referencia externos (benchmarks) y normaliza por semaforización, en tres rangos: 1) Desempeño bueno (verde): cuando el indicador está dentro de los parámetros esperados, 2) Desempeño regular (amarillo): cuando el desempeño es potencialmente problemático o presenta rezagos y 3) Desempeño malo (rojo): indicador en situación crítica o con desempeño altamente problemático. La calidad de cada indicador también fue evaluada (Tabla 2.3) (Turcott-Cervantes, 2018).

Finalmente, los Indicadores Identificados (ID) se compararon con los Indicadores propuestos en la Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos (Günther & Hernández, 2006); para corroborar cuales de los indicadores de la guía de la

SEMARNAT como fuente oficial estén incluidos en la guía que se va a desarrollar, a fin de que la guía pueda ser un instrumento usado en las municipalidades.

2.8 EVALUACIÓN DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Con la aplicación de los indicadores y los estudios en campo, se realizó el diagnóstico del MIRSU de los MAE, el cual permitió conocer la situación de cada uno de ellos. Con la semaforización propuesta para cada indicador se midió y evaluó el cumplimiento del MIRSU, lo que permitió identificar las áreas de oportunidad de las municipalidades. Finalmente, con el análisis de los resultados de la evaluación, se realizó el diagnóstico del MIRSU en los MAE seleccionados, generando un punto de partida que les podría apoyar para tomar acciones específicas para mejorar cada una de las etapas. Los Indicadores de las etapas de barrido, recolección y disposición final se agruparon en Indicadores de desarrollo personal y Aspectos técnicos para su análisis para facilitar su análisis.

2.9 ELABORACIÓN DE GUÍA PRÁCTICA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Con base a los resultados de la evaluación del MIRSU y del diagnóstico en los MAE seleccionados se elaboró una Guía práctica, cuya finalidad es ayudar a las municipalidades a mejorar el desempeño del MIRSU, para que cumplan con los dos objetivos prioritarios “Cuidado de la salud pública y protección del medio ambiente”, optimizando los recursos humanos y económicos (Brunner & Fellner, 2007). La Guía práctica pretende brindar a las municipalidades un apoyo para analizar su MIRSU a través del uso de indicadores, que parten de la información básica que deben tener para cada etapa; así como una evaluación mediante semaforización para identificar el desempeño de cada etapa. Para la presentación de los valores estimados de los indicadores se diseñó un Tablero de resultados (Dashboard).

Esta Guía práctica contiene una lista de publicaciones nacionales en materia de RSU (Tabla 1.8), las cuales pueden tomar como referencia los ayuntamientos, para aplicar estrategias de mejora. En la Guía práctica fueron considerados aspectos de Legislación y Económicos y las etapas de Barrido, Recolección, Tratamiento y Disposición Final.

2.10 APLICACIÓN DE LA GUÍA PRÁCTICA EN TRES MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MÉXICO

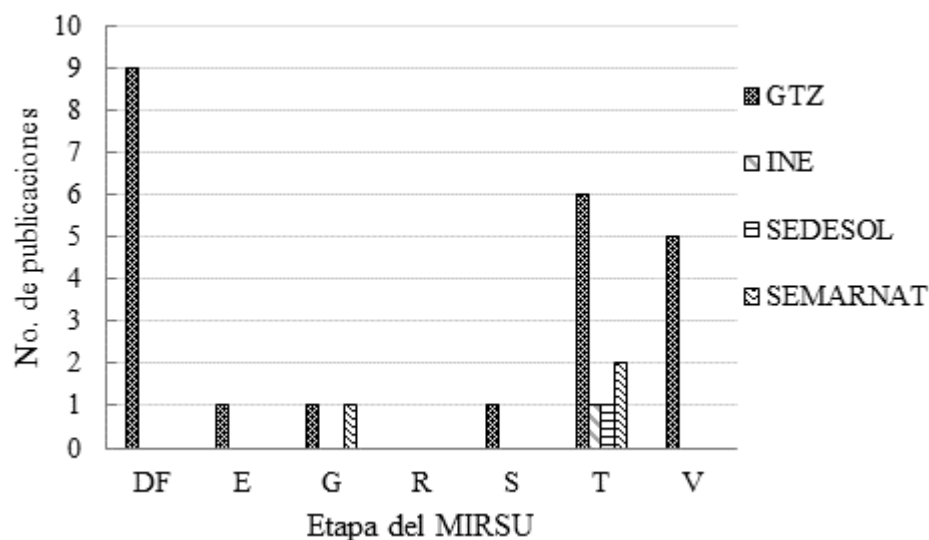
La Guía práctica se aplicó en tres municipios; a fin de evaluar su funcionamiento para la mejora del MIRSU; para ello se eligió un municipio representativo de cada clúster, considerando la disponibilidad a participar y la facilidad para visitarlos. En cada municipio se aplicó la CE, se evaluaron las etapas de su MIRSU a través de los indicadores seleccionados, se elaboró un Tablero de Resultados (Dashboard) para identificar de manera fácil las áreas prioritarias a atender y los datos faltantes; y se realizó su diagnóstico y recomendaciones. Con base a los resultados y recomendaciones, se pretende que los encargados del MIRSU establezcan estrategias y actividades a seguir (como comenzar a registrar los datos) y evalúen periódicamente los indicadores para visualizar su avance.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos en cada una de las etapas desarrolladas durante la investigación: recopilación de información nacional en materia de RSU, identificación de los MAE, selección de municipios representativos, investigación documental municipal del MIRSU, investigación de campo municipal del MIRSU, estudios de campo en municipios seleccionados, aplicación de indicadores, evaluación y diagnóstico del MIRSU y aplicación de la guía práctica.

3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN NACIONAL EN MATERIA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Se realizó la investigación de información nacional documental en materia de RSU, la cual se reporta en la tabla 1.8. Se identificaron un total de 28 publicaciones, las cuales aportan información en su mayoría para la etapa de DF, lo que indica el trabajo realizado para reducir los TCA, destaca la necesidad de documentos enfocados a la etapa de recolección (Figura 3.1).



DF, disposición final; E, económico; G, generación; R, Recolección; S, Social; T, Se incluyen de forma general todas las etapas del MIRSU; V, Valorización.

Figura 3. 1 No. de publicaciones por etapa del MIRSU.

De las publicaciones encontradas el 82.1 % fueron publicadas por diferentes instituciones federales en colaboración con la GTZ entre 1999 y 2012; el 10.7% las publicó la SEMARNAT entre 1999 y el 2015; mientras que la SEDESOL y el INE son las dependencias con menor número de publicaciones con el 3.6%, respectivamente (Tabla 3.1). Destaca que todas las publicaciones son anteriores al año 2012, solo

hay una de la SEMARNAT del 2015 (Guía de diseño para la identificación gráfica del manejo integral de los RSU) que contiene material gráfico sobre la simbología para identificar las distintas categorías de los RSU.

Tabla 3. 1Análisis de las publicaciones en materia de RSU.

DEPENDENCIA	DEPENDENCIA - COLABORACION	NO. PUBLICACIONES	AUTOR (%)	% DEPENDENCIA	ETAPAS CONSIDERADAS	PERÍODO DE PUBLICACIÓN (AÑO)
GTZ	SEGEM-GTZ	9	32.1	82.1	DF / E / G / T / V	1999 - 2012
	SEMARNAT-GTZ	7	25		DF / T	
	GTZ-Gobierno del Estado México,				DF / V	
	Guerrero, Quintana Roo	2	7.1			
	GTZ	2	7.1		DF / T	
	COMIA-GTZ	1	3.6		T	
	SMAGEM-GTZ	1	3.6		S	
INE	SEMARNAT-INE-GTZ	1	3.6	3.6	V	2011
	INE	1	3.6		T	
SEDESOL	SEDESOL	1	3.6	3.6	DF / R / T / V	2001
SEMARNAT	SEMARNAT	1	3.6	10.7	DF / T	1999 - 2015
	SEMARNAT-MIRES	1	3.6		T	
	SEMARNAT-INE	1	3.6		G	

DF, Disposición Final; E, Económico; G, Generación; GTZ, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit; INE, Instituto Nacional de Ecología; ND, No disponible; R, Recolección; S, social; SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social; SEGEM, Gobierno del Estado de México; SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; SMAGEN, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México; T, Todas las etapas del manejo de residuos; V, Valorización.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS MUNICIPIOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se compone de los municipios de la periférica del Estado de México y los municipios colindantes de las Entidades Federativas de Guerrero, Hidalgo, Morelos y Querétaro (Figura 3.2). En la tabla 3.2 se muestran los municipios del Estado de México que colindan con los estados aledaños de Guerrero, Hidalgo, Morelos y Querétaro; y la tabla 3.3 lista los Municipios de los Estados aledaños que colindan con el Estado de México.

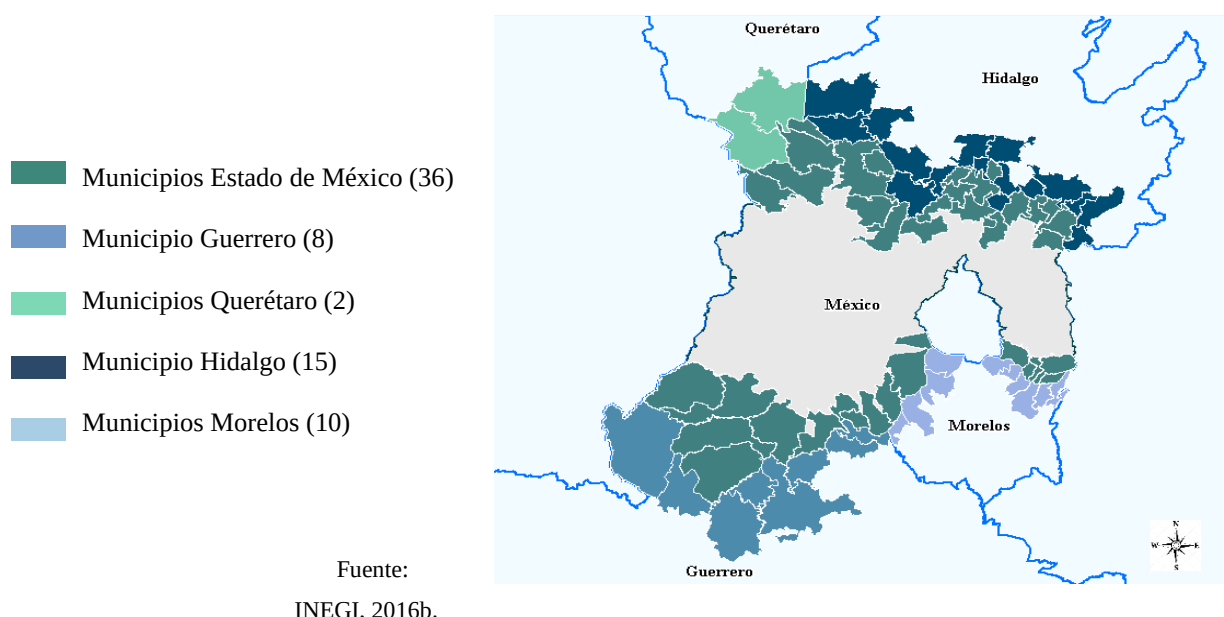


Figura 3. 2 Municipios del Área de Estudio.

El PIB no fue considerado, ya que no fue posible encontrar datos para todos los municipios, especialmente para los de Michoacán y Guerrero.

Tabla 3. 2 Municipios del Estado de México que colindan con Estados aledaños.

GUERRERO	HIDALGO	MORELOS	QUERÉTARO	
Amatepec	Apaxco	Tecámac	Atlautla	Acambay
Ixtapan de la Sal	Axapusco	Temascalapa	Ecatzingo	Aculco
Sultepec	Chapa de Mota	Tepotzotlán	Xalatlaco	Polotitlán
Tejupilco	Huehuetoca	Tequixquiac	Juchitepec	Temascalcingo
Tlatlaya	Hueypoxtla	Zumpango	Malinalco	
Tonatico	Jilotepec	Nopaltepec	Ocuilan	
Zacualpan	Soyaniquilpan	Otumba	Ozumba	
Zumpahuacán	de Juárez	Polotitlán	Tepetlixpa	
Luvianos	Villa del Carbón		Zumpahuacán	

Tabla 3. 3 Municipios de los Estados aledaños que colindan con el Estado de México.

GUERRERO	HIDALGO	MORELOS	QUERÉTARO
Arcelia	Ajacuba	Tepeapulco	Atlatlahucan
Cutzamala de Pinzón	Atotonilco de Tula	Tepeji del Río de	Coatlán del Río
General Canuto A.	Chapantongo	Ocampo	Cuernavaca
Neri	Emiliano Zapata	Villa de Tezontepec	Huitzilac
Pedro Ascencio	Huichapan	Tizayuca	Miacatlán
Alquisiras	Nopala de	Tlanalapa	Ocuituco
Pilcaya	Villagrán	Tolcayuca	Tetela del
Teloloapan	San Agustín	Tula de Allende	Volcán
Tetipac	Tlaxiaca	Zempoala	Tlalnepantla
Tlalchapa			Totolapan
			Yecapixtla

3. 3 SELECCIÓN DE MUNICIPIOS REPRESENTATIVOS

De acuerdo con el Análisis de Correlación (Anexo B), para evitar colinealidad se descartaron los parámetros: Unidades económicas (UE2008), Sitios de disposición total, total dentro y total fuera (SDFD, SDFF y SDFT) por estar altamente correlacionada con Población total de los municipios colindantes (PTMC2015), Población total de los municipal (PTM2015), Población en situación de pobreza (PSP2010), Tiraderos a cielo abierto total y fuera (TCAT; TCAF) (Tabla 3.4).

Una vez eliminados los parámetros con alta correlación, se obtuvo el listado final a considerar para el Análisis de Conglomerados que se presenta en la tabla 3.5.

Tabla 3. 4 Correlación de parámetros.

PARAMETRO DESCARTADO	PARAMETRO CORRELACIONADO	CORRELACIÓN
UE2008	PTM2015	0.892
RESAT (D+F)	RESAF	0.967
TCAT (D+F)	TCAF	0.903
SCT (D+F)	SCF	0.972
IM 2014	PTM2015	0.967

IM, Ingreso municipal; PTM, Población total municipal; RESAT, Rellenos sanitarios totales; RESAF, Rellenos sanitarios fuera; SCF, Sitios controlados fuera; SCT, Sitios controlados totales; TCAT, Tiraderos a cielo abierto total; TCAF, Tiraderos a cielo abierto fuera; UE, Unidades económicas.

Tabla 3. 5 Categorías y parámetros analizados para selección de municipios.

POBLACIÓN	ECONÓMICAS	MATERIA DE RSU
Población Total del municipio (PTM2015)	Población en situación de pobreza (%) (PSP1010)	Cantidad de RESAD Cantidad de SCD Cantidad de TCAD

RESAD, Rellenos Sanitarios Dentro; SCD, Sitios Controlados Dentro; TCAD, Tiraderos a Cielo Abierto Dentro.

En el Análisis Descriptivo de cada parámetro se determinaron los estadísticos: Media, Desviación estándar, Varianza, Rango y Normalidad (Tabla 3.6). Para las categorías Población y Económica, los parámetros de PTM2015, DP2010 e IM2014 fueron los que mostraron una mayor dispersión de acuerdo con la desviación estándar obtenida, lo que revela la heterogeneidad del área de estudio.

Tabla 3. 6 Análisis Descriptivo de parámetros MAE.

POBLACIÓN	MEDIA	σ	VARIANZA	MIN	MAX	NORMALIDAD	NORMAL
PTM2015	51106.00	75354.00	5678263199.00	5780	446008	P < 0.005	NO
PSP2010 (%)	60.68	13.17	173.56	26	84.43	P = 0.052	SI
RESAD	0.21	0.59	0.34	0	4	P < 0.005	NO
SCD	0.13	0.34	0.11	0	1	P < 0.005	NO
TCAD	0.70	1.61	2.57	0	13	P < 0.005	NO
RESAF	2.01	1.92	3.69	0	7	P < 0.005	NO
SCF	1.30	1.38	1.89	0	5	P < 0.005	NO
TCAF	4.46	2.92	8.54	0	12	P = 0.029	SI

PSP. Población en situación de pobreza. PTM. Población total municipal; RESAD. Rellenos sanitarios dentro; RESAF. Rellenos sanitarios fuera; SCD. Sitios controlados dentro; SCF. Sitios controlados fuera; TCAD. Tiraderos a cielo abierto dentro; TCAF. Tiraderos a cielo abierto fuera.

El parámetro de PSP2010 es el que presentó una menor variabilidad con una Media del 60.68%, la cual indica la carencia económica y, comparada con la Media nacional de 46.2% denota que más de la mitad de los MAE están considerados en situación de pobreza (CONEVAL, 2016).

En materia de RSU, los SDFD de los municipios mostraron una menor variabilidad y el promedio no alcanzó la unidad (Tabla 3.6), lo que muestra que una gran cantidad de municipios no cuenta con un lugar para disponer sus RSU y tienen que desplazarlos a municipios aledaños o que sus SDF no están registrados por ser sitios en su mayoría clandestinos y por ende pertenecer a la categoría de TCA, siendo este tipo de SDF el que tuvo la mayor cantidad contabilizada, detectando a Cuernavaca, Morelos (Sureste) como el municipio con mayor número de TCA. Referente a los SDF que se encuentran fuera del municipio la dispersión fue mayor y el promedio se encuentra de uno a tres sitios, reflejando nuevamente la mayor cantidad de TCA, contabilizando hasta 12 para Zempoala, Hidalgo (Noreste); 10 para Axapusco, Estado de México (Noreste); 10 para Ajacuba, Hidalgo (Norte), y 10 para Cuernavaca, Morelos (Sureste); nueve para Totolapan, Morelos (Este) y Luvianos, Estado de México (Suroeste), respectivamente. La cantidad de RESAF promedio incrementó comparada con los RESAD de menos de uno a casi dos, contabilizando hasta siete en las afueras de los municipios de Axapusco, Estado de México. y Yecapixtla, Morelos (Noreste y Este respectivamente). Los municipios extremos de cada parámetro se muestran en la tabla 3.7, por la cantidad de ingresos que reciben son los municipios de

Cuernavaca, Morelos y Tecámac, Estado de México, y por la cantidad de RESA y TCA dentro del municipio Cuernavaca, Morelos.

Tabla 3. 7 Municipios extremos.

PARÁMETRO (unidades)	MUNICIPIO	ENTIDAD	VALOR
IM2014 (MXP)	Cuernavaca	Morelos	\$ 1,523,827,000
IM2014 (MXP)	Tecámac	EdoMex	\$ 1,319,996,000
PTM 2015 (hab)	Tecámac, Cuernavaca, San Juan del Río, Zumpango, Huehuetoca, Tizayuca, Tula de Allende.	EdoMex, Morelos, Qro., Hgo.	446008, 366321, 268408, 199069, 128486, 119442, 109093
PSP2010 (%)	Cuernavaca	Morelos	26 %
RESAD (No.)	Cuernavaca	Morelos	4
TCAD (No.)	Cuernavaca	Morelos	13
TCAD (No.)	Temascalapa	EdoMex	3
SCD (No.)	Tepeji del Río de Ocampo	Hidalgo	1

PSP. Población en situación de pobreza. PTM. Población total municipal; RESAD. Rellenos sanitarios dentro; RESAF. Rellenos sanitarios fuera; SCD. Sitios controlados dentro; SCF. Sitios controlados fuera; TCAD. Tiraderos a cielo abierto dentro; TCAF. Tiraderos a cielo abierto fuera.

En la Figura 3.3 se presenta la distribución de los conglomerados de los MAE y en el Anexo A su dendograma. El Análisis de Conglomerados arrojó tres grupos con base a sus características (Anexo D).

Los resultados del análisis de ponderación lineal para los tres conglomerados se muestran en el Anexo D. La puntuación se calculó mediante la técnica de ponderación lineal, para cada uno de los municipios (Tabla 3.8 y Figura 2.3). El análisis de conglomerados englobó tres grupos de acuerdo con su población y nivel económico, quedando en un grupo la mayoría de los municipios de la parte sur del Estado de México y Guerrero lo que evidencia el nivel socioeconómico y de desarrollo que tienen las entidades (Clúster 1).

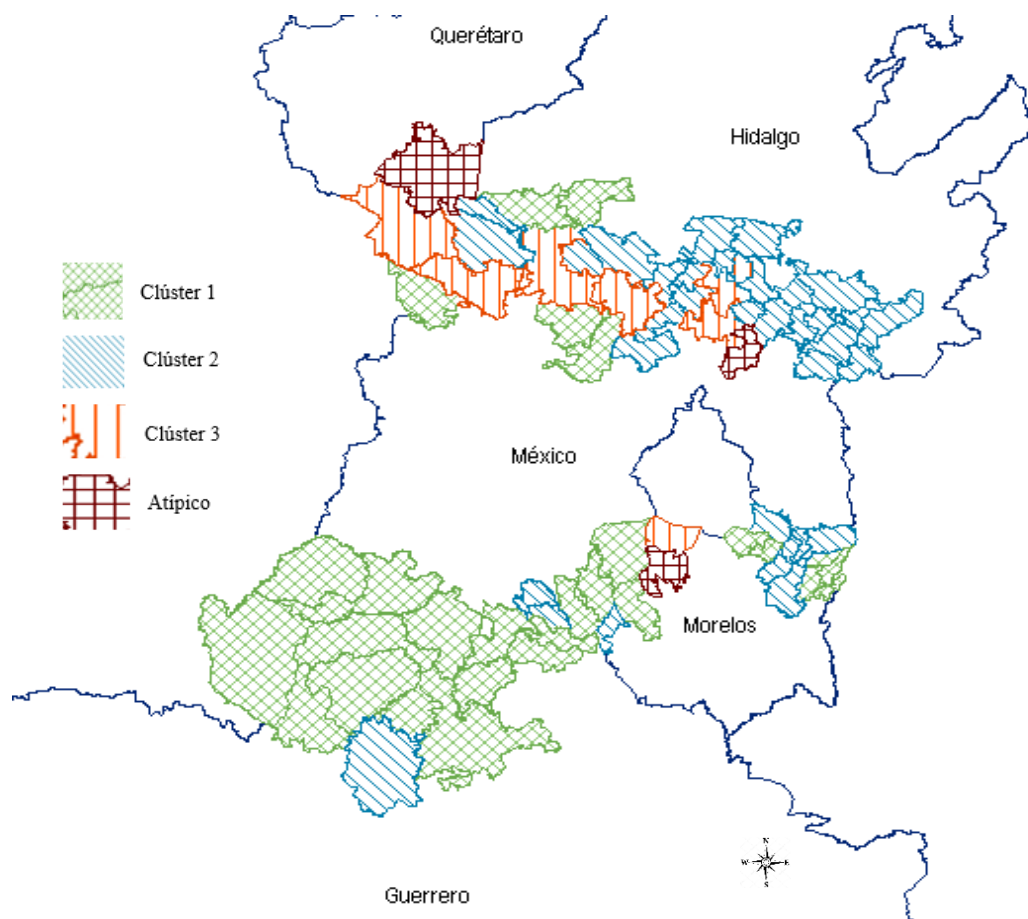


Figura 3. 3 Conglomerados de los municipios del área de estudio.

Los municipios representativos de los conglomerados se eligieron con base al puntaje obtenido, cercanía al ITTol y facilidades brindadas por los ayuntamientos para realizar estudios de composición de RSU, encuestas en casa-habitación y estudios de rutas de recolección (tabla 3.8).

Tabla 3. 8 Municipios representativos por conglomerado.

ENTIDAD	NOMBRE MUNICIPIO	PUNTUACIÓN	CONGLOMERADO
Estado de México	Tejupilco	203	1
Estado de México	Villa del Carbón	200	1
Estado de México	Zacualpan	190	1
Guerrero	Pilcaya	198	1
Edo. Mex.	Tequixquiac	208	2
Estado de México	Axapusco	193	2
Estado de México	Atlautla	191	2
Estado de México	Zumpango	208	3
Morelos	Huitzilac	195	3
Estado de México	Xalatlaco	192	3

Se encontró que de las cinco EAE, Querétaro es el único estado que no tiene TCA y sus municipios no se encuentran en los primeros 20 lugares, lo cual se debe a que un municipio fue detectado como extremo y el otro podría atribuirse a que está fuera de la media de las variables que se analizaron; por su parte los municipios con el mayor puntaje se encuentran en Morelos (222), Hidalgo (216), Estado de México (213) y Guerrero (206) en diferentes conglomerados, lo cual indica que a pesar de las diferencias poblacionales y socio-económicas, el problema de la disposición inadecuada de los RSU se presenta en los diferentes municipios, teniendo áreas de oportunidad en las cuales trabajar para eliminar los TCA. El análisis descriptivo de los parámetros de cada clúster, se muestran en la tabla 3.9, en la cual se observa que el clúster 2 es el que tiene mayor cantidad de TCA y que el parámetro PTM 2015 es el único que sigue una tendencia.

Comparando las Medias de cada clúster, se observa que el Clúster 3 agrupa a los municipios de mayor población y mayor cantidad de SCD, SCF y RESA F, el Clúster 2 es el siguiente en población e incluye a los que tienen más RESAD, TCAD y TCAF, y el Clúster 1 a los de menor ingresos económicos y menor población; así como menor cantidad de SCD, SDF, RESAD, RESAF y una cantidad intermedia de TCAD y TCAF entre los otros dos clústers (Tabla 3.10); en cuanto a la PSP el clúster 1 tiene el porcentaje más alto con la menor PTM2015 lo que puede ser indicativo de estar conformado por poblaciones rurales en contraste con el clúster 3, con poblaciones urbanas con un mayor desarrollo y un mejor ingreso per cápita (Sarra *et al.*, 2017); con esto se cumple con el objetivo de la técnica de clúster, la cual busca agrupar elementos tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos (Silberschatz *et al.*, 2002).

Tabla 3. 9 Análisis descriptivo de parámetros por clúster.

PARÁMETRO	CLÚSTER 1			CLÚSTER 2			CLÚSTER 3		
	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX
PTM 2015	5,780	25,261	77,799	8,960	38,136	128,486	19,231	74,290	199,069
PTM + PMC 2015	34,937	197,433	699,585	33,133	270,857	1,319,322	260,791	597,269	1,181,592
PSP (%) 2010	65.57	72.13	84.43	34.09	53.96	70.45	40.53	60.1	76
RESAD	0	0	0	0	0.3125	1	0	0	0
RESAF	0	1.33	6	0	2.281	7	0	2.375	4
SCD	0	0	0	0	0	0	1	1	1
SCF	0	0.963	4	0	1.5	5	0	1.5	5
TCAD	0	0.5185	1	0	0.656	3	0	0	0
TCAF	0	4.185	9	0	4.813	12	2	4.125	8

PMC. Población municipios colindantes; PSP. Población en situación de pobreza. PTM. Población total municipal; RESAD. Rellenos sanitarios dentro; RESAF. Rellenos sanitarios fuera; SCD. Sitios controlados dentro; SCF. Sitios controlados fuera; TCAD. Tiraderos a cielo abierto dentro; TCAF. Tiraderos a cielo abierto fuera.

Tabla 3. 10 Comparación de las medias de cada clúster.

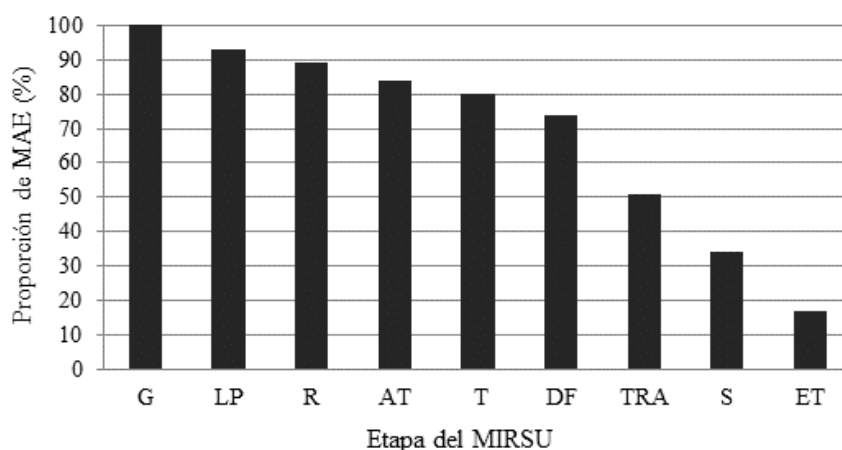
PARÁMETRO	MAYOR	PROMEDIO	MENOR
PTM 2015	3	2	1
PTM + PMC 2015	2	3	1
PSP (%) 2010	1	3	2
RESAD	2		1 y 3
RESAF	3	2	1
SCD	3		1 y 2
SCF	2 y 3		1
TCAD	2	1	3
TCAF	2	1	3

PMC. Población municipios colindantes; PSP. Población en situación de pobreza. PTM. Población total municipal; RESAD. Rellenos sanitarios dentro; RESAF. Rellenos sanitarios fuera; SCD. Sitios controlados dentro; SCF. Sitios controlados fuera; TCAD. Tiraderos a cielo abierto dentro; TCAF. Tiraderos a cielo abierto fuera.

3. 4 INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL MUNICIPAL DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Del GIRSU se revisó la existencia de reglamentos y planes o programas en materia de RSU, así como si se consideraban los residuos de hospitales y de unidades económicas como mercados, tiendas, industrias, etc.(GEM, 2020).

En la revisión documental del MIRSU realizada en los BM de los 70 municipios, se encontró cada una de las diferentes etapas que son consideradas. Cabe resaltar que ninguno profundiza en ellas y en muchos de los casos solo se mencionan brevemente (Figura 3.4).



AT. Almacenamiento temporal; DF. Disposición final; ET. Estaciones de transferencia; G. Generación; LP. Limpia vías públicas; MAE. Municipios del área de estudio; MIRSU. Manejo integral de residuos sólidos urbanos; R. Recolección; S. Separación en la fuente; T. Transporte; TRA. Tratamiento.

Figura 3. 4 Etapas del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos consideradas en los Bandos municipales.

Se muestra en la figura 3.4 que el 100% de los municipios tienen contemplada la generación de RSU, lo cual no necesariamente significa que tengan estudios específicos de acuerdo con la normatividad vigente; el 93% menciona la obligación del ayuntamiento y de la sociedad en la limpieza de las vías públicas; en cuanto a el almacenamiento temporal, la recolección y el transporte más del 80% lo incluyen, disminuyendo al 74% los que refieren a la disposición final y al 51% el tratamiento de RSU y tan solo el 34% menciona la separación desde el origen. Estos resultados muestran la tendencia en las prioridades del MIRSU de los municipios, realizar la recolección y disponerla, dejando al final el tratamiento y la separación (Wilson *et al.*, 2012). De acuerdo con Agovino *et al.* (2018); Sarra *et al.* (2017); Venegas Sahagún *et al.* (2014) la carencia de políticas públicas, instrumentos regulatorios tienen como consecuencia una deficiente GIRSU.

En la Tabla 3.11 se muestra un análisis de la información general contenida en los BM del total de MAE por entidad. Los BM del Estado de Guerrero fueron los que mayormente consideran cada una de las etapas del MIRSU (78%), seguido por Morelos (76%). El Estado de México tiene grandes oportunidades en cuanto a considerar en sus BM la separación de los RSU desde el origen (28%), lo cual es contradictorio si se considera que desde el 2011 se promulgo la Norma Técnica TEA-013-SMA-RS-2011, que es de observancia obligatoria para todos los generadores de RSU y de manejo especial en el territorio del Estado de México y, que establece las especificaciones para la separación en la fuente de origen, almacenamiento separado y entrega separada al servicio de recolección (GEM, 2011).

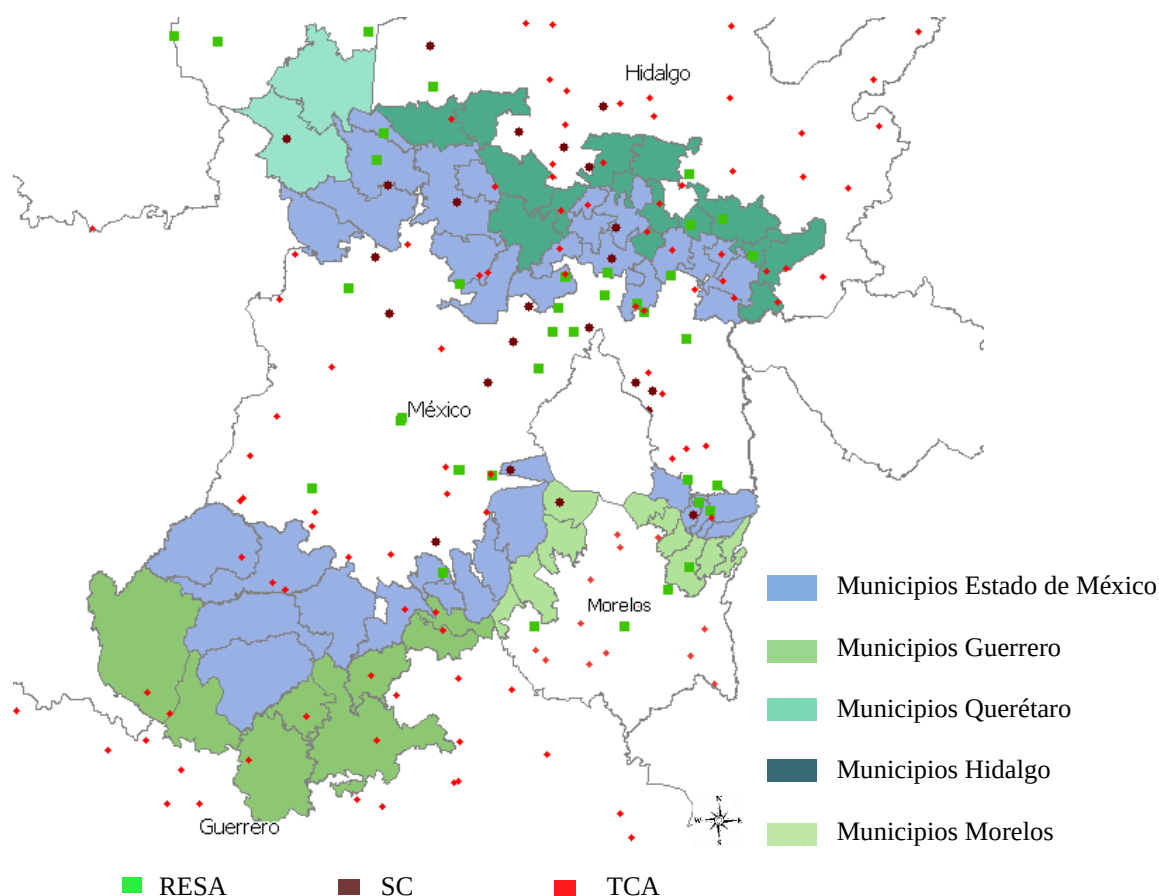
Tabla 3. 11 Etapas del Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos consideradas en los Bandos Municipales.

ENTIDAD	G	AT	LP	R	S	T	ET	TRA	DF
MAE	100%	84%	93%	89%	34%	80%	17%	51%	74%
Estado de México	100%	86%	100%	94%	28%	81%	11%	42%	78%
Guerrero	100%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
Hidalgo	100%	93%	86%	79%	36%	71%	7%	57%	50%
Morelos	100%	80%	100%	100%	20%	100%	10%	70%	100%
Querétaro	100%	50%	50%	50%	50%	50%	0%	0%	50%

AT. Almacenamiento temporal; DF. Disposición final; ET. Estaciones de transferencia; G. Generación; LP. Limpia vías públicas; MAE. Municipios del área de estudio; R. Recolección; S. Separación en la fuente; T. Transporte; TRA. Tratamiento.

Ningún BM menciona el SDF que utiliza para disponer sus RSU, sin embargo, en la figura 3.5 se muestran los SDF que se tienen registrados en el INEGI para las EAE (INEGI, 2016b). Con base en la figura 3.5 no se puede precisar en que SDF dispone cada uno de los municipios, pero se puede cuantificar el número de cada tipo de SDF que tiene cada entidad y la SEMARNAT también reporta el número total

de SDF registrados por entidad, aunque tampoco indica en que municipio se encuentra o que municipios depositan en cada uno de ellos.



Fuente: Adaptado de INEGI, 2016b.

Figura 3. 5 Ubicación de Sitios de Disposición Final en los municipios del área de estudio.

En la tabla 3.12 se concentra esta información, donde destaca el Estado de México con la mayor cantidad de RESA y el que menos tiene es Guerrero; y en cuanto a TCA el Estado de México e Hidalgo reportan la mayor cantidad; y Querétaro que tiene dos TCA reportados por la SEMARNAT, solo uno se encuentra en el mapa del INEGI (INEGI, 2016b; SEMARNAT, 2014). El motivo de las diferencias entre los años reportados no es indicado en las fuentes oficiales, sin embargo, se pueden atribuir a que los sitios llegan al final de su vida útil, son clausurados, saneados o no se reportan. Estos datos evidencian el lento avance que se tiene en la inversión de RESA que cumplan con la normatividad, la necesidad de acciones que

erradiquen los TCA así como la brecha existente entre países desarrollados y países en vías de desarrollo (Elsaid & Aghezzaf, 2018; Tello-Espinoza, *et al.*, 2010).

Tabla 3. 12 Cantidad de SDF en las Entidades del Área de Estudio.

Estados	SEMARNAT (2014)			INEGI (2016b)		
	No. RESA	No. SC	No. TCA	No. RESA	No. SC	No. TCA
Estado de México	28	18	42	27	17	41
Guerrero	2	1	77	2	1	75
Morelos	4	1	13	4	1	13
Hidalgo	5	9	43	5	7	40
Querétaro	9	5	2	9	4	1

RESA. Relleno sanitario; SC. Sitio controlado; TCA. Tiradero a cielo abierto

Adicionalmente se encontró que algunos BM incluían información referente al manejo de los residuos generados por hospitales, comercios, mercados, industrias (unidades económicas); del total de los municipios el 23% contempla a los hospitales y el 49% a otras unidades económicas. Referente a los hospitales se menciona que deben contar con los incineradores necesarios para destruir sus residuos y/o contratar a una compañía adecuada que preste el servicio, sobre las UE pequeñas que deben tener al menos un bote para disponer sus RSU y los pocos que mencionan a las grandes industrias, indican que éstas deben contratar los servicios de empresas que cumplan con la normatividad vigente. El 75% de los municipios de Guerrero incluyen en sus BM tanto a los hospitales como a las UE, por el contrario, ninguno de los dos municipios de Querétaro los incorpora; y el Estado de México de los 36 MAE, solo 7 incluyen hospitales y 19 mencionan algún tipo de UE (Tabla 3.13). Esto indica la necesidad de instrumentos como programas y/o reglamentos específicos para el GIRSU, en los cuales se profundice en cada uno de los diferentes aspectos y se incluya toda la información relevante para su buen desempeño (Venegas Sahagún *et al.*, 2014) (Tabla 3.13).

Tabla 3. 13 Municipios del área de estudio que consideran a los Hospitales y Unidades económicas.

ENTIDAD	NO. MUNICIPIOS	HOSPITALES	UE
Municipios Área de Estudio	70	23%	49%
Estado de México	36	19%	53%
Guerrero	8	75%	75%
Hidalgo	14	7%	36%
Morelos	10	20%	40%
Querétaro	2	0%	0%

UE: Unidades Económicas

3.5 INVESTIGACIÓN DE CAMPO MUNICIPAL DEL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Se realizó la investigación del responsable del MIRSU de cada ayuntamiento y se contactó vía telefónica para presentar el proyecto y solicitar una visita al municipio para aplicación de una CE. De los 70 municipios, 66 contestaron la CE, dos no aceptaron contestarla (Tecámac y Tepotzotlán, Estado de México), y dos no aceptaron la visita (Tlalchapa, Gro. y Tétela del Volcán, Mor.). La cantidad de CE aplicadas por entidad se muestra en la tabla 3.14.

Tabla 3. 14 Contacto a Municipios del área de estudio y aplicación de Cedula de encuesta.

ENTIDAD	ESTATUS	CANTIDAD
Estado de México	CE aplicada	34
	No contestaron CE	2
Guerrero	CE aplicada	7
	No contestaron CE	1
Hidalgo	CE aplicada	14
	No contestaron CE	0
Morelos	CE aplicada	9
	No contestaron CE	1
Querétaro	CE aplicada	2
	No contestaron CE	0

CE. Cédula de Entrevista

De las preguntas incluidas en la CE, los responsables del MIRSU en los municipios visitados respondieron el 54% en promedio de éstas. Al realizar el análisis por grupos, el Clúster 3 fue el que más respondió (61%), seguido del Clúster 1 (55%) y finalmente el Clúster 2 (52%) con lo cual se puede inferir un mejor control al tener mayor disponibilidad de datos (Tabla 3.15) puesto que “if you can’t measure it, you can’t manage it” (si no puede medirlo, no puede administrarlo) (Velis & Brunner, 2013).

Tabla 3. 15 Número de preguntas contestadas por los municipios encuestados.

Módulo		No. TP	Municipios Área de Estudio		CLÚSTER 1		CLÚSTER 2		CLÚSTER 3		ATÍPICOS	
			PPC	% PC	PPC	% PC	PPC	% PC	PPC	% PC	PPC	% PC
Etapas	TP	113	60.86	54%	62.44	55%	59.28	52%	68.38	61%	7.00	35%
1	TML	20	8.40	42%	8.48	42%	8.31	42%	9.00	45%	3.67	52%
2	EYF	7	4.49	64%	4.56	65%	4.47	64%	4.63	66%	6.67	51%
5	B	13	7.97	61%	8.37	64%	7.69	59%	8.25	63%	17.67	46%
3	RYT	38	25.69	68%	27.74	73%	24.00	63%	28.50	75%	8.33	24%
4	DF	35	14.31	41%	13.30	38%	14.81	42%	18.00	51%	7.00	35%

B. Barrido; DF. Disposición Final; EYF. Economía y Financiamiento; PC. Porcentaje preguntas contestadas; PPC. Promedio preguntas contestadas; RYT. Recolección y Transporte; TML. Transversales Marlo Legal; TP. Total de preguntas.

Al analizar la cantidad de respuestas en cada una de las etapas consideradas se observa mayor participación en el módulo Economía y Fiannciamiento, y en Recolección, lo cual podría ser indicio de un mayor conocimiento y control de dichas áreas; mientras que para DF y lo referente a marco legal e institucional, en donde se obtuvo menor cantidad de respuestas y se carece de dicha información. A pesar de que la legislación nacional mexicana establece la obligatoriedad de que cada municipio cuente con su planeamiento para la Gestión de residuos (DOF, 2003), no existe a nivel local en ninguno de los municipios estudiados, y menos del 50% cuenta con un plan publicado a nivel superior (estatal). Diversos autores han descrito la importancia de una planificación adecuada para mejorar el funcionamiento del servicio de MSWM, como en el caso de Kunning, en China (Wilson *et al.*, 2012) o el más cercano de Guadalajara en México (Wilson *et al.*, 2015a) (Figura 3.6).

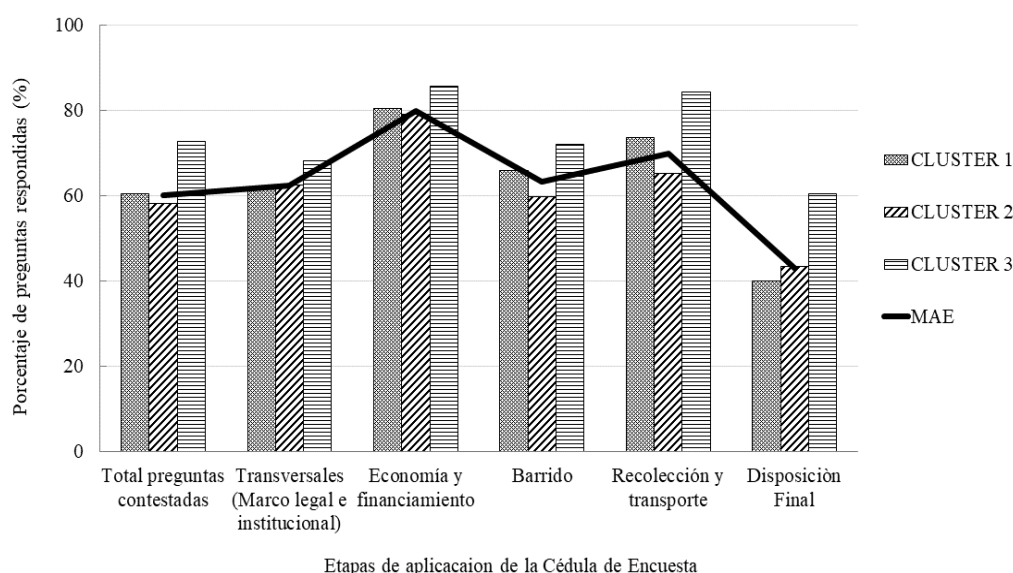


Figura 3. 6 Respuestas contestadas en cada clúster por etapa del MIRSU.

En la calidad de las respuestas obtenidas se observa que en conjunto solo el 5% de ellas son altamente confiables, el 43.28% son confiables y un 3.65% carece de confiabilidad. El resto tiene Calidad desconocida, es decir no pudo ser evaluada debido a que fueron preguntas sin contestar. En el comportamiento por Clúster, el 3 mostró una ligera mayor cantidad de preguntas con calidad A, B y C, así como menor cantidad de U debido a que fueron los municipios que mayor cantidad de respuestas dieron, por su parte los municipios extremos tuvieron en su mayoría respuestas con calidad B (Tabla 3.16). La escasez y deficiente calidad de la información disponible es de los principales retos para mejorar el GIRSU. Los municipios son clave para recolectar y analizar los diversos datos necesarios para alcanzar una GIRSU adecuada (Agovino *et al.*, 2018). Sin embargo, al no disponer de métodos validados

y armonizados para su obtención y procesamiento, la información existente es heterogénea, y dificulta su utilización (De Clercq & Hannequart, 2010; Rodríguez-Hurtado *et al.*, 2008). Para ello son necesarias herramientas que ayuden a recopilar y sistematizar de manera coherente su información, para después evaluar y mejorar todos los aspectos, técnicos y de gobernanza del sistema (Olay-Romero *et al.*, 2020; Turcott Cervantes *et al.*, 2020).

Tabla 3. 16 Calidad de respuesta MAE y clúster.

No. Municipios	Clúster	Calidad A	Calidad B	Calidad C	Calidad U
27	1	5.05%	44.92%	3.40%	46.63%
32	2	5.20%	41.76%	3.80%	49.24%
8	3	5.96%	49.53%	4.09%	40.42%
3	Extremos	3.74%	28.35%	3.12%	64.80%
70	Municipios Área de Estudio	5.05%	44.92%	3.40%	46.63%

A. Alta; B. Aceptable; C. Baja; U. Desconocida

3. 6 ESTUDIOS DE CAMPO EN MUNICIPIOS SELECCIONADOS

Se realizaron estudios de composición de RSU en los SDF de tres municipios, de encuestas casa-habitación en dos municipios y de rutas de recolección en un municipio. Dichos estudios permitieron conocer y analizar el MIRSU a mayor profundidad y sentar las bases para la elaboración de la Guía práctica.

3.6.1 Estudios de caracterización en Sitios de Disposición Final

Los tres municipios seleccionados fueron Villa del Carbón, Xalatlaco y Tequixquiac Estado de México; y se visitaron en época de lluvias y estiaje para realizar estudios de caracterización de RSU en sus SDF. En la figura 3.7 se muestra la composición de RSU determinada en cada uno de los SDF, de acuerdo con los datos obtenidos no hay una tendencia que indique algún incremento en los materiales reciclables de acuerdo con la época (lluvias o secas). La diferencia más notable entre lluvias y secas fue en el municipio de Tequixquiac, Estado de México en la categoría otros, se requieren de mayor número de muestreos para identificar la causa, sin embargo, los materiales reciclables se mantienen aproximadamente al 30%. La composición promedio de todos los muestreos fue 51.6% de materiales valorizables, con lo cual se corrobora que estos municipios se podrían reducir a la mitad la cantidad de RSU dispuestos. En cuanto al material orgánico el porcentaje continua contribuyendo con un porcentaje importante al igual que en otras ciudades como: Cartagena, Colombia (77.6%), Baja California Norte, México (36.25%),

Zinacantepec, México (56.72%) y Morelia, México (62.8%) de acuerdo a lo reportado por Hernández-Berriel *et al.* (2016).

Existen diferencias entre los municipios de cada Clúster y entre los diferentes muestreos realizados en un mismo SDF, donde la mínima cantidad de materiales valorizables encontrada fue 36.7% y el máximo fue 69.0%. Cabe mencionar que en estos SDF se encontraron establecidos segregadores primarios (pepenadores) del sector informal y semiformal. En el sitio con el menor porcentaje contabilizado de materiales valorizados (Xalatlaco, Estado de México), el grupo de segregadores primarios previamente ya habían realizado trabajo de pepena, y en el SDF con mayor porcentaje de materiales valorizados se les pidió que antes de realizar su selección se permitiera realizar el estudio de caracterización, la diferencia muestra la cantidad de materiales que se están separando, lo cual beneficia a los segregadores como fuente de ingresos y al medio ambiente, dado que se disminuye la cantidad de RSU dispuestos (Figura 3.7) (Macht, 2012). Sin embargo la inclusión del sector informal es difícil de realizar aún en países desarrollados como España (Munizaga, 2016).

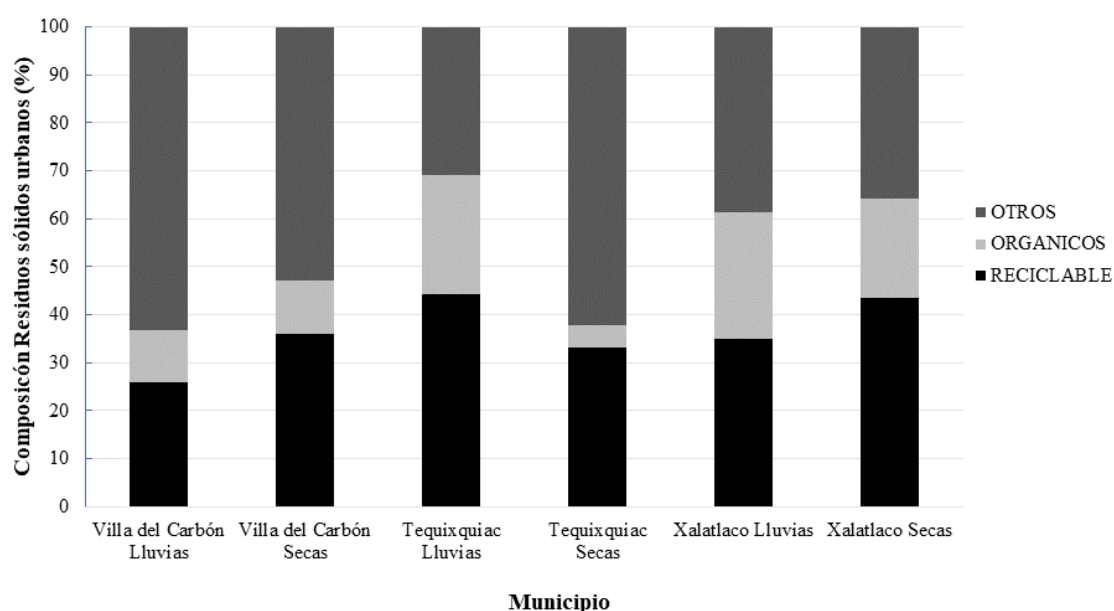


Figura 3. 7 Composición de residuos sólidos urbanos de los municipios seleccionados.

3.6.2 Encuestas casa-habitación

Los municipios donde se aplicaron las encuestas domiciliarias fueron Tequixquiac, Estado de México y Pilcaya, Guerrero (Tabla 3.17); en el primero solo fue encuestada la cabecera municipal y en el municipio de Pilcaya se encuestó la cabecera y todas sus localidades.

Tabla 3. 17 Municipios encuestados.

MUNICIPIO	NÚMERO HABITANTES	NÚMERO LOCALIDADES	ÁMBITO	NÚMERO ENCUESTAS	ZONA ENCUESTADA
Tequixquiac	36902	13	R y 2U	66	CM
Pilcaya	12900	21	R	381	CM y 20 L

CM, Cabecera municipal; L, Localidades; R, Rural; U, Urbana.

El municipio de Pilcaya, Guerrero cuenta con 21 localidades que, de acuerdo con la CONAPO están catalogadas como media, alta y muy alta marginación (Tabla 3.18). En la figura 3.8 se muestra la distribución de las localidades y su grado de marginación.

Tabla 3. 18 Grado de marginación en localidades Municipio Pilcaya, Guerrero.

GRADO DE MARGINACIÓN						
MEDIO	ALTO					MUY ALTO
Crucero de Grutas	El Transformador	Cuitlapa	El Platanar	El Uvalar	Nombre de Dios	Chichila
La Concepción	Cacahuamilpa	El Bosque	El Sauz	Juchimilpa	Piedras Negras	
Pilcaya	Chimaltitlan	El Mogote	Amatitlán	Los Sauces	Santa María	
		Sta. Teresa	Tecuanipa			

Fuente: SEDESOL, 2010.

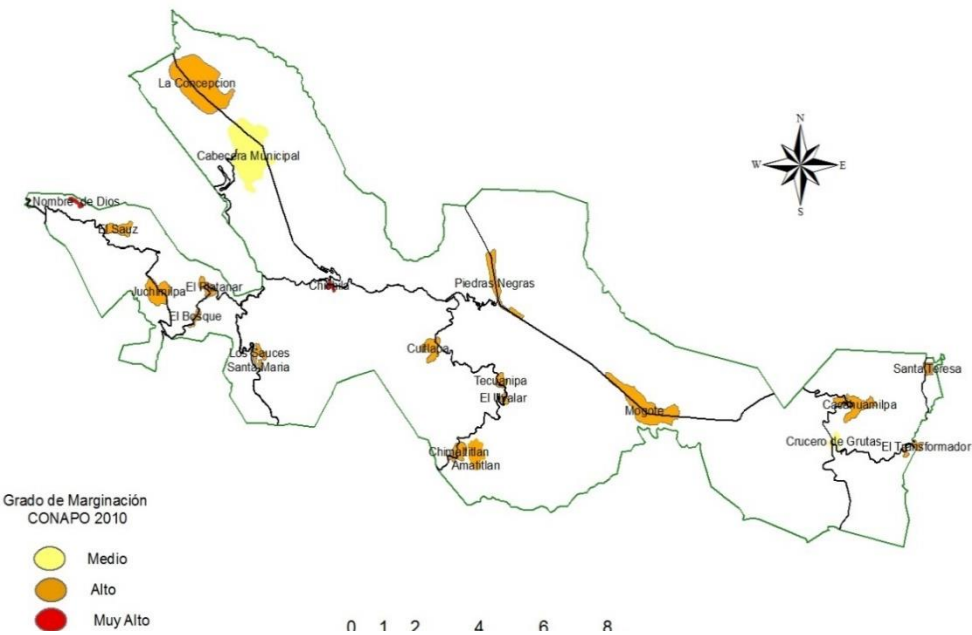


Figura 3. 8 Localidades de Pilcaya y grado de marginación.

En la tabla 3.19 se muestran el número de encuestas agrupadas por el grado de marginación y al ámbito (estrato) reportado por la CONAPO y el INEGI (CONAPO, 2016; INEGI, 2016a), realizadas en cada uno de los municipios; de acuerdo con la norma NMX-AA-61-1985 en Tequixquiac, Estado de México se cumple el estrato Urbano con un 0.2 de riesgo y para Pilcaya, Guerrero se cumplen el estrato rural y urbano con un 0.05 de riesgo (SEMARNAT, 2016).

Tabla 3. 19 Encuestas aplicadas en cada estrato.

MUNICIPIO	GRADO DE MARGINALIDAD	ÁMBITO	ENCUESTAS REALIZADAS (Número)	VIVIENDAS HABITADAS (Número)	CASAS ENCUESTADAS (%)
Tequixquiac, Estado México	Bajo	Urbano	66	8209	0.80
	Alto	Rural	249	1150	21.65
Pilcaya, Guerrero	Medio	Urbano y Rural	127	1743	7.29
	Muy alto	Rural	6	12	50.00

Fuente: SEDESOL, 2010.

Cabe mencionar que las encuestas en Tequixquiac, Estado de México, se realizaron con apoyo de estudiantes del ITTol y para el municipio de Pilcaya, Guerrero con gente del ayuntamiento (Figura 3.9).



Figura 3. 9 Equipo encuestador en el municipio de Pilcaya, Guerrero.

Referente al número de personas por domicilio encuestado, el mayor porcentaje fue cuatro en ambos municipios; encontrando en Pilcaya, Guerrero viviendas con 10 y 11 integrantes, lo cual se puede atribuir a que es un municipio rural (Figura 3.10).

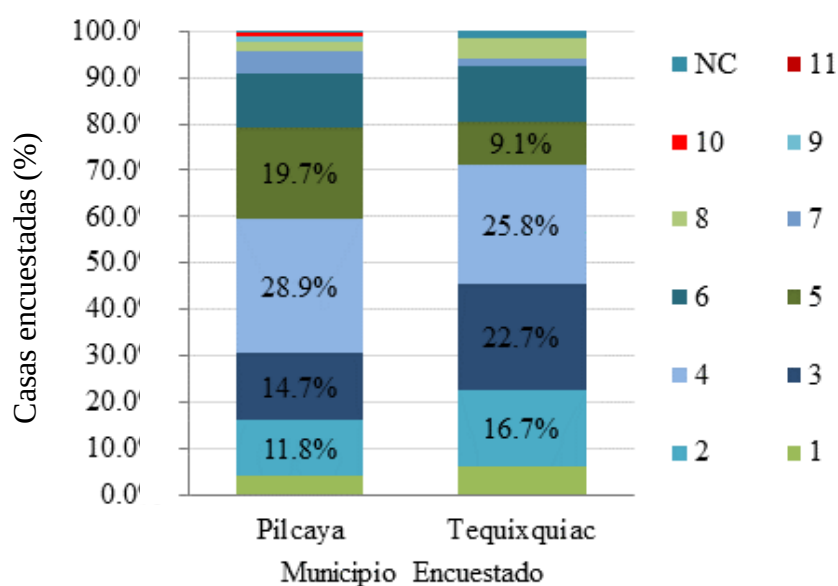


Figura 3. 10 Número de habitantes por casa encuestada.

El mayor porcentaje para el número de baños por casa habitación en los dos municipios fue uno, y el mayor porcentaje de viviendas que no tienen baño fue registrado en el municipio de Pilcaya, Guerrero (Figura 3.11).

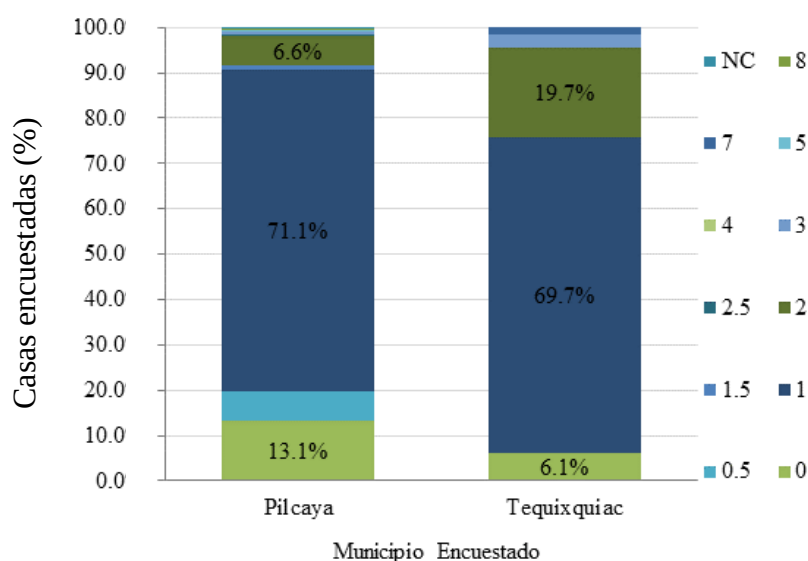


Figura 3. 11 Número de baños por casa habitación.

En cuanto al interés por cuidar y mejorar la calidad del medio ambiente, fue contundente el interés de la población a favor (Figura 3.12), y sobre su opinión sobre tirar los RSU en la calle o en un lugar no

adecuado la mayoría lo considero como “malo o pésimo” (Figura 3.13). Lo que muestra que la población en su mayoría sabe que está haciendo algo incorrecto, por lo que la existencia de políticas públicas adecuadas, instrumentos en materia de RSU, y un ejercicio de la gobernanza por parte de las autoridades con sanciones oportunas lograría que la gente mantuviera la limpieza de las áreas públicas (Soós *et al.*, 2017).

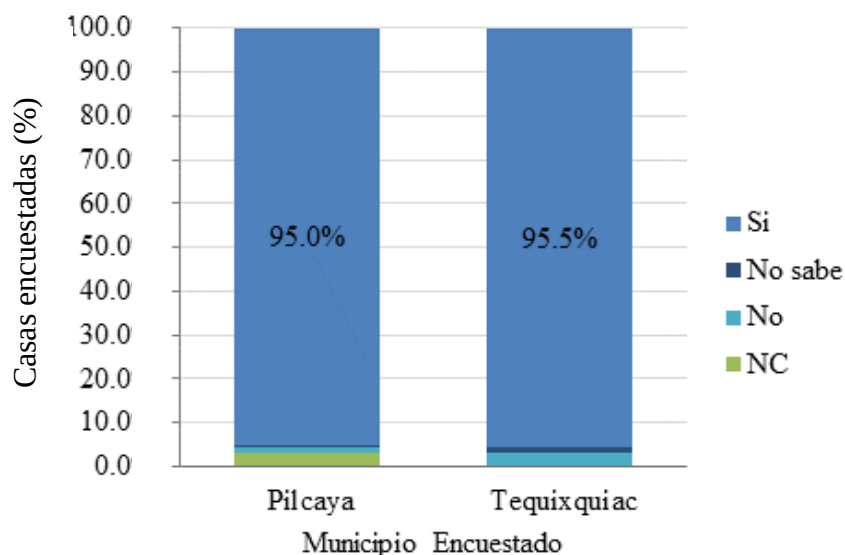


Figura 3. 12 Interés de la población por mejorar de la calidad del medio ambiente.

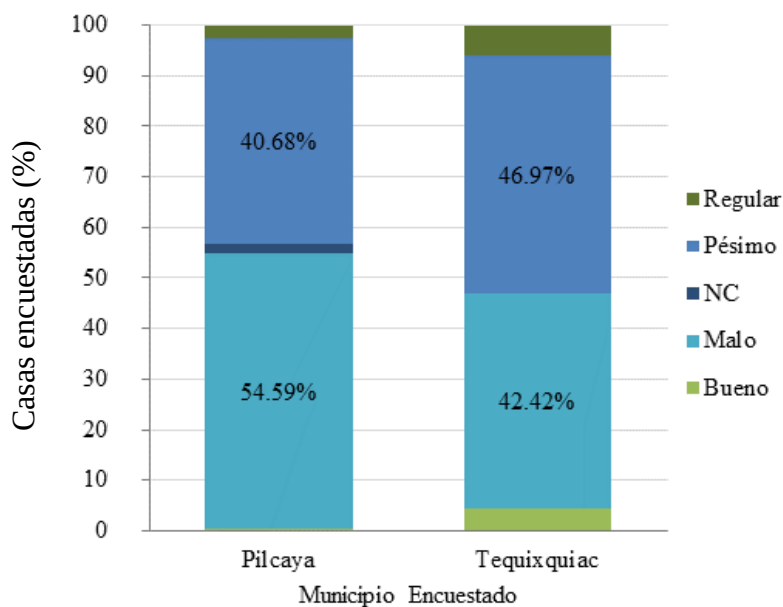


Figura 3. 13 Opinión de tirar los RSU en un lugar no apropiado.

En el tipo de recipiente que utilizan para entregar sus RSU predomina la bolsa de plástico en los tres municipios, seguido del contenedor o bote, el uso de costal y caja son las otras dos formas que utilizan (Figura 3.14).

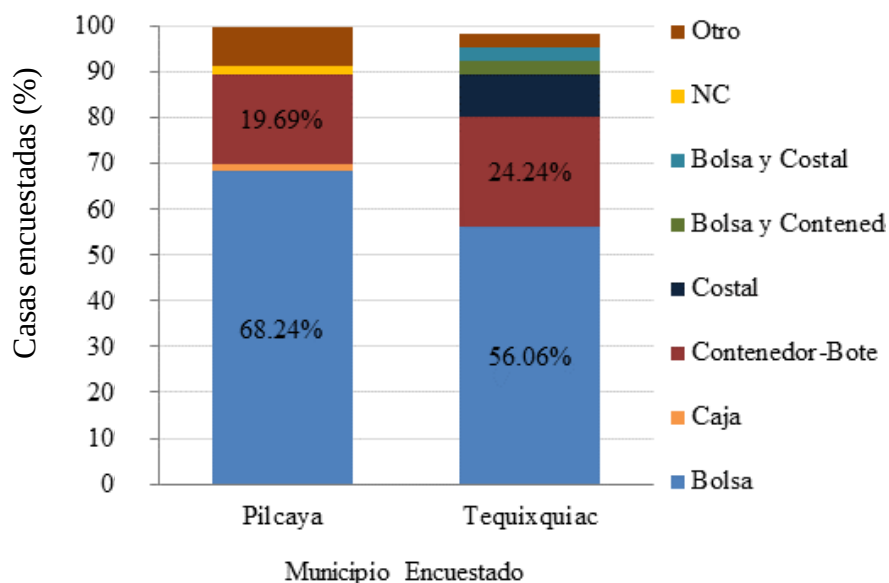


Figura 3. 14 Tipo de recipiente en el cual almacenan sus RSU.

Se les pregunto si separan sus RSU y si los aprovechan vendiéndolos o si los donaban, en los dos municipios más del 50% de las personas encuestadas separan sus RSU, Pilcaya, Guerrero destaca con casi un 90% de los encuestados, que mayormente los aprovecha (80%), Tequixquiac tiene cerca de un 50% de aprovechamiento.

En Pilcaya el 70% de la población vende alguno de los RSU separados y en Tequixquiac un 36%. En cuanto a la donación de sus RSU es menor en ambos municipios, siendo Pilcaya el que dona un poco más de lo separado (Figura 3.15). Separar los RSU no es algo nuevo para la mayoría de la población quien, con un programa adecuado sobre el manejo de los RSU y políticas aplicadas eficientemente, desempeñarían una separación adecuada en la fuente (Kokusai, 1999; Wamsler, 2000).

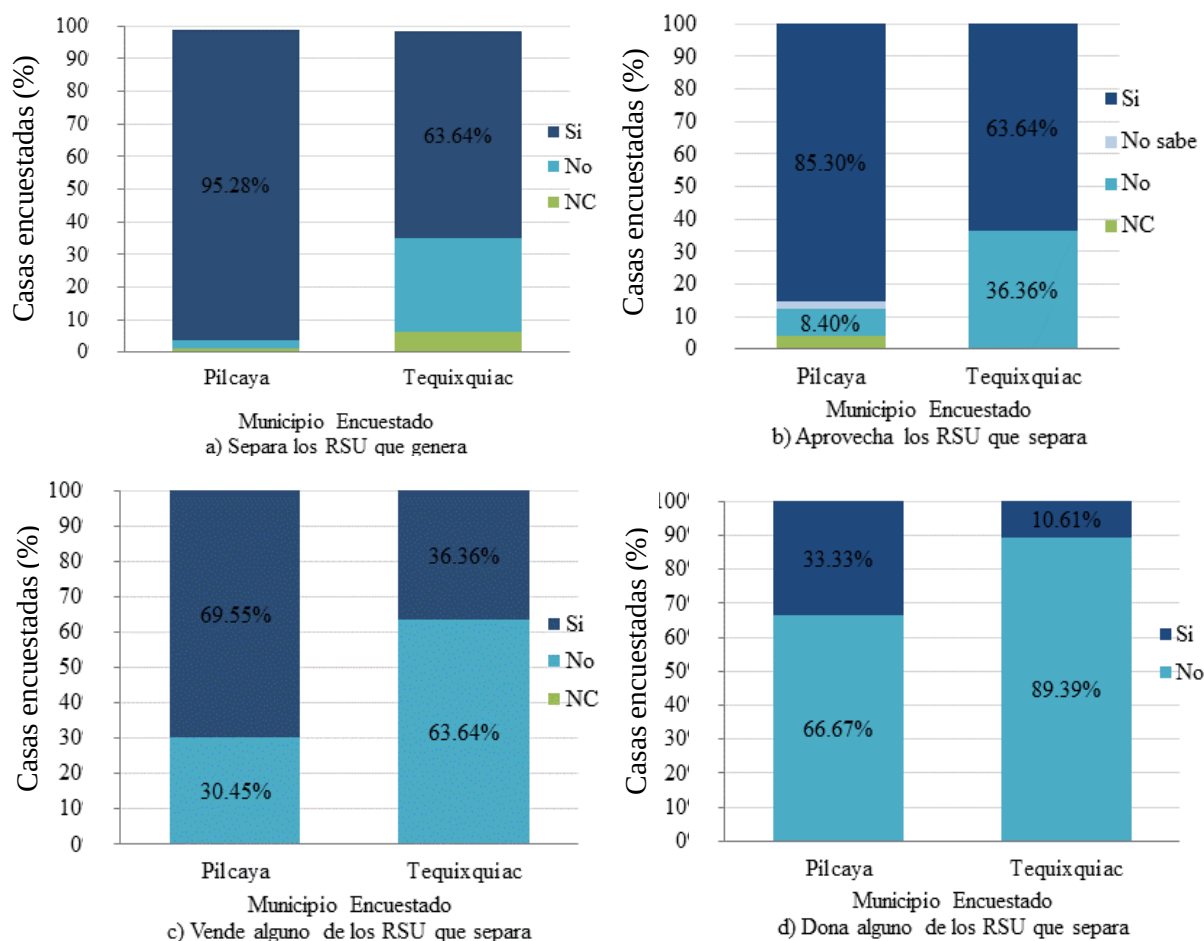


Figura 3. 15 Manejo de los RSU en casa-habitación.

Con la finalidad de ver la disposición de la gente a pagar y saber cuánto actualmente destina por la recolección de sus RSU, se les pregunto si dan propina y cuanto estarían dispuestos a pagar, el municipio en el cual la población tiene la costumbre de dar propina es Tequixquiac, Estado de México, caso opuesto del municipio de Pilcaya, Guerrero en el que más del 80% no lo hace; para el pago del servicio por recolección, el rango con mayor porcentaje oscila entre 1 y 10 pesos (Figura 3.16).

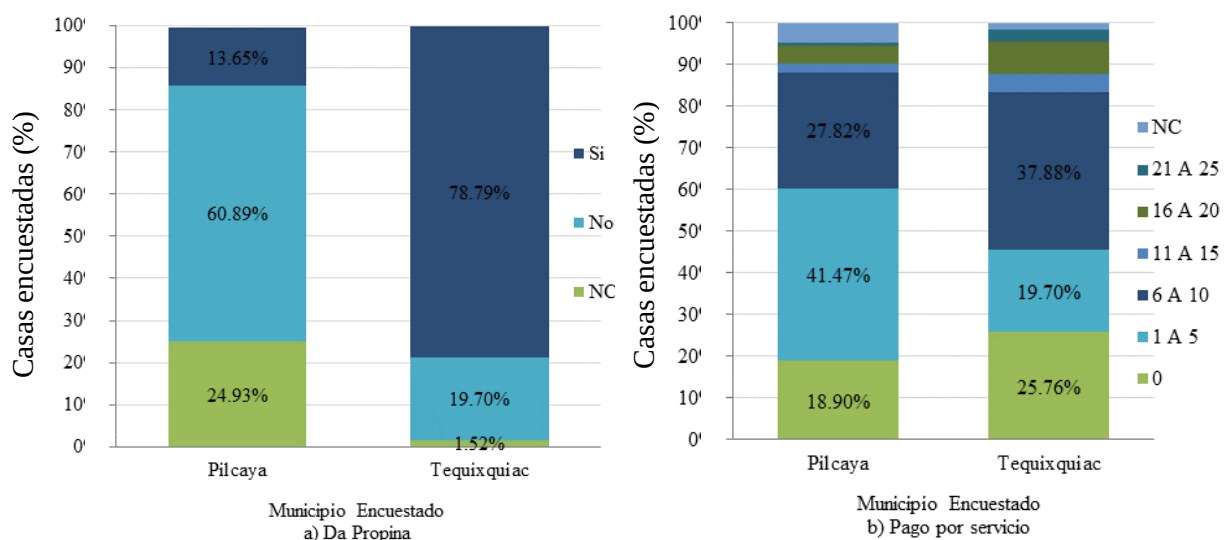
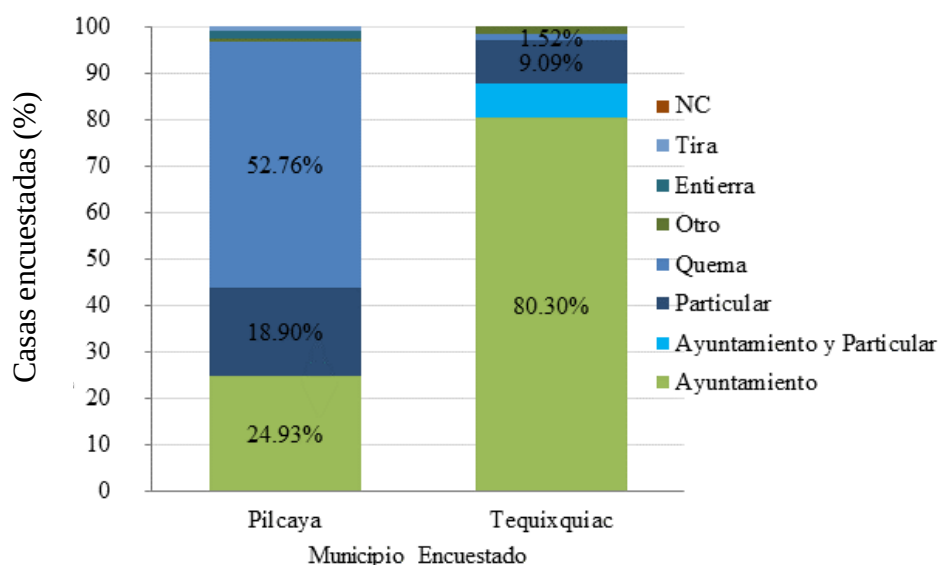


Figura 3. 16 Actitud para dar propina o pagar por el servicio de recolección.

En cuanto a quien entregan sus RSU, en Tequixquiac, Estado de México más del 80% es al municipio, sin embargo es importante destacar que solo se aplicó la encuesta en la cabecera, mientras que en Pilcaya se fue a todas las localidades del municipio y se tiene que el ayuntamiento solo cubre un 25% de su población; por lo que la mayoría (53%) la quema y el 18% la entrega a particulares, cabe destacar que las localidades que entregan a particulares son seis localidades de las 20 que lo conforman (Figura 3.17).



NC No contesto

Figura 3. 17 Disposición final y entrega de RSU.

Para estimar la generación que tienen, se les pregunto cuántos kilogramos aproximadamente generaban a la semana, encontrando que el municipio que más RSU genera es Tequixquiac con el mayor fue entre 11 y 15 kg y Pilcaya entre 5 y 10 kg (Figura 3.18).

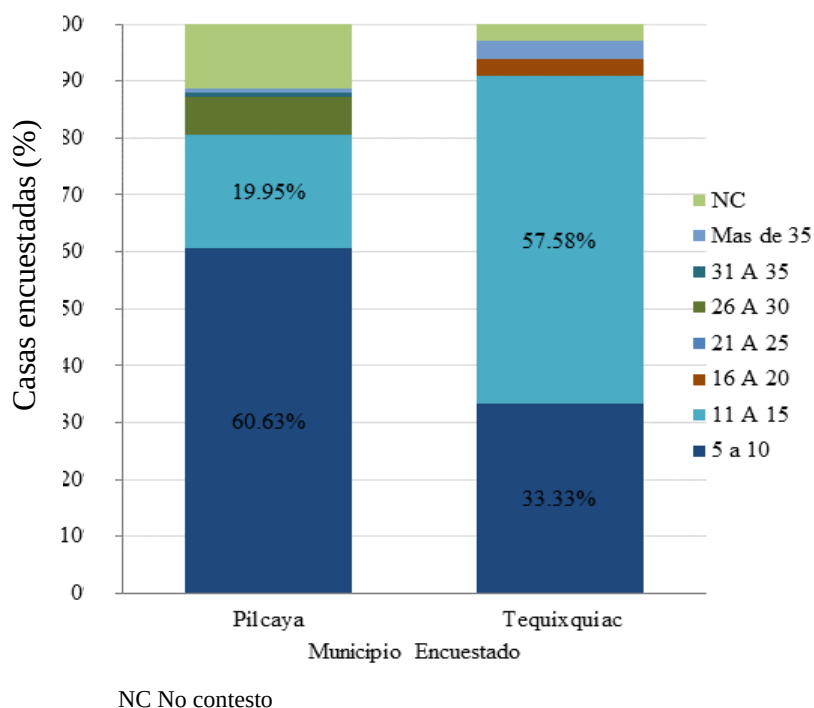
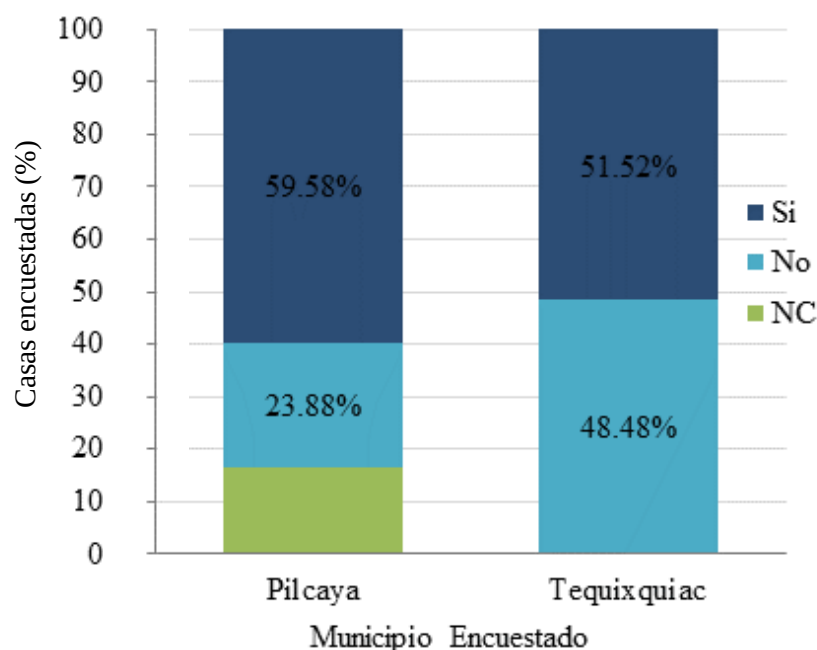


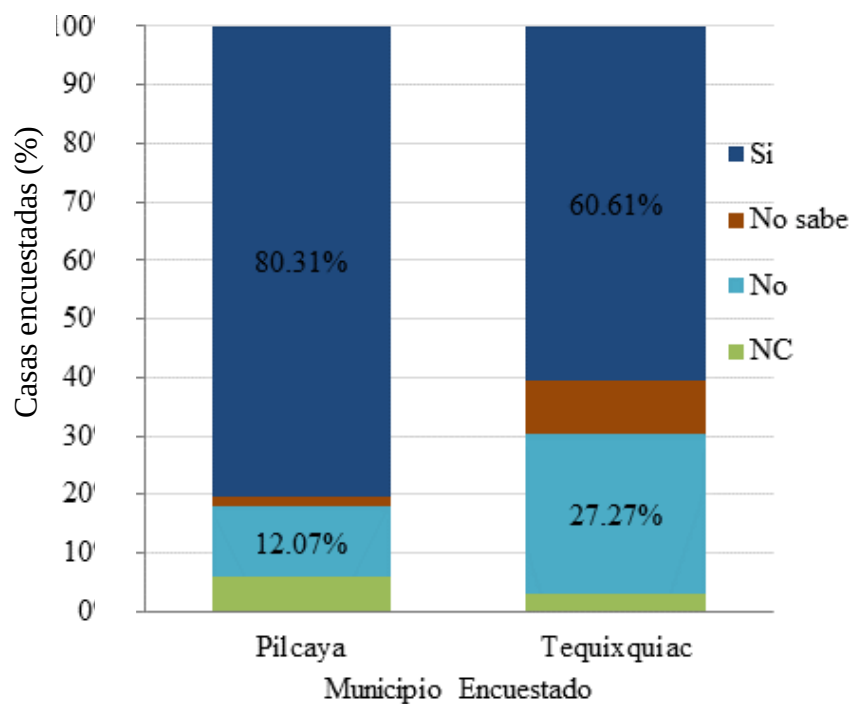
Figura 3. 18 Generación estimada de RSU.

Para conocer si podían dimensionar el problema de los RSU y su afectación a la sociedad y el medio ambiente, se les preguntó si sabían dónde eran depositados los RSU, y si les gustaría una capacitación sobre el medio ambiente, casi el 50% de los encuestados desconocía el lugar donde se depositan, lo que denota la antipatía y poca importancia que le dan a su destino final (Figura 3.19), en cuanto al interés por aprender más sobre el cuidado del medio ambiente, en los dos municipios más del 50% mostró interés (Figura 3.20).



NC No contesto

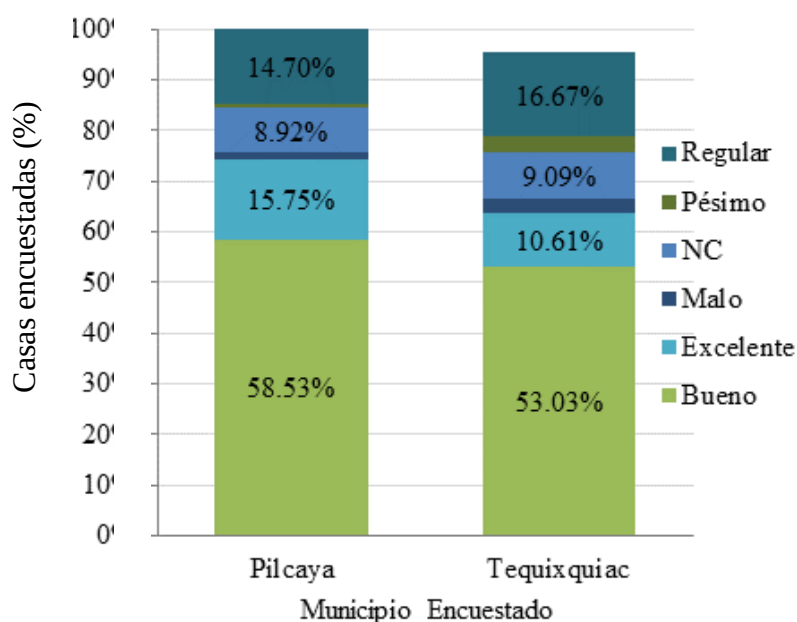
Figura 3. 19 Sabe el lugar en donde son depositados sus RSU.



NC No contesto

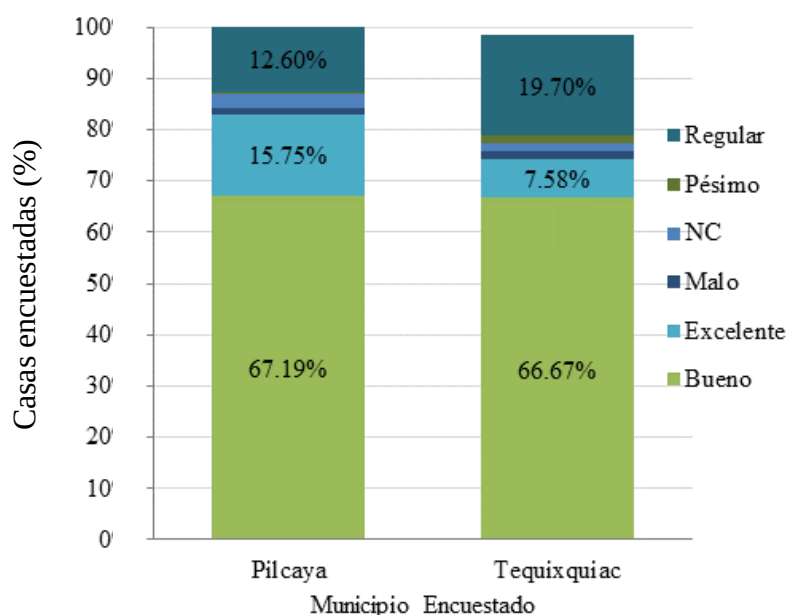
Figura 3. 20 Le gustaría recibir capacitación sobre el cuidado del medio ambiente.

Se les pregunto su opinión sobre la construcción de un RESA que cumpliera con la normatividad existente y trabajara adecuadamente y de plantas para tratar RSU (planta de elaboración de composta y una planta incineradora), la respuesta con el mayor porcentaje en los dos municipios fue “bueno”, mostrando que la gente puede aceptar la construcción de un sitio que opere adecuadamente (Figura 3.21); las plantas para tratar RSU tuvieron la misma tendencia con el mayor porcentaje como bueno (Figura 3.21, 3.22, 3.23), sin embargo cabe destacar que en la mayoría no sabían que eran ninguna de estas instalaciones, se les explicó de forma general y su respuesta pudo estar influenciada por la información que se les dio de cada una de ellas. Esto muestra que si la población recibe la información adecuada, veraz y mostrando los beneficios que se pueden tener a corto, mediano y largo plazo se puede lograr su disponibilidad para cooperar (Espinoza, 2016).



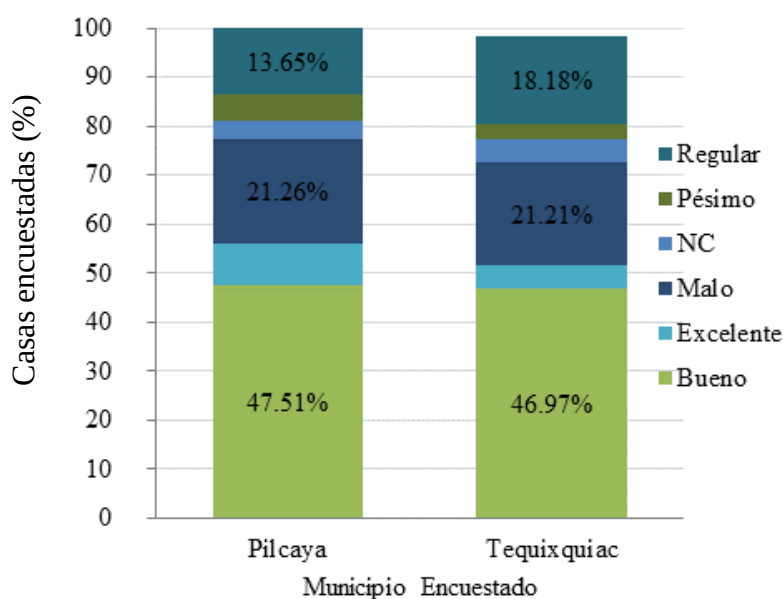
NC No contesto

Figura 3. 21 Opinión sobre la construcción de un RESA.



NC No contesto

Figura 3. 22 Opinión sobre la construcción de una planta de composta.



NC No contesto

Figura 3. 23 Opinión sobre la construcción de una planta de incineración.

Finalmente, se les preguntó si estarían dispuestos a participar en futuros estudios sobre RSU y en ambos municipios la mayoría contestó que sí (Figura 3.24).

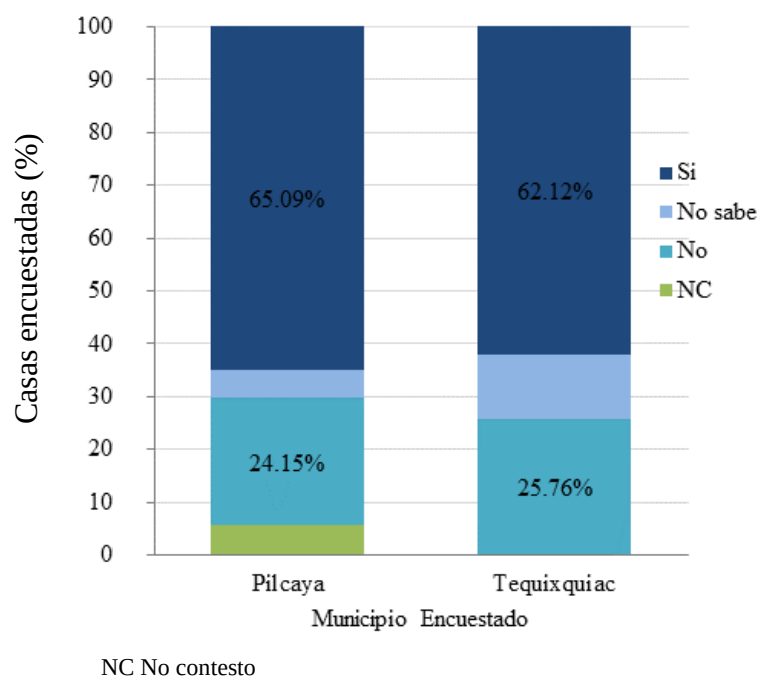
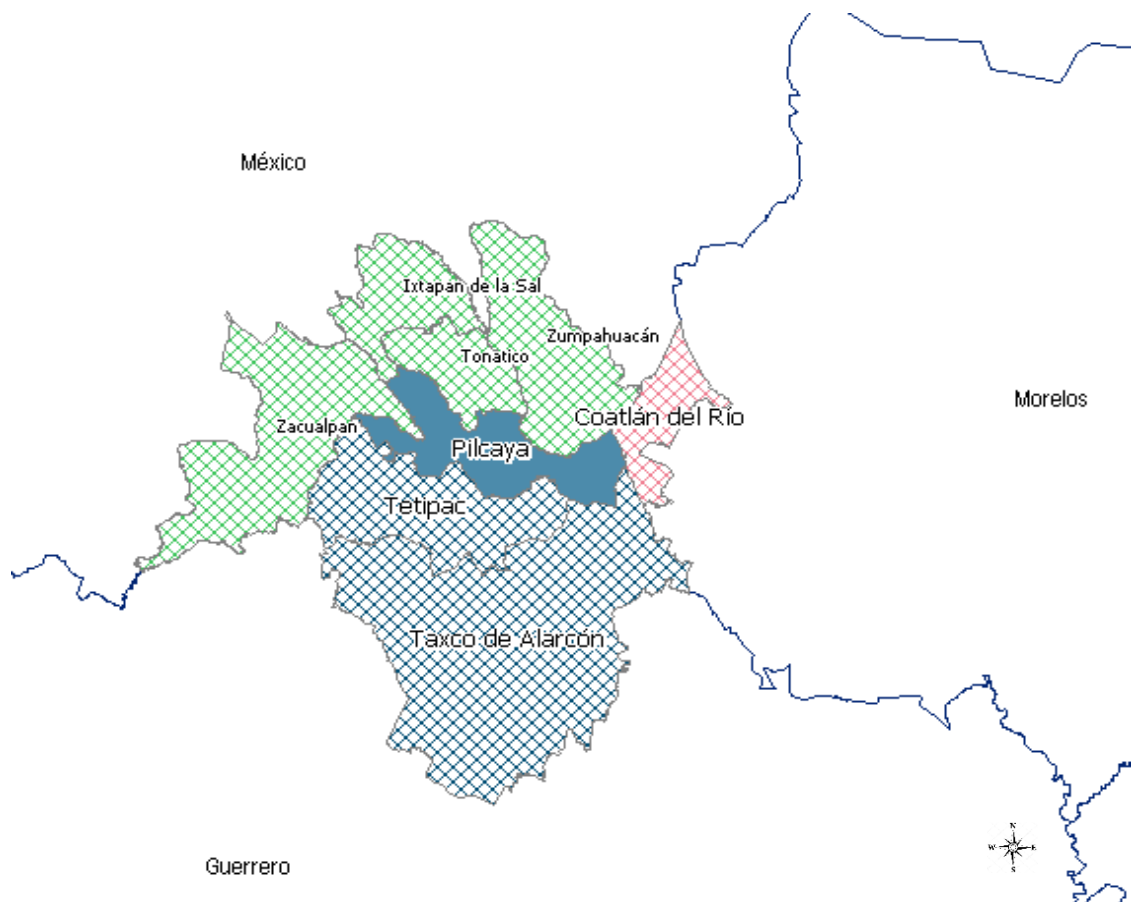


Figura 3. 24 Disposición para participar en estudios futuros sobre RSU.

3.6.3 Estudio de rutas de recolección de Residuos Sólidos Urbanos

El estudio se realizó en el municipio de Pilcaya, ubicado en la parte norte del estado de Guerrero; se localiza entre los paralelos 18° 39' 18'' y 18° 46' 43'' de latitud norte y los 99° 28' 09'' y 99° 43' 37'' de longitud oeste. Colinda al norte con Tonalico, Estado de México; al noreste con Zumpahuacán, Estado de México; al noroeste con Ixtapan de la Sal, Estado de México; al sur con Tetipac, Guerrero.; al sureste con Taxco de Alarcón, Guerrero.; al este con Coatlán del Río, Morelos. y Taxco de Alarcón, Guerrero.; y al oeste con Zacualpan, Estado de México (Figura 3.25).



Fuente: Adaptado de INEGI, 2017.

Figura 3. 25 Ubicación del municipio de Pilcaya, Guerrero.

Es el municipio más pequeño del estado de Guerrero, cuenta con 62.1 km² de superficie territorial que representa el 0.10% de la superficie total estatal. El municipio se encuentra ubicado entre los 1,000 y 2,000 m sobre el nivel del mar (INEGI, 2016a).

El estudio de ruteo de los camiones recolectores de RSU del municipio de Pilcaya, Guerrero, se realizó del 16 al 18 de octubre del 2017. En este municipio se realizan tres rutas, las cuales solo atienden a la cabecera municipal (Pilcaya) y La Concepción una de las 21 localidades que lo conforman. El vehículo utilizado para la recolección es un Compactador de carga lateral y forma cuadrada de 10yd³ (0.76m³), Ford, 2013. El vehículo, el personal (chofer y ayudantes), recorridos diarios y horarios aproximados de las tres rutas se muestran en la tabla 3.20.

Tabla 3. 20 Rutas de recolección de RSU de Pilcaya, Guerrero.

RUTA	VEHÍCULO	CAPACIDAD (yd ³)	PERSONAS	COMBUSTIBLE	RECORRIDO (km/d)	INICIO/ TÉRMINO
1) Avenidas	Compactador de carga lateral cuadrada, Ford 2013	10.0	5	Gasolina	44.25	Lunes- viernes, 09:00/ 16:00
2) Calles					48.28	Martes y jueves 09:00/ 16:00
3) La Concepción					55.52	Miércoles 09:00/ 16:00

El estudio de las tres rutas se inició a las 09:00 am, siguiendo al camión recolector; desde la salida del garaje de las instalaciones del municipio. de Pilcaya, Gro. (Figura 3.26), hasta el sitio de disposición final de los RSU (Figura 3.27). El método de recolección que se usa es el de “Puerta a puerta”, en el cual la mayoría de la gente deja sus RSU en la acera, los cuales el personal de limpia recolecta y deja los diferentes depósitos utilizados para el almacenamiento temporal en el mismo sitio. Se pudo observar que todos los RSU son entregados en forma mezclada, a excepción de cuatro casas que entregaron en forma separada PET y cartón en los tres días que se siguieron las rutas.



Figura 3. 26 Camión recolector en el garaje del Municipio. de Pilcaya, Gro.



Figura 3. 27 Descarga del camión recolector en el SDF de Municipio. de Pilcaya, Gro.

- a) Ruta 1. Avenidas de Pilcaya, Guerrero. El recorrido de la ruta 1 inicia a las 9:00 am en el garaje donde se guarda el vehículo recolector y comprende la recolección de RSU en las Avenidas de Pilcaya, Guerrero. denominadas: Independencia, San Miguel, Miguel Hidalgo, Morelos, Revolución, Libertad, Emiliano Zapata, Niños Héroes, Calle a Llano Grande de San Miguel y carretera Ixtapan

de la Sal -Tetipac (Figura 3.28). En su mayoría los RSU son dejados en la acera, un mínimo porcentaje de la población sale con sus residuos de sus domicilios a depositarlos al camión (Figura 3.29).

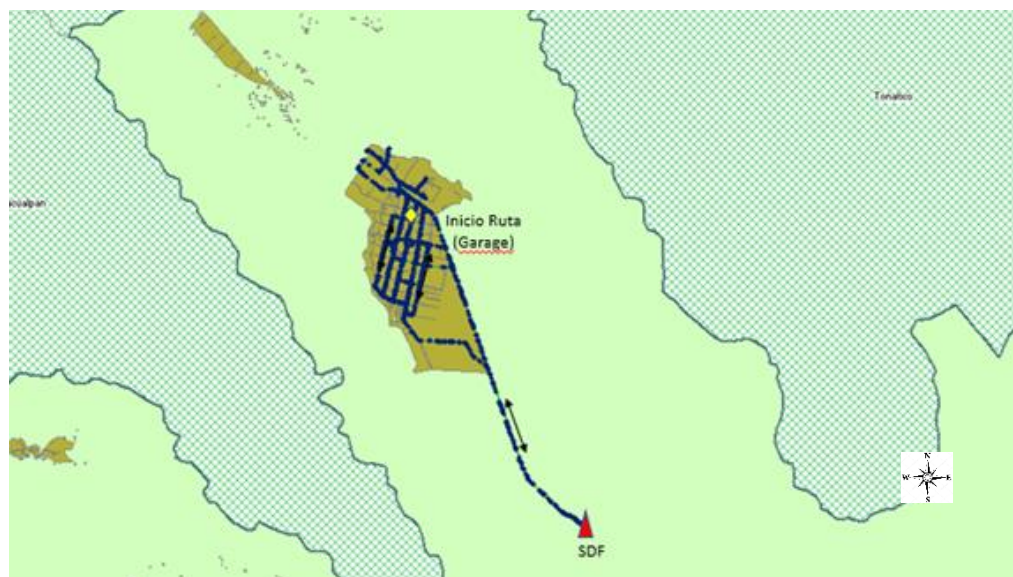


Figura 3. 28 Ruta 1, Avenidas de Pilcaya, Guerrero.



Figura 3. 29 Recolección de RSU en Avenidas Pilcaya, Guerrero.

- b) Ruta 2. Calles de Pilcaya, Guerrero. El recorrido de la ruta 2 inicia a las 9:00 am en el garaje donde se guarda el vehículo recolector y comprende la recolección de RSU en las calles de Pilcaya, Gro. Las calles en donde se recolectan los RSU son: Héroes de la Patria, Jaime Nuno, San Juan, Álvaro, Agricultura, Francisco I. Madero, Colón, Libertad, 5 de febrero, Juan Álvarez, Zaragoza, Matamoros, 5 de mayo, Cuauhtémoc, Moctezuma, 12 de octubre (Figura 3.30). Al igual que en las avenidas la mayoría de los residuos son dejados sobre las calles, siendo el personal de recolección quien los toma y deposita en el camión, para posteriormente dejar el recipiente sobre la misma calle (Figura 3.31).



Figura 3. 30 Ruta 2, Calles de Pilcaya, Guerrero.



Figura 3. 31 Recolección de RSU en Calles Pilcaya, Guerrero.

- c) Ruta 3. La Concepción. El recorrido de la ruta 3 inicia a las 9:00 am en el garaje donde se guarda el vehículo recolector y comprende la recolección de RSU de la comunidad de La Concepción de Pilcaya, Gro. Las calles en donde se recolectan los RSU son: la Loma y la localidad de la Concepción, las calles no tienen nombre (Figura 3.32). Solo la avenida principal que conecta a la comunidad de La Concepción con Pilcaya se encuentra pavimentada, el resto de las calles son de terracería y las casas están alejadas unas de otras, teniendo recorridos en ocasiones de más de un kilómetro para recolectar residuos de un par de casas (Figura 3.33).

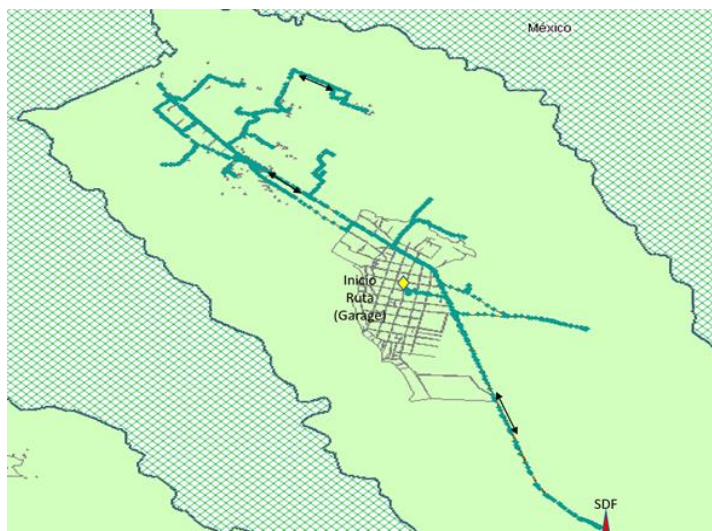


Figura 3. 32 Ruta 3 La Concepción, Pilcaya, Guerrero.



Figura 3. 33 Recolección de RSU en La Concepción, Guerrero.

En la Figura 3.34, se muestra parte del equipo de recolección del municipio de Pilcaya, Guerrero y estudiantes del ITTol al finalizar la descarga de RSU en el SDF.



Figura 3. 34 Personal de recolección de Pilcaya, Guerrero. en SDF y estudiantes del ITTol.

En el estudio de rutas se estimó una recolección semanal aproximada de 20.8 t, mientras que en la CE realizada a los responsables del MIRSU en el municipio, reportaron aproximadamente 14t, encontrando que el tonelaje proporcionado por el municipio está por debajo debido a que solo corresponde a 2 localidades no a todo el municipio. Los tiempos de recolección de cada una de las rutas, el mayor tiempo efectivo de trabajo se tiene en avenidas, sin embargo, en calles recolectaron mayor cantidad de RSU y en la ruta de la Concepción se recolectan menos residuos.

En la ruta de la Concepción el camión recolector recorre una mayor distancia, pero el tiempo muerto total no es tan diferente al resto de las rutas. En las tres rutas el tiempo de llenado entre cada vuelta se mantiene aproximado a 1 hora y los tiempos de descarga en 6 min lo cual nos indica que las 3 rutas están balanceadas.

En cuanto a la eficiencia de la capacidad del vehículo se observa que por especificación es un camión de 11 yd que equivale a 8 m^3 , se desconoce la densidad de compactación que puede alcanzar, sin embargo, de acuerdo con los kg recolectados en cada una de las rutas, el camión debe estar compactando a una densidad de 130 kg/m^3 , dando una capacidad de recolección por viaje de 1000 kg (Tabla 3.21).

Tabla 3. 21 Tiempos rutas de recolección de Pilcaya, Guerrero.

RUTA	TIEMPO REAL DE LLENADO	TIEMPO REAL DE DESCARGA	TIEMPO TOTAL EFECTIVO	TIEMPO MUERTO	TIEMPO TOTAL	RSU RECOLECTADOS (kg)
Avenidas	4:10	0:27				
1	1:14	0:07				
2	0:54	0:06	4:37	2:33	7:37	4033
3	1:00	0:06				
4	1:02	0:08				
Calles	3:35	0:21				
1	0:59	0:08				
2	0:48	0:05	3:56	2:50	7:07	5214.8
3	0:47	0:04				
4	1:01	0:04				
5	0:24	0:06				
La Concepción	2:50	0:13				
1	0:45	0:06	3:03	2:59	6:15	2402.5
2	1:23	0:05				
3	0:42	0:02				

Además de medir los tiempos durante el estudio, se fue anotando el tipo de recipiente en el que entregaban sus RSU, en avenidas y calles lo más usado es bolsa de plástico seguido de costal y botes de plásticos, estos dos son devueltos a la población y las bolsas en su mayoría son de la bolsa comercial que se entrega en la mayoría de los comercios, en La Concepción lo más usado son los costales seguidos de las bolsas y los botes de plástico de 20L, al igual que en las otras rutas los botes y costales son devueltos; en cuanto a los kilogramos recolectados por tipo de recipiente en las tres rutas, es mayor el aportado por los costales, seguido de la bolsa y el bote de plástico, ésto puede ser considerado como una justificación para en el reglamento eliminar y prohibir las bolsas de plástico y estandarizar el uso de costal o bote de plástico (Tabla 3.22).

En cuanto al tipo de camino, se observó que en calles y avenidas de la cabecera municipal más del 90% de las recolecciones se realiza en caminos pavimentado y la recolección sobre pavimento en subida es solo del 3% en Avenidas, mientras que en La Concepción el 50% se encuentra pavimentado, siendo terracería el 50% restante, (Tabla 3.22).

La cantidad de recolecciones separadas fue de solo tres en la ruta de calles, lo que equivale al 0.3% de las recolecciones de la ruta de ese día; también se registró si la población da alguna propina, encontrando

solo cuatro personas en la ruta de calles (0.4%). Finalmente, el método de recolección utilizado en las tres rutas es acera casa por casa (Tabla 3.22).

Tabla 3. 22 Análisis Rutas de recolección.

		AVENIDAS		CALLES		LA CONCEPCION	
		No. De recipientes	Peso recolectado (kg)	No. De recipientes	Peso recolectado (kg)	No. De recipientes	Peso recolectado (kg)
Tipo de recipiente	B	348	1103	356	1612.1	145	337.5
	BM	1	20	9	48	1	10
	BP	279	927.4	292	1202.1	70	410
	C	344	1797.2	370	2074.4	284	1571
	CC	78	173.5	78	192.5	17	41
	O	2	6	4	8.2	6	13.5
	ND	9	6	15	77.5	14	0
	CP	0	0	0	0	6	19.5
	T	1061	4033.1	1124	5214.8	543	2402.5
Camino	P	978	92%	1119	99.6%	274	50.5%
	PS	33	3%	0	0.0%	0	0.0%
	Te	50	5%	5	0.4%	269	49.5%
Existe separación	NO	1055	99%	1121	99.7%	534	98.3%
	SI	6	1%	3	0.3%	9	1.7%
Dan propina	NO	1061	100%	1120	99.6%	543	100.0%
	SI	0	0%	4	0.4%	0	0.0%
MR		Acera casa por casa 100 %					

B. Bolsa; BM. Bote metálico; BP. Bote plástico; C. Costal; CC. Caja de cartón; CP. Caja de plástico; MR. Método de recolección; ND. No disponible; O. Otro; P. Pavimento; PS. Pavimento subida; T. Total; Te. Terracería.

3. 7 SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE INDICADORES

En la Tabla 3.23 se muestran la cantidad indicadores que pudieron ser calculados para cada etapa con base a la información contestada por los ayuntamientos en las CE los cuales fueron seleccionados del trabajo de Turcott-Cervantes *et. al.*, (2018). A estos indicadores se les denominó Indicadores Identificados.

Con los Indicadores Transversales se muestran en la tabla 3.24, los Indicadores Económicos en la tabla 3.25, los Indicadores de Barrido en la tabla 3.26, los Indicadores de Recolección en la Tabla 3.27, y los indicadores para Disposición Final en la tabla 3.28. Cada tabla contiene el ID asignado a cada uno de los Indicadores Identificados, el nombre del indicador, si es cuantitativo o cualitativo, la unidad de medida

con la que se evalúa, la semaforización propuesta (verde, amarillo y rojo) y una breve descripción. Los valores de referencias propuestos en la semaforización fueron tomados de Turcott-Cervantes, (2018).

Tabla 3. 23 Categorías de Indicadores aplicados a los municipios.

CATEGORÍA	CANTIDAD DE INDICADORES
Transversales	6
Económicos	4
Barrido	8
Recolección	9
Disposición Final	10
Total	37

Con los Indicadores Transversales se realizó el análisis y la evaluación del marco legal que se tiene en los municipios para poder tener una gestión adecuada, así como su cumplimiento; la existencia y vigencia de planes y programas integrales para la gestión de residuos, el alcance y antigüedad de estudios sobre gestión, así como si los puestos clave están ocupados por personal adecuadamente capacitado (Tabla 3.24).

En los Indicadores Económicos se detectó si los municipios contaban con un presupuesto para la gestión de residuos y sus costos por tonelada, así como la existencia de una tarifa específica para su manejo y gestión (Tabla 3.25). En los Indicadores de Barrido se revisó la existencia de personal por parte del ayuntamiento para mantener limpio el municipio, así como sus costos y eficiencia (Tabla 3.26).

Los Indicadores de Recolección se muestran en la tabla 3.27. En ellos se identificó la cantidad de toneladas de RSU que recolectaban en su municipio, la eficiencia de la recolección (personal y equipo) la población servida, así como los costos asociados a esta etapa. En la tabla 3.28 se muestran los indicadores considerados para la evaluación de la Disposición Final, desde la cantidad de RSU que disponen, hasta el tipo de SDF que tienen y su ubicación, así como los costos asociados a la operación del sitio.

Tabla 3. 24 Indicadores Transversales.

ID	INDICADOR IDENTIFICADO	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-1T	<i>Existencia de legislación Nacional</i>	Cualitativo	Si/P/ No	SI	P	NO	Evalúa la existencia de legislación marco actualizada sobre gestión de residuos, además de otras leyes y reglamentos relacionados.
I-2T	<i>Cumplimiento de la Legislación</i>	Cualitativo	Si /P/ No	SI	P	NO	Evalúa el nivel de cumplimiento de la legislación existente sobre gestión de residuos
I-3T	<i>Planeamiento para la gestión de residuos</i>	Cualitativo	Si / PNS/No	SI	P	NO	Evalúa la existencia y vigencia de un plan integral para la gestión de residuos publicado por la entidad evaluada o por un nivel superior. Se evalúan planes y programas marco
I-4T	<i>Diagnóstico de la gestión de residuos</i>	Cualitativo	Si/P/ No	SI	P	NO	Evalúa el alcance y antigüedad de los estudios sobre gestión de residuos realizados
I-5T	<i>Perfil del personal en puestos clave</i>	Cualitativo	Si/P/ No	SI	P	NO	Evalúa si los puestos clave están ocupados por personal adecuadamente capacitado (experiencia y cualificación)
I-6T	<i>Proporción total de personal informal</i>	Cuantitativo	%	≤10	>10 a ≤ 35	>35	Evalúa el porcentaje de personal informal existente en el sistema de gestión de residuos, respecto al total de personal ocupado en la gestión de residuos

P: Parcialmente PNS: Publicado por un nivel superior

Tabla 3. 25 Indicadores Económicos.

ID	INDICADOR IDENTIFICADO	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-1E	<i>Presupuesto para la gestión de residuos</i>	Cualitativo	Si / No	SI	-	NO	Evaluar la existencia de un presupuesto específico para residuos
I-2E	<i>Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal</i>	Cuantitativo	%	≥ 10 a ≤ 15	≥ 5 a < 10	> 5 > 15	Evalúa el porcentaje de presupuesto municipal que corresponde a la gestión de residuos
I-3E	<i>Costo total por tonelada</i>	Cuantitativo	MXP \$/t	1760 a < 3800	1100 a < 1760 3800 a < 4900	≤ 1100 ≥ 4900	Evalúa el costo de la gestión de residuos relacionado con las toneladas que entran al sistema
I-4E	<i>Existencia de tarifa específica</i>	Cualitativo	Si / No	SI	-	NO	Evalúa la existencia de una tarifa específica para el cobro del servicio de gestión de residuos a los ciudadanos dentro del área evaluada

Tabla 3. 26 Indicadores de Barrido.

ID	INDICADOR IDENTIFICADO	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-2B	<i>Personal formal de limpieza viaria por cada 10000 habitantes</i>	Cuantitativo	Trabajadores / 10000 habitantes	≥4	2 a <4	<2	Evalúa la proporción de trabajadores implicados directamente en la operación de limpieza viaria por cada 10000 habitantes
I-3B	<i>Rendimiento del trabajo de limpieza viaria</i>	Cuantitativo	m ² / empleado / día	≥2500 a ≤6500	≥2000 a <2500 >6500 a ≤7000	<2000 >7000	Evalúa el rendimiento promedio diario en limpieza viaria por empleado en km o m ²
			km / empleado / día	≥1.3 a ≤1.5	≥0.8 a <1.3 >1.5 a ≤2	<0.8 >2	
I-4B	<i>Salario promedio en limpieza viaria comparado con el salario mínimo</i>	Cuantitativo	%	≥200	≥100 a <200	<100	Compara el porcentaje del salario mínimo que corresponde al salario promedio en limpieza viaria
I-5B	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>	Cuantitativo	Si /P/ No	Si	P	No	Evalúa si todos los empleados tienen prestación de servicio médico
I-7B	<i>Proporción de personal informal en barrido</i>	Cuantitativo	%	≤10	>10 a ≤35	>35	Evalúa el % de personal informal existente en limpieza viaria, respecto al total de personal ocupado en esa actividad
I-8B	<i>Costo de Barrido</i>	Cuantitativo	MXP\$/km	≥300 a ≤400	≥200 a <300 >400 a ≤500	<200 >500	Muestra el coste total de operación y mantenimiento de la limpieza viaria respecto a los km o m ² atendidos
			MXP\$/t	≥1600 a ≤2120	≥1060 a <1600 >2120 a ≤2660	<1060 >2660	

P: Parcialmente

Tabla 3. 27 Indicadores de Recolección.

ID	INDICADOR IDENTIFICADO	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-2R	<i>Grado de aprovechamiento</i>	Cuantitativo	%	≥80 a ≤100	≥50 a <80	<50 >100	Muestra la relación entre los residuos recolectados y la capacidad de diseño de vehículos de recolección y transporte
I-3R	<i>Intensidad de desplazamiento</i>	Cuantitativo	km/t	≤15	>15 a ≤30	>30	Muestra la distancia recorrida por los vehículos de recolección y transporte de residuos por cada tonelada desplazada
I-4R	<i>Población atendida por el servicio de recolección</i>	Cuantitativo	%	≥90	≥70 a <90	<70	Población atendida por el servicio de recolección (normal o selectiva) de residuos domiciliarios
I-5R	<i>Personal formal de recolección y transporte por cada 1000 toneladas</i>	Cuantitativo	Trabajadores/1000 t	≥0.1	≥0.001 a <0.1	<0.001	Evalúa la proporción de trabajadores implicados directamente en la operación de la recolección y transporte por cada 1000 ton recolectadas
I-6R	<i>Rendimiento del trabajo de recolección y transporte</i>	Cuantitativo	t/ h	≥0.5	≥0.2 a <0.5	<0.2	Muestra la relación entre la cantidad de residuos recolectados y la cantidad de horas efectivas de trabajo
I-7R	<i>Salario promedio en recolección y transporte comparado con el salario mínimo</i>	Cuantitativo	%	≥200	≥100 a <200	<100	Compara el porcentaje del salario mínimo que corresponde al salario promedio en recolección y transporte
I-8R	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>	Cuantitativo	Si /P/ No	Si	P	No	Evalúa si todos los empleados tienen prestación de servicio médico
I-9R	<i>Proporción de personal informal en recolección y transporte</i>	Cuantitativo	%	≤10	>10 a ≤35	>35	Evalúa el porcentaje de personal informal existente en recolección y transporte, respecto al total de personal ocupado en esa actividad
I-10R	<i>Costo de recolección y transporte</i>	Cuantitativo	MXP\$/t	≥600 - ≤2000	≥300 a <600 >2000 a ≤2600	<300 >2600	Muestra el costo total de operación y mantenimiento de la recolección y transporte respecto a las toneladas recolectadas

Tabla 3. 28 Indicadores de Disposición Final.

ID	INDICADOR IDENTIFICADO	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-1DF	<i>Rendimiento del trabajo de DF</i>	Cuantitativo	Toneladas/hora	≥10	<10 a ≥5	<5	Relación entre la cantidad de residuos ingresados y la cantidad de horas efectivas de trabajo
I-2DF	<i>Residuos eliminados en RESA</i>	Cuantitativo	%	≥90	≥80 a <90	<80	Evalúa la cantidad de residuos que son vertidos en RESA respecto al total generado
I-3DF	<i>Vida útil disponible del SDF</i>	Cuantitativo	Años	≥8	≥5 a <8	<5	Muestra los años disponibles del SDF para continuar vertiendo RSU
I-4DF	<i>Personal formal en RESA por cada 1000 toneladas</i>	Cuantitativo	Trabajadores/1000 t	≥0.05	≥0.02 a <0.05	<0.02	Evalúa la proporción de trabajadores implicados directamente en la operación del RESA por cada 1000 toneladas procesadas en las instalaciones
I-5DF	<i>Salario promedio en SDF comparado con el salario mínimo</i>	Cuantitativo	%	≥200	≥100 a <200	<100	Compara el porcentaje del salario mínimo que corresponde al salario promedio en RESA
I-6DF	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>	Cuantitativo	Si /P/ No	Si	P	No	Evalúa si todos los empleados tienen prestación de servicio médico
I-7DF	<i>Proporción de personal informal en SDF</i>	Cuantitativo	%	≤10	>10 a ≤35	>35	Evalúa el porcentaje de personal informal existente en el SDF, respecto al total de personal ocupado en esa actividad
I-8DF	<i>Intensidad del uso de suelo en disposición final</i>	Cuantitativo	m²/t	≤5	>5 a ≤10	>10	Relaciona la superficie total utilizada en las instalaciones de disposición final, respecto a la cantidad de residuos vertidos
I-9DF	<i>Tipo de sitio de disposición final</i>	Cualitativo	Tipo de SDF	RESA	SC	TCA	Muestra el tipo de disposición final que se da a los residuos
I-10DF	<i>Costo en DF</i>	Cuantitativo	MXP\$/t	≤400 - ≥160	<100 a ≥160 >400 a ≤500	<100 >500	Muestra el costo total de operación y mantenimiento de la recolección y transporte respecto a las toneladas recolectadas

La Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos publicado por la SEMARNAT y la GTZ en el 2006, propone una serie de indicadores para monitorear un programa de este tipo (Günther & Hernández, 2006). En la tabla 3.29 se muestran un comparativo con respecto a los ID en este trabajo. Con la presente investigación se verificó la información de la que disponen los municipios y cuales indicadores pueden ser calculados de los propuestos por Günther & Hernández, (2006). Se encontró que la mayoría pueden ser calculados, y que adicionalmente los indicadores propuestos en la presente investigación incluyen aspectos sociales y de gobernanza, los cuales son aspectos esenciales para tener un buen desempeño (Wilson *et al.*, 2017).

Tabla 3. 29 Indicadores SEMARNAT-GTZ & Indicadores Identificados.

TIPO DE INDICADOR	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	INDICADOR ID
General	<i>Proporción de habitantes con el servicio</i>	%	I-4R
General	<i>Generación de RSU</i>	kg/hab/día	
Barrido Manual	<i>Cobertura de barrido en vías</i>	%	I-1B
Barrido Manual	<i>Cobertura de barrido en plazas</i>	%	I-1B
Barrido Manual	<i>Eficiencia del personal de barrido en vías</i>	km/empleado	I-3B
Barrido Manual	<i>Eficiencia del personal de barrido en plazas</i>	m ² /empleado	I-3B
Barrido Manual	<i>Costo diario de barrido en vías</i>	\$/día	
Barrido Manual	<i>Costo diario de barrido en plazas</i>	\$/día	
Barrido Manual	<i>Costo por kilómetro de vías barridas</i>	\$/km	I-8B
Barrido Manual	<i>Costo por m² de plazas barridas</i>	\$/m ²	I-8B
Barrido Manual	<i>Costo por empleado del barrido manual</i>	\$/empleado	
Recolección	<i>Cobertura en relación con la recolección</i>	%	I-1R
Recolección	<i>Cobertura en relación con habitantes servidos</i>	%	
Recolección	<i>Capacidad real total de las cajas de recolección</i>	m ³	I-2R
Recolección	<i>Capacidad real total de las cajas de recolección</i>	t/día	I-2R
Recolección	<i>Eficiencia del personal de recolección</i>	t/empleado	
Recolección	<i>Eficiencia del equipo de recolección</i>	%	I-2R
Recolección	<i>Costo diario de recolección</i>	(\$/día)	I-10R
Recolección	<i>Costo diario de mantenimiento</i>	(\$/día)	
Recolección	<i>Fracción del costo destinada al mantenimiento</i>	%	
Recolección	<i>Costo por tonelada recolectada</i>	\$/t	I-10R
Recolección	<i>Costo por km recorrido</i>	\$/km	
Recolección	<i>Costo por vehículo recolector</i>	\$/vehículo	
Disposición Final	<i>Eficiencia del uso de maquinaria</i>	%	
Disposición Final	<i>Cobertura en relación con la generación</i>	%	I-2DF
Disposición Final	<i>Cobertura en relación con la recolección</i>	%	
Disposición Final	<i>Cobertura en relación con la transferencia</i>	%	
Disposición Final	<i>Costo diario de la disposición final</i>	\$/día	NO
Disposición Final	<i>Costo diario del mantenimiento</i>	\$/día	
Disposición Final	<i>Fracción del costo destinada al mantenimiento</i>	%	
Disposición Final	<i>Costo por tonelada ingresada</i>	\$/t	I-10DF

3.8 EVALUACIÓN DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

El diagnóstico del MIRSU de los MAE se realizó con base a la evaluación de los ID, para la cual se consideraron los valores de referencia de las tablas 3.24 a 3.28 (Turcott-Cervantes, 2018).

3.8.1 Indicadores Transversales

El indicador *I-1T Existencia de legislación Nacional* se evaluó a nivel Nacional y Estatal considerando la existencia de una Ley y un Reglamento en materia de RSU; y a nivel municipal se observó la vigencia de un Reglamento exclusivo de RSU. El indicador *I-1T Existencia de legislación Nacional* se cumple a nivel nacional, así como para las entidades de Morelos y Guerrero, ya que tienen una Ley y un Reglamento en materia de residuos; mientras que Hidalgo y Querétaro cuentan con una Ley pero no tienen el Reglamento; y el Estado de México no tiene una legislación exclusiva para RSU, sin embargo, tienen dos normas técnicas en materia de RSU, por lo que estas tres entidades cumplirían parcialmente el indicador (Tabla 3.30). A nivel municipal el cumplimiento del indicador *I-1T Existencia de legislación Nacional* es del 20%, del cual al evaluar su cumplimiento (*I-2T Cumplimiento de la Legislación*) no hay municipio que lo siga al 100%, el 46% lo cumple parcialmente y el resto no lo cumple.

En el indicador *I-3T Planeamiento para la gestión de residuos* se evaluó la existencia de un Programa en materia de RSU solo a nivel Nacional y Estatal, debido a que a nivel municipal no se encontraron municipios con un programa vigente en materia de RSU. En este indicador todos cumplen con excepción del Estado de México, dado que no cuenta con un PMPGIRSU.

Para el indicador *I-4T Diagnóstico de la gestión de residuos*, de acuerdo con lo respondido en la CE, el 34% de los MAE reportó tener estudios sobre gestión de residuos, principalmente de composición; sin embargo, la antigüedad no pudo ser evaluada, dado que en su mayoría solo respondieron que alguna vez se realizaron.

Tabla 3. 30 Existencia de Legislación Nacional y Estatal, I-1T.

NIVEL	TIPO	NOMBRE DEL DOCUMENTO	AP UA	EXCLUSIVO RSU
Nacional	L	LGPGIR	2015	Si
Nacional	R	Reglamento de la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos	2014	Si
Estado de México	C	Código para la biodiversidad del Estado de México	2006	No
Estado de México	N	NTEA-010-SMA-RS-2008	2009	Si
Estado de México	N	NTEA-013-SMA-RS-201	2011	Si
Estado de México	R	Reglamento del libro cuarto	2007	No
Guerrero	L	Ley número 593 de aprovechamiento y gestión integral de los residuos del Estado de Guerrero	2008	Si
Guerrero	R	Reglamento de la ley número 593 de aprovechamiento y gestión integral de los residuos del Estado de Guerrero	2009	Si
Morelos	L	Ley de residuos sólidos para el estado de Morelos	2017	Si
Morelos	R	Reglamento de la ley del equilibrio ecológico y la protección al ambiente del estado de Morelos en materia de residuos sólidos municipales y especiales (industriales no tóxicos)	1997	Si
Morelos	R	Reglamento de la ley de residuos sólidos para el estado de Morelos	2008	Si
Hidalgo	L	Ley de prevención y gestión integral de residuos del estado de Hidalgo	2011	Si
Queretaro	L	Ley de prevención y gestión integral de residuos del estado de Querétaro	2004	Si

AP, Año de publicación; C, Código; L, Ley; N, Norma técnica; R, Reglamento; UA, Última actualización

En el indicador *I-5T Perfil del personal en puestos clave* se evaluó el perfil del responsable del manejo de los residuos y al responsable de ecología, aunque en algunos casos estas responsabilidades estaban divididas en diferentes puestos (los cuales no fueron identificados claramente, por lo que se recomienda nuevamente revisar con cada uno de los municipios). Para evaluar si el personal estaba capacitado se consideró que la profesión fuera afín con las actividades relacionadas y la experiencia en años trabajando en la gestión y manejo de residuos. Solo el 6% de los municipios presentaron en ambos puestos a personal que cumple con el perfil requerido, lo cual muestra un área de oportunidad para profesionalizar los puestos en los ayuntamientos y la falta de instrumentos o protocolos que aseguren gente preparada para desempeñar cada uno de los puestos (Figura 3.35); investigaciones como la de Venegas Sahagún *et al.* (2014) demuestran que con instrumentos adecuados y gente capacitada se pueden tener resultados satisfactorios en el MIRSU.

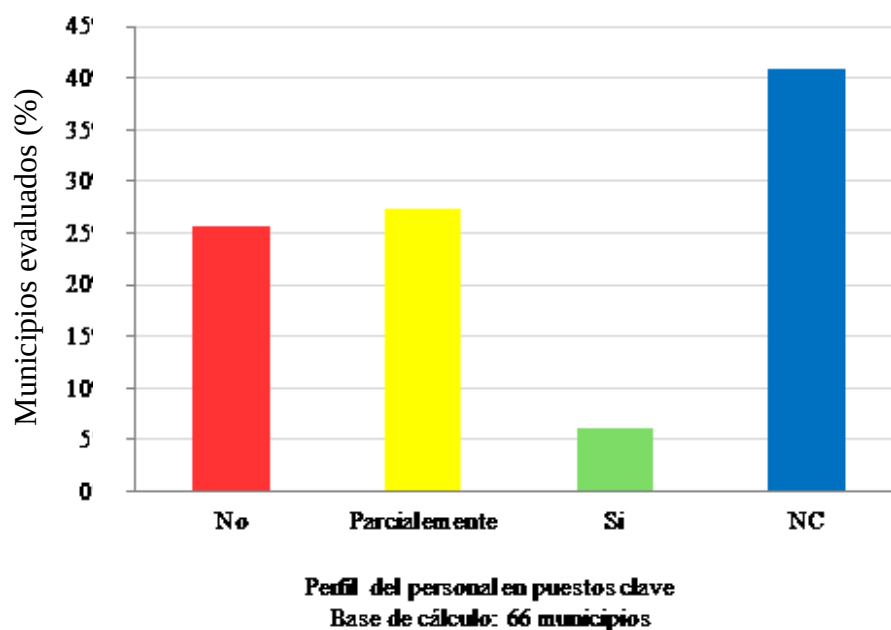


Figura 3. 35 Indicador Perfil del personal en puestos clave, I-5T.

El indicador *I-6T Proporción total de personal informal* muestra la proporción total de personal informal, considerando al personal de las etapas de barrido, recolección y disposición final. Se obtuvo que el 60.9% de los municipios del AE tenían menos del 10% de personal total informal y el 10.9% de los municipios tiene más del 35%; lo cual puede considerarse bueno al compararlo con los rangos establecidos para América Latina y el Caribe (LAC) respecto a trabajadores informales existentes en el reporte realizado por el BID (Tello-Espinoza, *et al.*, 2010), donde reportan un rango entre un 3% y 53% (Figura 3.36).

En los indicadores transversales se observó la carencia de legislación municipal en materia de residuos, no hay reglamentos que apoyen al cumplimiento de las leyes federales y los programas estatales (cuando los hay); no hay una base de información de estudios para saber qué y cuanto se está generando y el personal a cargo no cuenta con los conocimientos necesarios.

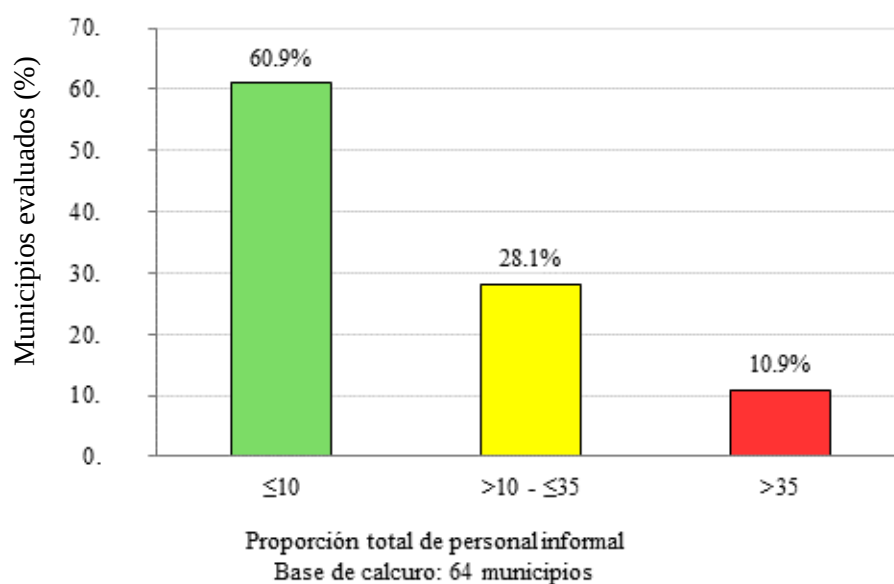


Figura 3. 36 Indicador Proporción total de personal informal, I-6T.

3.8.2 Indicadores Económicos

Para el indicador *I-1E Presupuesto para la gestión de residuos*, nueve de los MAE respondieron que tenían un presupuesto específico para residuos (14%); sin embargo, solo ocho proporcionaron un monto y fue posible estimar el indicador *I-2E Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal*, el cual se encontró entre 0.31% y 6.67% respecto al presupuesto total del municipio (Figura 3.37), menor al estimado de acuerdo con el indicador para estar en verde mayor al 10%.

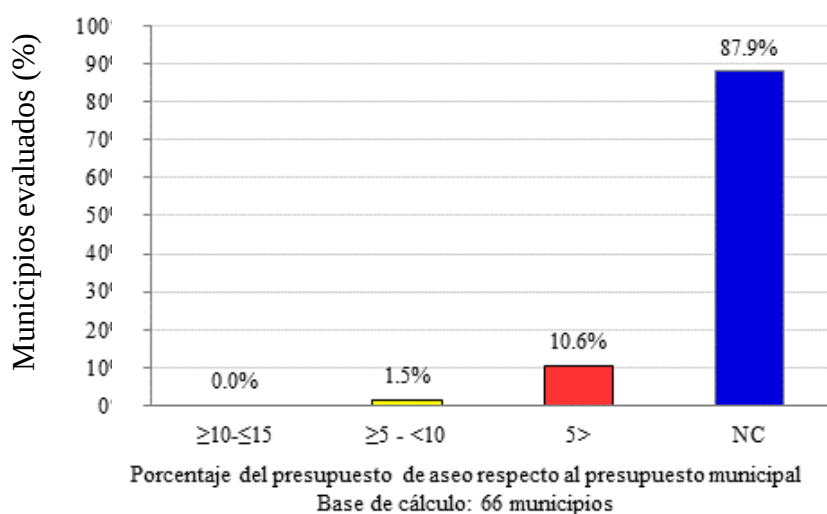


Figura 3. 37 Indicador Presupuesto para la gestión de residuos, I-2E.

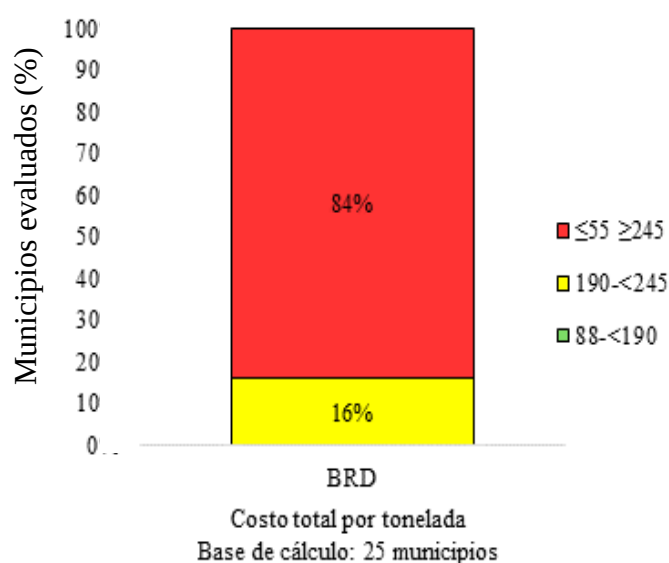
El cálculo del Indicador *I-3E Costo total por tonelada* referente al costo total por tonelada considera diferentes costos de acuerdo con la información brindada para cada una de las etapas por cada uno de los municipios. En la tabla 3.31 se muestra el número de municipios que proporcionó información para cada una de las etapas y los costos máximo, promedio y mínimo que se obtuvieron. La etapa de DF fue la que menores costos reportó, lo cual puede atribuirse a que depositan en su mayoría en TCA.

Tabla 3. 31 Indicador Costo Total por tonelada, I-3E.

ETAPA	VALOR (MXPS\$/t)			CANTIDAD DE MUNICIPIOS
	MÁXIMO	PROMEDIO	MÍNIMO	
TODAS	1289.00	409.00	6.00	60
B	128.21	71.86	29.56	7
BR	873.08	483.77	199.62	14
BRD	1663.00	637.00	124.20	25
DF	115.38	64.20	6.01	5
R	350.00	168.17	12.26	8
RD	904.40	672.53	440.66	2
NC	0.00	0.00	0.00	4

B. Barrido; DF. Disposición Final; NC. No contesto; R. Recolección

Analizando solo los 25 municipios que proporcionaron datos de las tres etapas (Barrido, Recolección y DF), el 84% de los municipios tienen un costo por tonelada menor a 1100 pesos, es decir, están gastando menos de lo que se deberían invertir para tener una adecuada gestión de sus RSU (Figura 3.38); solo el 16% tiene un gasto promedio de lo que deberían gastar y no se tiene ningún municipio que invierta lo necesario para un buen manejo de los residuos.



B. Barrido; R. Recolección. D. Disposición

Figura 3. 38 Costo total por tonelada, I-3E.

Al analizar los indicadores *I-8B Costo de Barrido*, *I-10R Costo de recolección y transporte*, *I-10DF Costo en DF* incrementó el número de municipios que dieron respuesta y fue posible tener una idea más clara del costo asociado a cada una de las etapas, mostrando que la etapa en la que más invierten los MAE es en recolección y el gasto promedio en barrido y DF es semejante (Tabla 3.32). En relación con el 2003 se reportaban costos estimados en recolección de 140 a 120 MXP/t, y para una disposición controlada de 100 a 140 MXP/t (Bockelmann, 2003), observando con este trabajo que en 15 años se ha duplicado y hasta quintuplicado el costo.

Tabla 3. 32 Costo por tonelada en cada etapa.

ETAPAS	MAX	PROMEDIO	MIN	CANTIDAD DE MUNICIPIOS
I-8B Barrido MXP/t	269.23	91.88	0.96	45
I-10R Recolección MXP/t	860.44	325.71	12.26	50
I-10DF Disposición final MXP/t	327.66	92.11	6.01	30

De acuerdo con los valores establecidos en la evaluación (Tabla 3.27 a 3.29), el costo máximo que se tiene en barrido en los municipios estudiados están 83% debajo de lo que sería un valor optimo y un 94% con respecto al promedio, lo cual se refleja en la limpieza de las vías públicas de la mayoría de los municipios y, se debe principalmente a que solo se limpian las calles y plazas públicas principales y se

hace manualmente. En recolección se refleja que más de la mitad de los municipios no gastan lo que deberían y se refleja en la falta de servicio a toda la población; mientras que en DF, al depositar en su mayoría en TCA, los costos están por debajo del gasto asociado a una buena disposición, con esto queda evidenciado que en realidad las municipalidades no deberían estar ocupadas en reducir costos, sino en operar bien cada una de las etapas y cubrir las necesidades de salud pública y cuidado del medio ambientales, buscando inversión y aplicando adecuadamente los recursos (Figura 3.39).

El indicador *I-4E Existencia de tarifa específica*, el 9% de los municipios respondió que tienen parcialmente aplicada a alguna industria, gasolinera o comercio, pero no existe una tarifa oficial establecida para la población correspondiente al servicio de manejo de RSU. Pese a los esfuerzos realizados en el 2003 con la publicación de la LGPGIR donde se indica que “el que contamina paga” y se establece la responsabilidad de los generadores, así como en el trabajo publicado por la GTZ en el 2003 sobre la implementación de tarifas (Bockelmann, 2003; DOF, 2003); aún ningún MAE tienen una tarifa específica para la población por concepto de limpia.

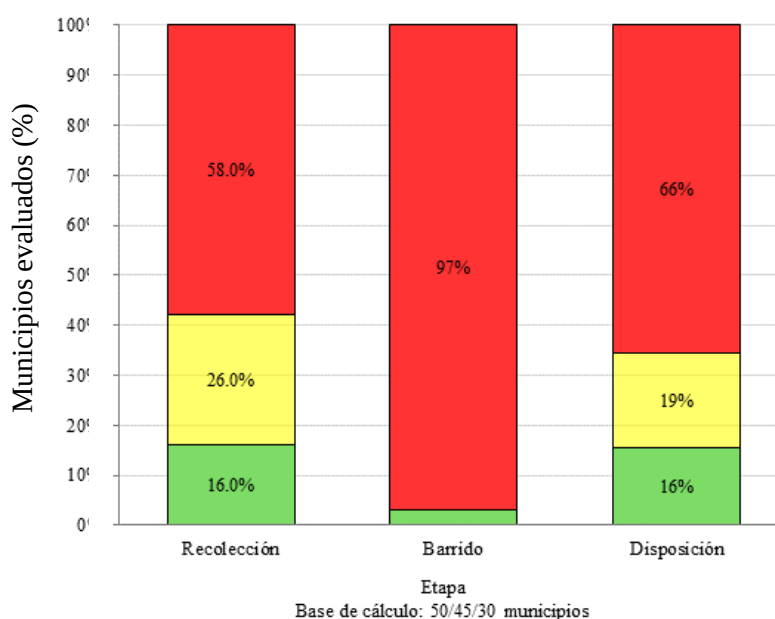


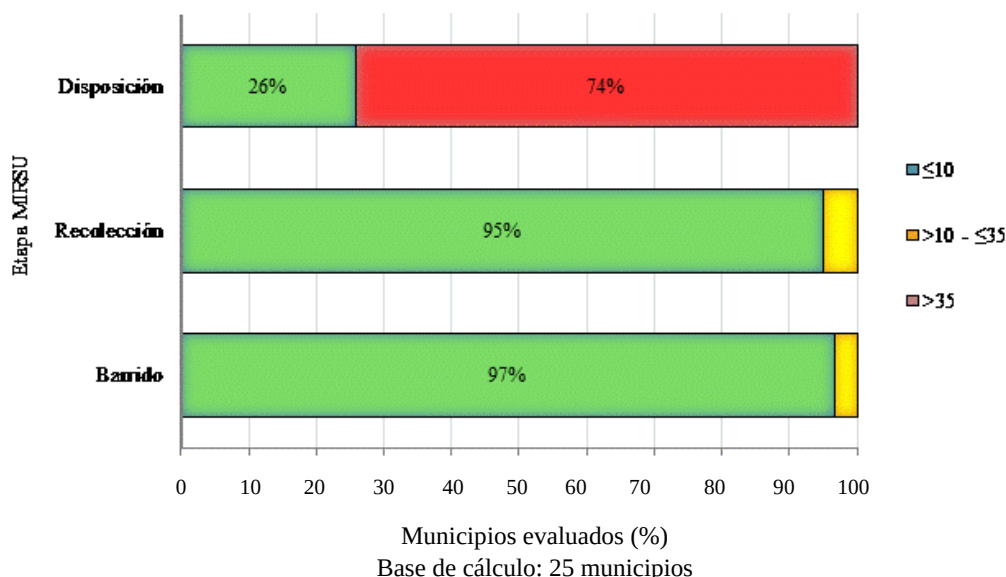
Figura 3. 39 Evaluación Indicadores costo por etapa (%).

En los indicadores económicos se muestra que pocos municipios parecen tener conocimiento del presupuesto del que pueden disponer, lo cual limita su actuar, así como el realizar una planeación a futuro que incluya costos de retorno de inversión; centrándose en cumplir con retirar los RSU de cada día, por otro lado, no se tienen los elementos necesarios para estimar el costo por tonelada; por lo cual aplica “lo

que no se mide no se controla, y lo que no se controla difícilmente se mejora” (Turcott- Cervantes, 2018). También la inexistencia de una tarifa complica la inversión y la mejora en las diferentes etapas del manejo de los RSU (Bockelmann, 2003).

3.8.3 Indicadores Desarrollo personal

Los indicadores *I-7B Proporción de personal informal en barrido*, *I-9R Proporción de personal informal en recolección y transporte*, *I-7DF Proporción de personal informal en SDF* muestran la proporción de personal informal que se tiene en cada una de las etapas respectivamente, encontrando en Recolección y Barrido el menor porcentaje de municipios con personal informal del 10% al 35% (amarillo), mientras que en disposición el 74% de los MAE tienen personal informal; de los cuales el personal informal supera el 35% debido a los segregadores que operan en los TCA (Figura 3.40).

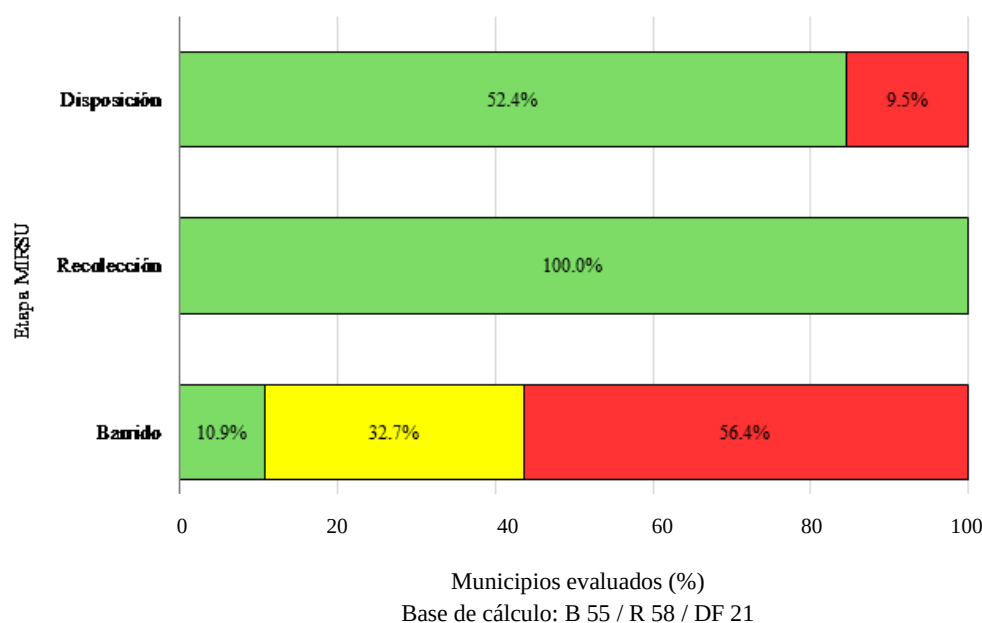


MIRSU. Manejo Integral de Residuos sólidos urbanos

Figura 3. 40 Proporción de personal informal en cada etapa.

A través de los indicadores *I-2B Personal formal de limpieza viaria por cada 10000 habitantes*, *I-5R Personal formal de recolección y transporte por cada 1000 toneladas*, *I-4DF Personal formal en RESA por cada 1000 toneladas* se evaluó la cantidad de personal formal por cada 10000 habitantes y por cada 1000 toneladas recolectadas; en Barrido el valor óptimo serian 4 o más de 4, teniendo solo pocos municipios con esta cantidad, y en rojo menor a 2, que es en donde se encuentra la mayoría de ellos, mientras que en Recolección más de 0.1 es lo necesario y todos lo cubren, por lo que el no tener una

cobertura del 100% de la población tendría que ver más con otros aspectos del sistema, no con la falta de personal. En DF aproximadamente la mitad de los municipios tendrían el personal necesario para operar adecuadamente, el resto si debe contemplar incrementar el número de personas, sin embargo, el que tengan el personal en la cantidad sugerida no necesariamente indica que sea apto para desempeñar las funciones requeridas y operar un SDF adecuadamente (Figura 3.41).



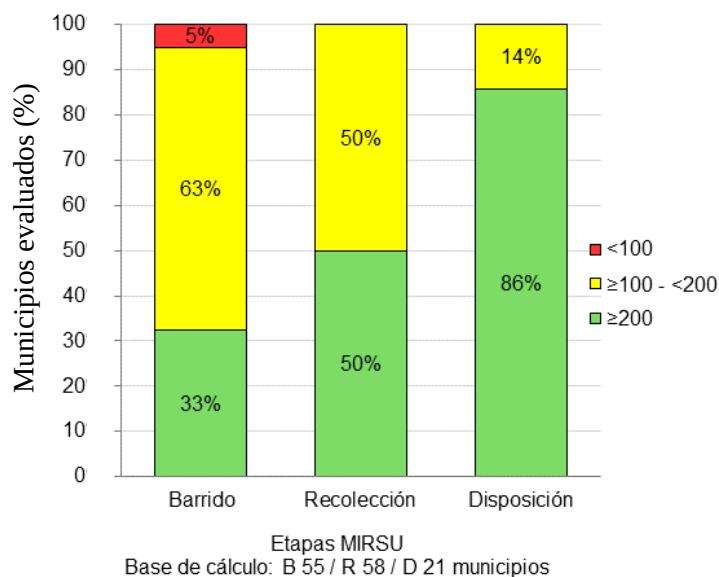
B. Barrido; D. Disposición; MIRSU. Manejo Integral de Residuos sólidos urbanos; R. Recolección

Figura 3. 41 Personal formal por cada 10,000 habitantes y 1000 toneladas recolectadas.

Los municipios pueden tener la cantidad de personal adecuado, pero es importante conocer las condiciones de trabajo; por ello se evaluó el sueldo con respecto al salario mínimo y si contaban con seguridad médica (*I-4B Salario promedio en limpieza viaria comparado con el salario mínimo, I-7R Salario promedio en recolección y transporte comparado con el salario mínimo, I-5DF Salario promedio en SDF comparado con el salario mínimo, I-5B Empleados con prestación de servicio médico, I-8R Empleados con prestación de servicio médico, I-6DF Empleados con prestación de servicio médico*). En cuanto al salario, en DF hay mayor cantidad de municipios con empleados por arriba del 200%, en recolección la mitad de los municipios están en buenas condiciones y en barrido el 5% gana menos del salario mínimo establecido (Figura 3.42).

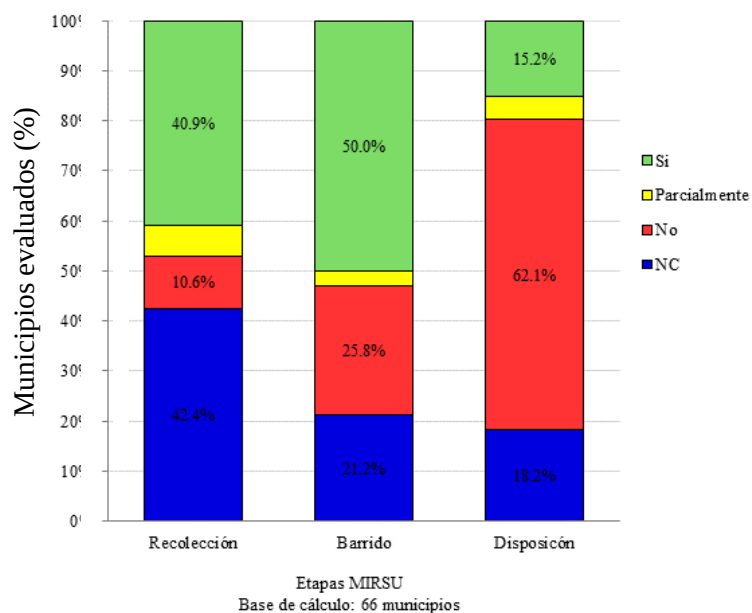
En cuanto al indicador *Empleados con prestación de servicio médico* en cada una de las etapas (*I-5B Empleados con prestación de servicio médico, I-8R Empleados con prestación de servicio médico, I-6DF Empleados con prestación de servicio médico*); la etapa de Barrido presentó mayor cobertura de

empleados con el servicio; en DF fue mínima y el mayor porcentaje de municipios contestó que no contaban con éste; y en Recolección la mayoría de los municipios no contestó (Figura 3.43).



B. Barrido; D. Disposición; MIRSU. Manejo Integral de Residuos sólidos urbanos; R. Recolección

Figura 3. 42 Salario promedio comparado con el salario mínimo.



MIRSU. Manejo Integral de Residuos sólidos urbanos

Figura 3. 43 Personal que cuenta con servicio médico en los municipios estudiados.

3.8.4 Indicadores de Aspectos técnicos

En los Aspectos técnicos se agruparon los indicadores sobre rendimiento de cada etapa del MIRSU, grado de aprovechamiento de los vehículos recolectores, tipo de SDF, e intensidad de uso de suelo.

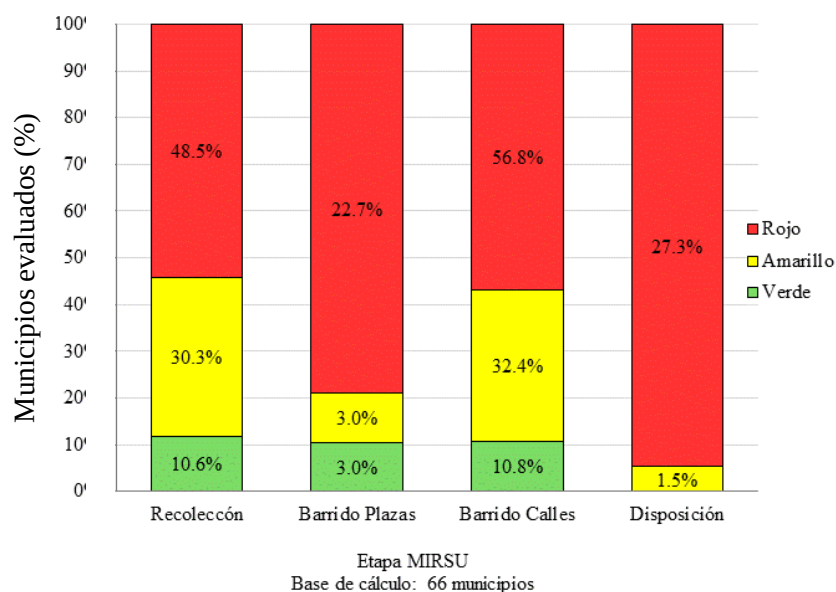
Es importante saber el rendimiento que se tiene en cada etapa a fin de medir si se está desempeñando adecuadamente o es necesario implementar alguna acción. En el Barrido de plazas hay un rango muy amplio entre los m² que se barren en los municipios, mientras que en calles el rango es menor, barriendo en promedio un 1km/día de acuerdo con los resultados obtenidos.

Las etapas de Recolección y DF presentaron un rendimiento con un rango muy amplio, las toneladas recolectadas van de 50 a 420 kg/h y los residuos dispuestos de 200 a 4840 kg/h (Tabla 3.33). En DF no necesariamente son los kg/h depositados adecuadamente, es decir que es el tiempo que usaron para compactar y cubrir las toneladas depositadas, debido a que los sitios que operan como TCA no realizan estas operaciones diariamente y el personal en el sitio generalmente tiene las funciones de vigilante.

Tabla 3. 33 Rendimiento en Barrido, Recolección y Disposición de residuos sólidos.

ETAPAS	MAX	PROMEDIO	MIN	CANTIDAD DE MUNICIPIOS	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Rendimiento Barrido (m ² /día)	2857.14	860.28	50	19	979.01
Rendimiento Barrido (km/día)	1.5	0.73	0.02	34	0.39
Rendimiento Recolección (t/h)	0.42	0.19	0.05	52	0.10
Rendimiento DF (t/h)	4.84	1.37	0.2	19	1.23

De acuerdo con los valores establecidos en la semaforización para los indicadores de rendimiento, la mayoría de los municipios (más del 50%) están en rojo, debido a que se carece de control y seguimiento en la operación de cada una de ellas. Siendo la etapa de barrido la única que muestra un 10% de municipios con un desempeño bueno (verde). De ahí la importancia de evaluar y revisar el costo individual que tiene cada municipio, probablemente tengan un buen rendimiento a un costo muy alto o peor aún, un desempeño deficiente y costos altos (González de Audicana, 2017; Munizaga, 2016; Paraguassú & Rojas, 2002) (Figura 3.44).



MIRSU. Manejo Integral de Residuos sólidos urbanos

Figura 3. 44 Rendimiento en cada etapa.

En la etapa de Recolección un factor importante en la eficiencia es la optimización del uso de la capacidad de los vehículos recolectores, por ello en el indicador *I-2R Grado de aprovechamiento* se mide el grado de aprovechamiento de ellos. El 23.2% de los municipios aprovechan más del 80% de la capacidad de sus vehículos y el 30.4% de ellos menos del 50% (Figura 3.45). Este indicador es clave para implementar acciones y con ello incrementar la cobertura o disminuir los costos (González de Audicana, 2017).

Con el indicador *I-3R Intensidad de desplazamiento*, se evaluó la cantidad de km recorridos por tonelada recolectada encontrando que de 19 municipios que brindaron información se obtuvo un rango de 0.5 hasta 20.23 km/t (promedio 5.99 km/t). La mayoría de los municipios (94.7%) recorre menos de 15 km (desempeño bueno, tabla 3.26), que puede deberse a una o a varias de las siguientes razones: se priorizan zonas centrales o con mayores núcleos de población del municipio (dejando periferias y zonas rurales sin servicio), el SDF se encuentra cercano a la cabecera municipal y el desplazamiento es mínimo (aunque en su mayoría sean TCA), son eficientes respecto a la recolección. El resto de los municipios (5.3%) presenta un desempeño regular, recorriendo entre 15 y 30 km por tonelada recolectada. Este indicador, por lo tanto, debe ser relacionado con *Población atendida por el servicio de recolección* (I-4R) y el *Rendimiento del trabajo de recolección y transporte* (I-6R).

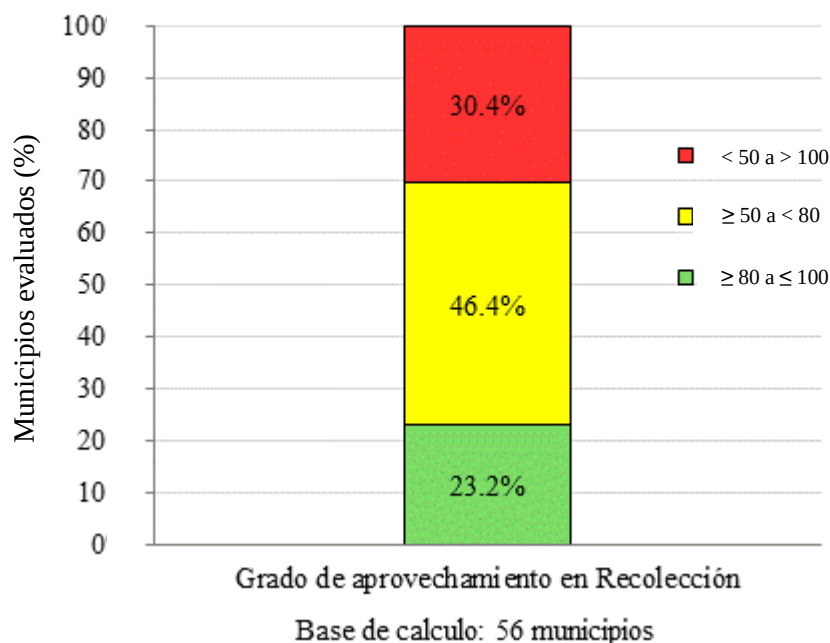


Figura 3. 45 Grado de aprovechamiento en recolección y transporte I-2R.

Los indicadores de la etapa de Recolección fueron en los que se brindó más información comparada con las otras etapas, sin embargo, a pesar de que algunas de las autoridades entrevistadas consideran una eficiencia de recolección del 100% realmente es menor o existe un considerable sector informal, por ello es importante realizar estudios de generación de RSU (Hernández-Berriel et al., 2016). Al igual que los otros indicadores es necesario registrar la información y analizarla, para mejorar tanto la eficiencia del servicio como las condiciones de trabajo del personal a cargo.

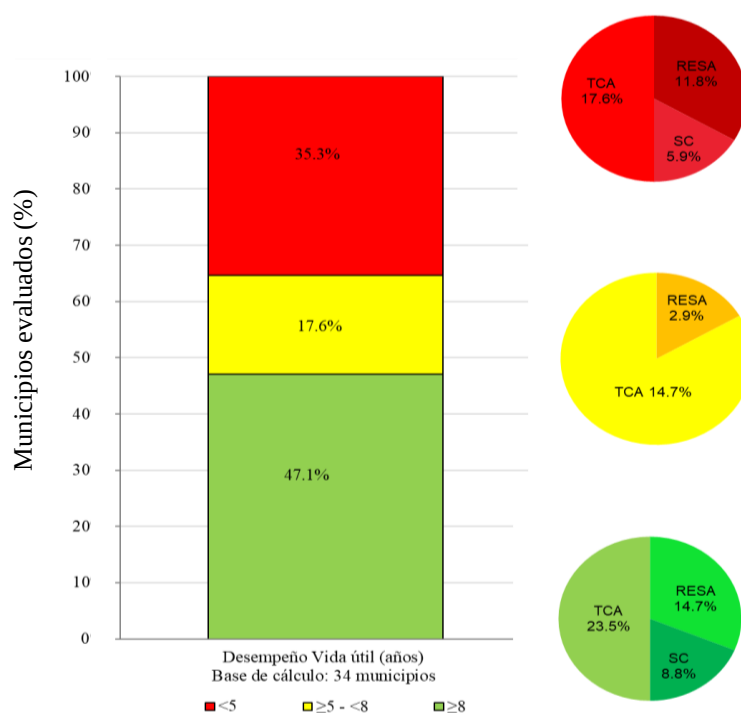
Con el indicador *I-3DF Vida útil disponible del SDF* se revisó el tiempo disponible que tienen las municipalidades para depositar en su actual sitio, los resultados obtenidos se analizaron por tipo de SDF, encontrando que no hay una relación directa entre el tipo de sitio y los años de vida, es decir no tienen menos o más años un tipo de SDF en específico, sin embargo, se observó una mayor variación en los RESA (Tabla 3.34).

Tabla 3. 34 Indicador Vida útil disponible de los sitios de disposición final, I-3DF.

ETAPAS	MAX	PROMEDIO	MIN	CANTIDAD DE MUNICIPIOS	DESVIACIÓN ESTANDAR
RESA	25	11.6	1	10	10.87
SC	20	9.2	1	5	7.59
TCA	20	8.6	0	19	7.29
Todos	25	9.5	0	34	8.37

RESA, Relleno Sanitario; SC, Sitio Controlado; TCA, Tiradero a Cielo Abierto.

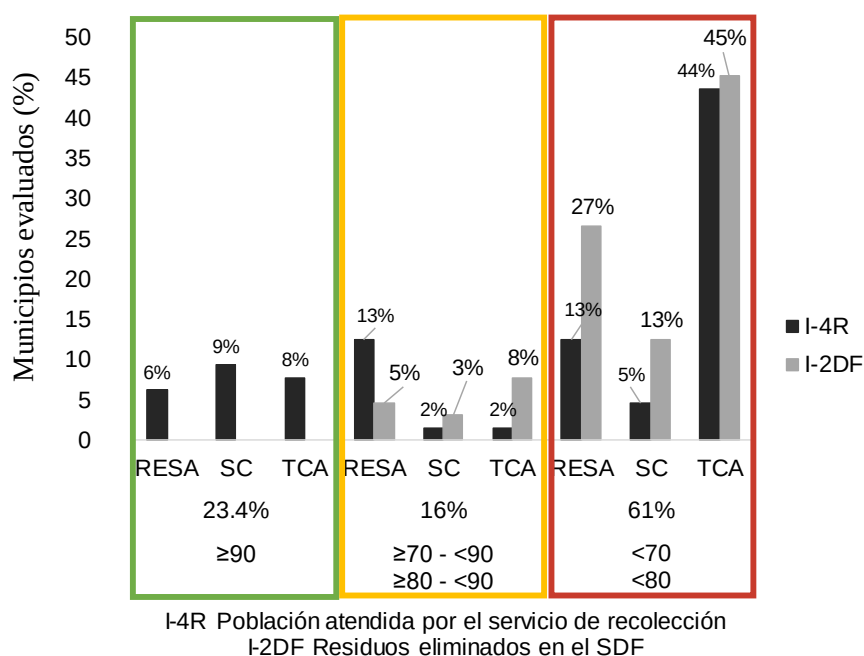
Al comparar contra la valorización establecida, casi la mitad de los municipios analizados tuvieron un tiempo de vida suficiente (desempeño en verde), contra 35.3% de municipios que tienen menos de cinco años y tendrán que tomar como prioridad la ubicación de un nuevo SDF. En los tres niveles el mayor porcentaje correspondió a TCA y de los pocos RESA, el 11.8% tiene menos de cinco años, por lo que de no invertir en nuevos sitios adecuados que cumplan con la NOM-083-SEMARNAT-2003, y no tomar acciones para prolongar su vida útil, la cantidad de RESA en México en lugar de incrementar tenderá a disminuir (Figura 3.46).



SC. Sitio controlado; RESA. Relleno sanitario; TCA. Tiradero a cielo abierto

Figura 3. 46 Indicador vida útil de los sitios de disposición I-3DF.

Dentro de los principales indicadores se encuentra el *I-4R Población atendida por el servicio de recolección* que indica el porcentaje de población servida, sin embargo, no solo es importante recolectar los RSU si no depositarlos adecuadamente, por lo que se analizó en conjunto con el *I-2DF Residuos eliminados en RESA* que evalúa la cantidad de RSU dispuestos en RESA. Solo el 23.4% de los municipios sirven a más del 90% de su población, de los cuales solo el 6% lo depositan adecuadamente, sin embargo no hay ningún municipio que deposite más del 90% de sus RSU generados en un RESA; se evaluó en rojo al 61% de los municipios que atiende a menos del 70% de su población, de los cuales, el 27% deposita menos del 80% en RESA y la mayoría (45%) deposita en TCA. (Figura 3.47).



SC, Sitio controlado; RESA, Relleno sanitario; TCA, Tiradero a cielo abierto

Figura 3. 47 Distribución de municipios respecto a la cobertura en recolección y disposición en final.

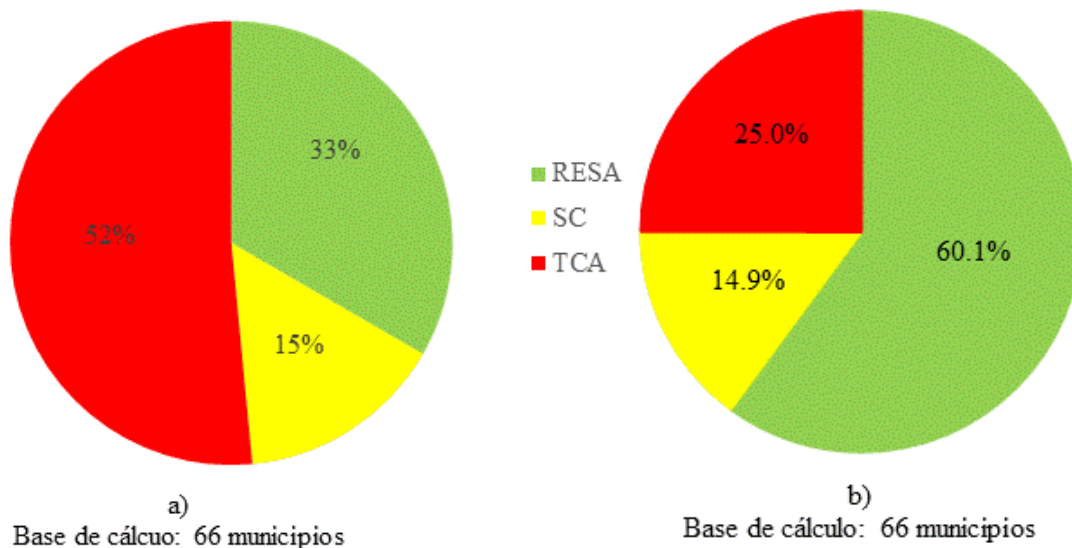
El indicador *I-8DF Intensidad del uso de suelo en disposición final* evalúa la superficie utilizada del sitio respecto a los RSU depositados, este indicador tiene alta incertidumbre en los cálculos, debido a que no se tiene registro real de la cantidad de RSU depositados, el área en que se deposita y la compactación que se da (naturalmente o por compactación con máquinas), adicionalmente está influenciada por los constantes incendios que reportaron tener varios de los municipios, sin embargo con la información obtenida se realizaron los cálculos, obteniendo que todos los MAE cumplen adecuadamente este indicador (Tabla 3.35).

Tabla 3. 35 Intensidad de uso de suelo en disposición final, I-8DF.

ETAPAS	MAX	PROMEDIO	MIN	CANTIDAD DE MUNICIPIOS	DESVIACIÓN ESTANDAR
RESA	1.87	1.01	0.20	6	0.682
SC	0.85	0.36	0.08	6	0.4214
TCA	1.42	0.37	0.04	15	0.40925
TODOS	1.87	0.55	0.04	27	0.53019

RESA, Relleno Sanitario; SC, Sitio Controlado; TCA, Tiradero a Cielo Abierto

Finalmente, el Indicador *I-9DF Tipo de sitio de disposición final* se evaluó los *Tipos de SDF* usados por los MAE, obteniendo que el 52% de los municipios depositan en TCA; sin embargo, no necesariamente en éstos se deposita el mayor volumen de RSU generados, por ello se analizó del volumen total recolectado por los municipios y el volumen que se deposita en cada uno de ellos, determinando que el 60.1% de los RSU generados se deposita en RESA y solo el 25% se lleva a TCA (Figura 3.48).



SC, Sitio controlado; RESA, Relleno sanitario; TCA, Tiradero a cielo abierto

Figura 3. 48 a) Tipo de Sitio de disposición I-9DF b) Porcentaje de residuos depositados de acuerdo con el tipo de Sitio de disposición.

En tabla 3.36 se muestra un resumen por entidad de los SDF en los que depositan los municipios de acuerdo con la información contestada por los ayuntamientos a través de la CE.

Tabla 3. 36 Resumen Sitios de Disposición Final de los municipios estudiados.

ENTIDAD	NO. MUNICIPIOS	TIPO DE SDF EN CE				CONCESIONADO			TIPO DE RESA				
		RESA	SC	TCA	NC	SI	NO	NC	A	B	C	D	NC
Estado de México	36	8	6	22		28	8		1	5	18	10	2
Guerrero	8		1	6	1	6	2				4	2	2
Hidalgo	14	7		7		3	9	2	1	2	9	2	
Morelos	10	6	1	2	1	1	6	3	1		6	2	1
Querétaro	2	2				1	1		1		1		
Total general	70	23	8	37	2	5	50	15	4	7	38	16	5

CE, Cédula de encuesta; SC, Sitio controlado; SDF, Sitio de disposición final; NC, No contesto; RESA, Relleno sanitario; TCA, Tiradero a cielo abierto.

En la tabla 3.37 se muestra información de la ubicación de los SDF, en los cuales están disponiendo los municipios, observándose que los que depositan fuera llevan a sitios privados o de gobierno, como es el caso de Morelos. En los que no aplica (NA) se debe a que son SDF particulares y no es responsabilidad de los municipios tener un plan de regularización, si no de la empresa que lo opera.

Tabla 3. 37 Situación de los sitios de disposición de los MAE.

ENTIDAD	TOTAL, DE MUNICIPIOS	UBICACIÓN DE LOS SDF						PLAN DE REGULARIZACIÓN				AÑOS DE SERVICIO				
		FUERA		DENTRO			NC									
		SI	NO	NC	NA	<10	≤ 10 - 20 ≥	>20	NC							
		P	G	P	M	NC	P	NC								
Estado de México	36	9		4	20	2	1		3	3	21	9	10	7	3	16
Guerrero	8				5	2	1			1	7			4	4	
Hidalgo	14	7			6	1					7	7	3	1		10
Morelos	10	3	5		1		1				7	3	1	3	1	5
Querétaro	2			1	1				1			1		2		

P, Privado; G, Gobierno; M, Municipio; NC, No Contesto; NA, No Aplica

En la tabla 3.38 se presenta el tipo de operación que reportaron los MAE en la CE que realizan en los SDF, mostrando que menos del 15% tienen operación diaria, aunque no necesariamente realizan cobertura; y más del 50% no contestó si se realizaba alguna compactación y/o se colocaba material de cobertura.

En cuanto a los SDF reportados, en su mayoría fueron TCA sin ningún control, por lo que mucha de la información no está disponible o no se tiene. Los pocos RESA que se registraron no pertenecen al municipio y operan como intermunicipales o regionales y los municipios no tiene acceso a la información de su operación.

Tabla 3. 38 Tipo de operación en el SDF.

ENTIDAD	TOTAL, DE MUNICIPIOS	TIPO DE OPERACIÓN Y FRECUENCIA												
		MANUAL	MANUAL Y MECANICA		MECANICA							NC		
		FRECUENCIA DE COMPACTACIÓN (COBERTURA NO SIEMPRE)												
		NC	DIARIO	CADA 2 MESES	DIARIO	CADA TERCER DIA	1 / SEMANA	1/ QUINCENA	1/MES	1/2MESES	1/6MESES	1/8 MESES	NO HAY NC	1/AÑO
Estado de México	36	1	1	1	6	2	1	1	1	2	1			19
Guerrero	8												1	7
Hidalgo	14				1		1	1	1	1		1		7
Morelos	10				1								2	7
Querétaro	2				1								1	

NC. No contesto

3.8.5 Evaluación global de Indicadores

Al analizar todos los indicadores de todos los municipios (Figura 3.49) se obtuvo que predominan los evaluados con Desempeño deficiente (rojo) y los No contestados (en promedio 11 de los 37 aplicados).

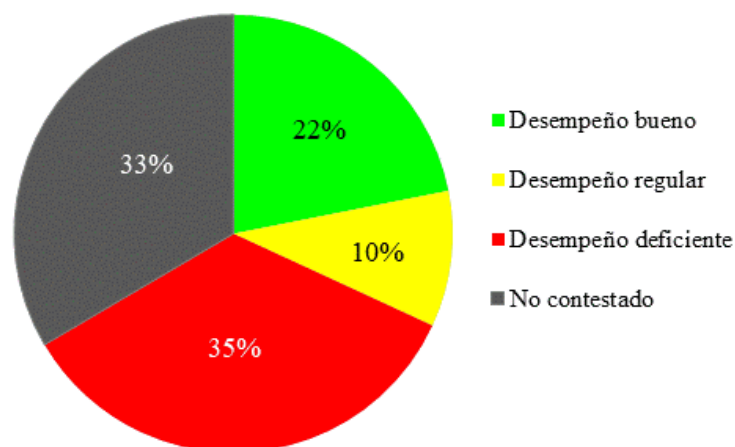
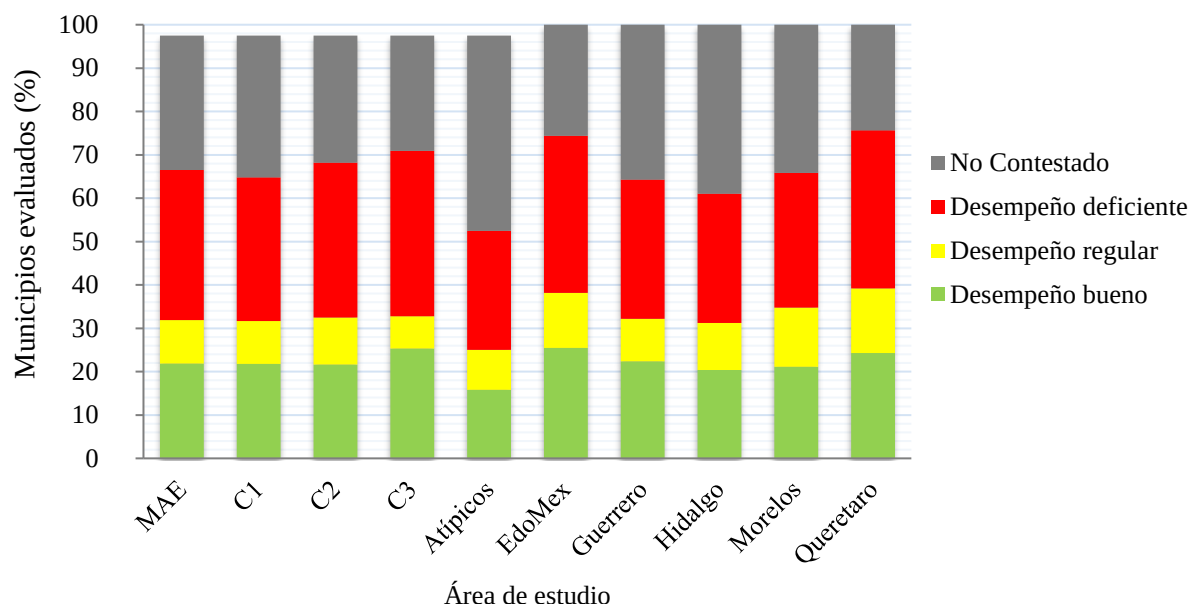


Figura 3. 49 Evaluación global de los indicadores.

Si se analiza por Clúster (C1: clúster 1; C2: clúster 2; C3: clúster 3) y por entidad se determina que la cantidad de indicadores desempeño bueno (verdes) se encuentra entre el 16 y el 25%; con desempeño regular (amarillos) 8 a 11%, desempeño deficiente (rojos) 28 a 36% y, sin poder calcularse debido a que no se contestó algún dato, entre el 27 y 45%; dejando ver la enorme área de oportunidad que tienen los ayuntamientos en el MIRSU dado que más de la mitad se encuentra en no contestado y desempeño deficiente (Figura 3.50).



C1. Clúster 1; C2. Clúster 2; C3. Clúster 3; MAE, municipios del área de estudio

Figura 3. 50 Análisis Indicadores por clúster y por entidad.

Al analizar los indicadores por categoría y etapa, se encontró en todos que el mayor porcentaje fue de Desempeño deficiente (rojo), especialmente en Temas Transversales; el mayor porcentaje con Desempeño regular fue en Recolección (amarillo); el menor porcentaje con Desempeño bueno (verde) se obtuvo en Barrido; y el mayor porcentaje indicadores No contestados se tuvo en DF; denotando la importancia que tiene contar con instrumentos gubernamentales en materia de RSU como lo son los PMGIRSU y sus respectivos reglamentos (Figura 3.51) (Venegas Sahagún, 2018).

En cuanto a municipios, la mayor cantidad de indicadores con Desempeño bueno (verdes) la obtuvo Xalatlaco, Estado de México (20), seguido por Chapantongo Hidalgo, Juchitepec Morelos y Tepeji del Rio de Ocampo Hidalgo (14); con Desempeño regular (amarillos) fueron Villa del carbón Estado de México con 12, Xalatlaco Estado de México con 9, y con 8 Huehuetoca Estado de México, Axapusco

Estado de México, Miacatlán Morelos, Coatlán del Río Morelos y Axapusco Estado de México; con Desempeño deficiente (rojos) se detectaron con 21 Atlautla Estado de México, 20 Nopala de Villagrán Hidalgo, 18 Acambay Estado de México y 17 Tepetlixpa Estado de México y Aculco Estado de México. Los municipios que no brindaron suficiente información (No contestaron) para poder calcular indicadores fueron con 26 Teloloapan Guerrero, con 24 Temascalcingo Estado de México, con 21 Tlanalapa Hidalgo y Tolcayuca Hidalgo, y con 20 Hueypoxtla Estado de México, Villa de Tezontepec Hidalgo y Tizayuca Hidalgo (Figura 3.52).

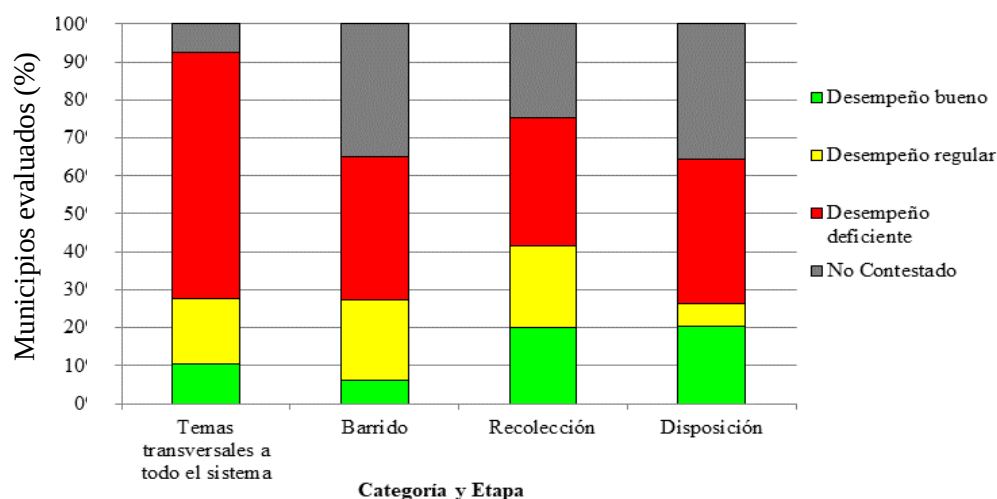


Figura 3. 51 Evaluación global de indicadores por etapas.

Los indicadores presentados previamente se pueden relacionar, analizar e interpretar de manera conjunta. Por ejemplo, en la figura 3.53 (elaborada con el programa Python ejecutado en Jupyter Notebookse) se presentan los 66 municipios que proporcionaron información, donde se puede observar el costo por tonelada (círculo, entre más grande mayor costo) contra el desempeño global obtenido (color del círculo, rojo mejor desempeño, azul menor desempeño). Es de destacar dos casos: el municipio X1 (Xalatlaco Estado de México) que es el que más ha invertido en gestión de residuos y es a la vez, el que mejores resultados ha obtenido en la evaluación del conjunto de indicadores propuestos, y el municipio X2 Tepeji del Río de Ocampo Hidalgo, que es el segundo municipio mejor evaluado, pero su inversión por tonelada es menor, es decir está siendo más eficiente.

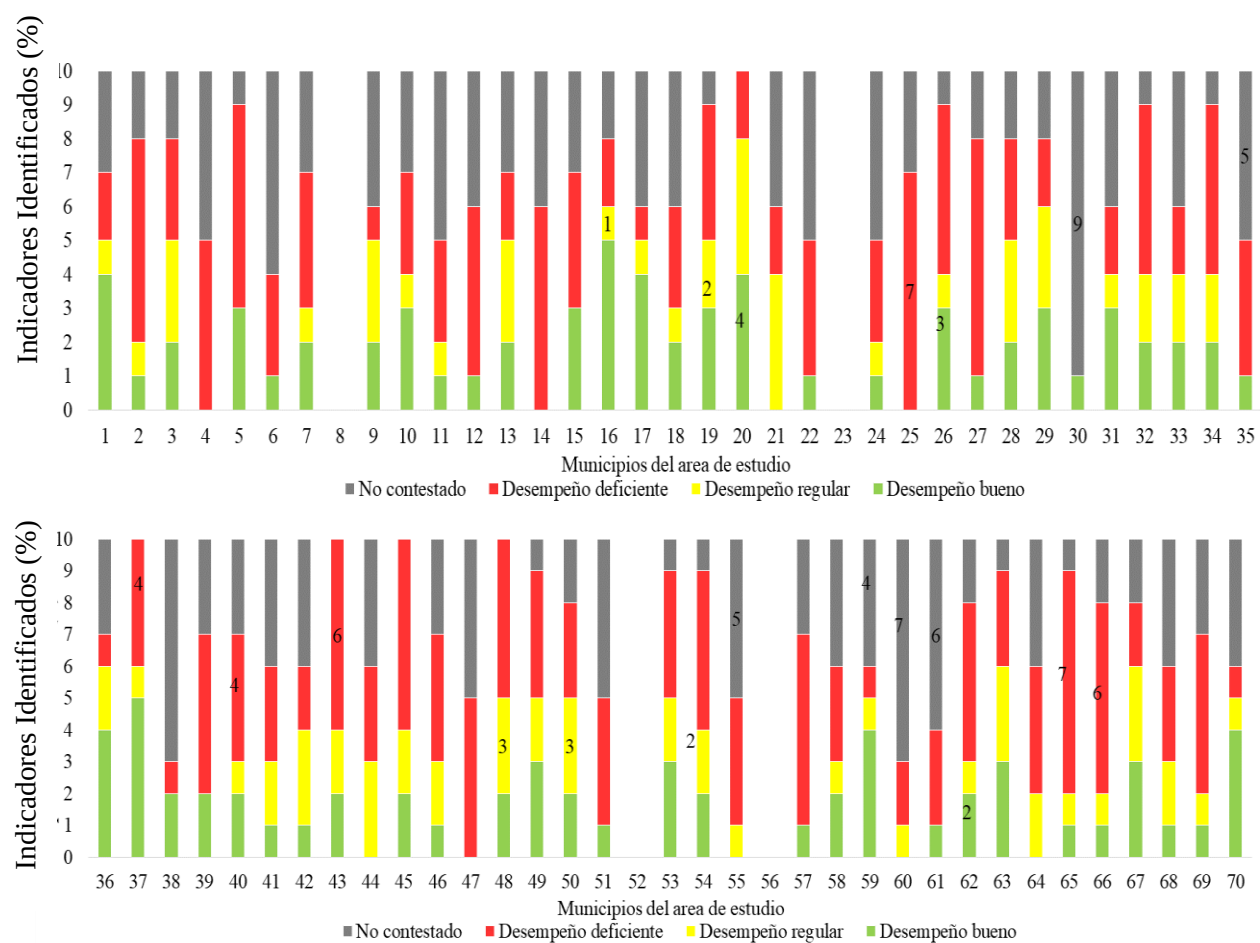
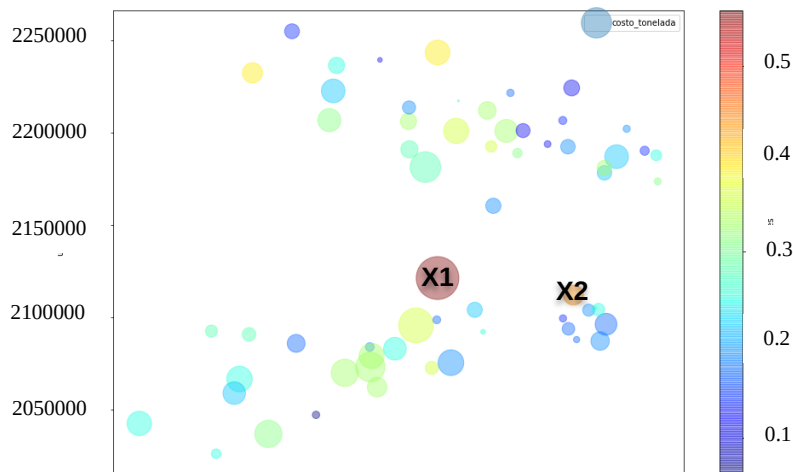


Figura 3. 52 Semáforo de indicadores por municipio.



X1. Primer municipio con mejor desempeño y mayor inversión; X2. Segundo municipio con mejor desempeño

Figura 3. 53 Costo por tonelada versus cantidad de indicadores evaluados con Desempeño bueno.

3.8.6 Calidad de los Indicadores

La calidad de los indicadores obtenidos considerando todas las respuestas de los municipios se muestra en la figura 3.54, obteniéndose que predominan los de Calidad aceptable (B, Tabla 2.3). Descartando los indicadores No contestados, la siguiente categoría predominante fue Calidad desconocida, ésto implica que los indicadores categorizados en esta última no serían confiables para tomar decisiones acertadas respecto a la mejora de los sistemas de gestión; sin embargo, proporciona un panorama sobre qué información hay que mejorar desde la recopilación/generación, registro, accesibilidad/transparencia, etc.

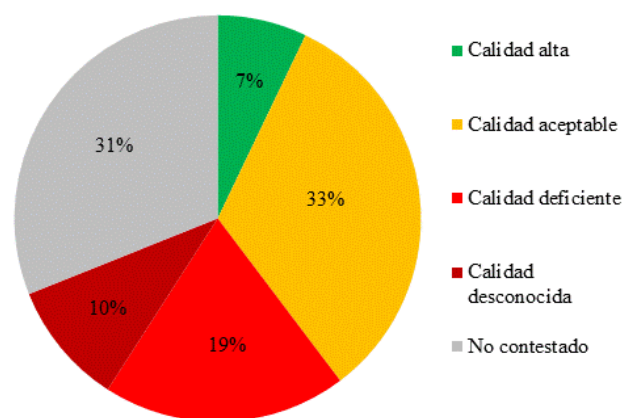


Figura 3. 54 Calidad de los indicadores considerando todas las respuestas de los municipios.

En la Figura 3.55 se muestra la calidad de los indicadores respecto a la evaluación obtenida, los indicadores con Desempeño deficiente, también son los que han obtenido valoraciones bajas en lo que respecta a la calidad, haciendo reflexionar sobre la frase “lo que no se mide no se controla” (Turcott-Cervantes, 2018).

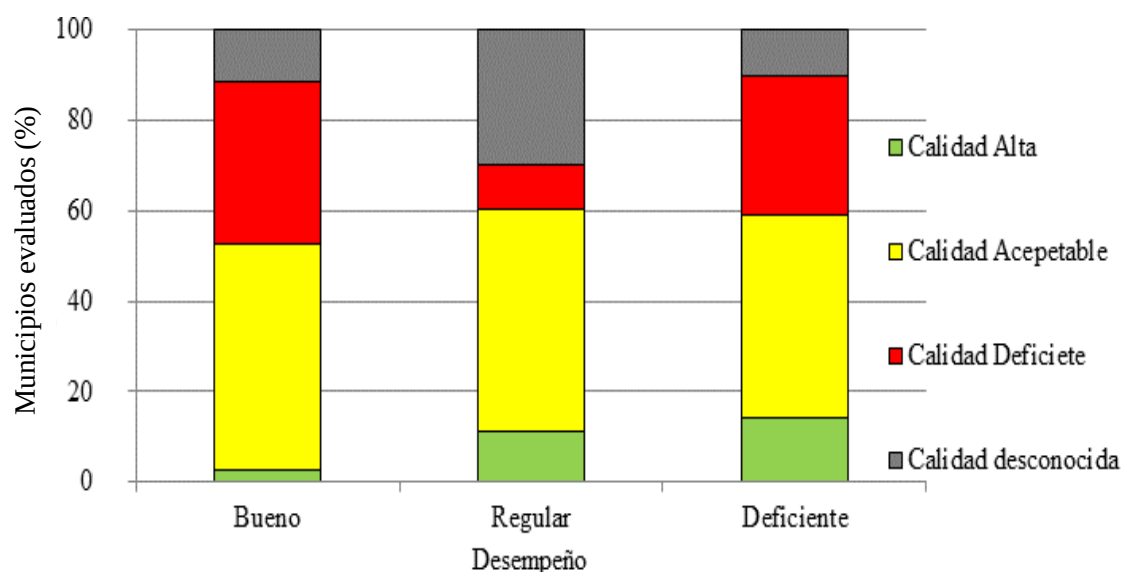


Figura 3. 55 Calidad & desempeño de indicadores.

Analizando cada indicador, se identificó cuál de ellos repitió mayor confiabilidad, teniendo 24 municipios con alta calidad para el indicador *I-5T Perfil del personal en puestos clave* (Tabla 3.39), siendo el único indicador con calidad A. Esto muestra la importancia de obtener la información en campo realizando la CE al personal encargado del GIRSU.

Tabla 3. 39 Porcentaje de indicadores Calidad Alta.

ETAPA	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	NO. MUNICIPIOS	CALIDAD ALTA (%)
Transversales	I-5T	<i>Perfil del personal en puestos clave</i>	24	34

Los indicadores con Calidad Aceptable se presentan en la tabla 3.40, destacando los indicadores *I-6R Rendimiento del trabajo de recolección y transporte*, *I-4R Población atendida por el servicio de recolección*, *I-2B Personal formal de limpieza viaria por cada 10000 habitantes*, con más del 80% de los municipios.

Tabla 3. 40 Porcentaje de Indicadores con Calidad Aceptable.

ETAPA	CÓDIGO DEL INDICADOR	NOMBRE DEL INDICADOR	NÚMERO DE MUNICIPIOS	CALIDAD ACEPTABLE (%)
Recolección y transporte	I-6R	<i>Rendimiento del trabajo de recolección y transporte</i>	66	94%
Recolección y transporte	I-4R	<i>Población atendida por el servicio de recolección</i>	66	94%
Barrido	I-2B	<i>Personal formal de limpieza viaria por cada 10000 habitantes</i>	61	87%
Económicos	I-4E	<i>Existencia de tarifa específica</i>	60	86%
Barrido	I-6B	<i>Estrategias de capacitación y formación en limpieza viaria</i>	54	77%
Barrido	I-5B	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>	52	74%
Barrido	I-7B	<i>Proporción de personal informal en limpieza viaria</i>	44	63%
Disposición Final	I-8DF	<i>Intensidad del uso de suelo en relleno sanitario</i>	42	60%
Barrido	I-4B	<i>Salario promedio en limpieza viaria comparado con el salario mínimo</i>	40	57%
Recolección y transporte	I-9R	<i>Proporción de personal informal en recolección y transporte</i>	39	56%
Barrido	I-3B2	<i>Rendimiento del trabajo de limpieza viaria (km/día)</i>	39	56%
Recolección y transporte	I-5R	<i>Personal formal de recolección y transporte por cada 1000 toneladas</i>	38	54%
Recolección y transporte	I-7R	<i>Salario promedio en recolección y transporte comparado con el salario mínimo</i>	37	53%
Disposición Final	I-3DF	<i>Vida útil disponible del relleno sanitario</i>	33	47%
Recolección y transporte	I-8R	<i>Prestaciones relacionadas con el salario de recolección y transporte</i>	32	46%
Barrido	I-3B1	<i>Rendimiento del trabajo de limpieza viaria (m²/día)</i>	31	44%

En la tabla 3.41 se muestran los indicadores con Calidad Baja; el 94% de los municipios presentaron el indicador: *I-2DF Residuos eliminados en RESA* lo cual se puede atribuir al tipo de SDF en el que depositan sus RSU, que en su mayoría son TCA, a que no se realiza la recolección del 100% de los RSU generados y a que no pesan los RSU (Banco Mundial, 2018); y el *I-1E Presupuesto para la gestión de residuos* dado que no se mostraron documentos que respalden el monto económico del que se dispone (Bockelmann, 2003).

Tabla 3. 41 Porcentaje de indicadores con Calidad Baja.

ETAPA	CÓDIGO DEL INDICADOR	NOMBRE DEL INDICADOR	NÚMERO DE MUNICIPIOS	CALIDAD BAJA (%)
Disposición Final	I-2DF	<i>Residuos eliminados en RESA</i>	66	94%
Económicos	I-1E	<i>Presupuesto para la gestión de residuos</i>	56	80%

Los indicadores a los cuales no se les pudo estimar su calidad (Calidad desconocida), fueron el 50% del total de los 37 indicadores calculados (Tabla 3.42). Estos resultados destacan la importancia de implementar un sistema a las municipalidades que les permita tener datos confiables para la toma apropiada de decisiones.

Tabla 3. 42 Porcentaje de Indicadores con Calidad Desconocida.

ETAPA	CÓDIGO DEL INDICADOR	NOMBRE DEL INDICADOR	NÚMERO DE MUNICIPIOS	CALIDAD DESCONOCIDA (%)
Barrido	I-8B2	<i>Costo de Barrido(km)</i>	70	100%
Económicos	I-4E	<i>Existencia de legislación</i>	70	100%
Transversales	I-2T	<i>Cumplimiento de la Legislación</i>	70	100%
Disposición Final	I-1DF	<i>Rendimiento del trabajo de DF</i>	70	100%
Transversales	I-3T	<i>Planeamiento para la gestión de residuos</i>	70	100%
Transversales	I-1T	<i>Existencia de legislación Nacional</i>	70	100%
Barrido	I-9B	<i>Residuos resultantes de limpieza viaria</i>	70	100%
Recolección y transporte	I-2R	<i>Grado de aprovechamiento</i>	70	100%
Económicos	I-4E	<i>Existencia de tarifa específica</i>	70	100%
Económicos	I-2E	<i>Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal</i>	64	91%
Transversales	I-4T	<i>Diagnóstico de la gestión de residuos</i>	63	90%
Transversales	I-6T	<i>Proporción total de personal informal</i>	61	87%
Disposición Final	I-5DF	<i>Salario promedio en relleno sanitario comparado con el salario mínimo</i>	59	84%
Barrido	I-8B1	<i>Costo de limpieza viaria m²</i>	57	81%
Barrido	I-1B	<i>Cobertura de limpieza viaria</i>	57	81%
Disposición Final	I-7DF	<i>Proporción de personal informal en relleno sanitario</i>	56	80%

Tabla 3. 43 Porcentaje de Indicadores con Calidad Desconocida (continuación).

ETAPA	CÓDIGO DEL INDICADOR	NOMBRE DEL INDICADOR	NÚMERO DE MUNICIPIOS	CALIDAD DESCONOCIDA (%)
Recolección y transporte	I-3R	<i>Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte</i>	55	79%
Disposición Final	I-6DF	<i>Prestaciones relacionadas con el salario en disposición final</i>	54	77%
Recolección y transporte	I-10R	<i>Costo de recolección y transporte</i>	53	76%
Disposición Final	I-4DF	<i>Personal formal en relleno sanitario por cada 1000 toneladas</i>	51	73%

3.9 ELABORACIÓN DE LA GUÍA PRÁCTICA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La Guía práctica pretende brindar a las municipalidades un apoyo para analizar su MIRSU a través del uso de indicadores, que parten de la información básica que deben tener para cada etapa; así como una evaluación mediante semaforización para identificar el desempeño en cada una de ellas. La Guía práctica está dividida en nueve módulos, a través de los cuales busca apoyar a las municipalidades en sus esfuerzos por mejorar cada una de las etapas: Barrido, Recolección, Tratamiento y DF (Figura 3.56). La guía se encuentra en el Anexo E.

Módulo 1. LEGISLACION	Módulo 2. ECONOMIA	Módulo 3. BARRIDO	Módulo 4. RECOLECCION	Módulo 5. TRATAMIENTO	Módulo 6. DISPOSICION FINAL	Módulo 7. INFORMACION BASE	Módulo 8. TABLERO DE RESULTADOS	Módulo 9. SEGUIMIENTO Y REGISTRO
MÓDULOS BÁSICOS PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DEL MIRSU								

Figura 3. 56 Módulos de la guía para mejorar MIRSU.

3. 10 APLICACIÓN DE LA GUÍA PRÁCTICA EN MUNICIPIOS

Los municipios seleccionados para la aplicación de la Guía práctica fueron: Xalatlaco (32,824 hab), Tequixquiac (39,726 hab) y Villa del Carbón, Estado de México (51,991 hab). Los resultados obtenidos para los tres municipios se analizaron en forma conjunta. Cabe mencionar que también se realizó la aplicación de la Guía práctica en el municipio de Metepec, Estado de México, (227,837 hab), aunque no se encuentra en los MAE su aplicación fue durante una Estancia de Investigación por la cercanía al ITTol. (Anexo D).

Para la aplicación de la Guía práctica, se visitó por segunda ocasión a los municipios seleccionados, donde se encontraron administraciones nuevas (2019-2021 y 2019) y se recabó información mediante la CE; con la que se estimaron los indicadores de las tablas 3.24 a la 3.28, se evaluó el desempeño de cada indicador conforme a los valores de referencia y se elaboraron sus Tableros de resultados (Anexo F).

En el Anexo F también se muestran los Tableros de resultados para los tres municipios de las administraciones 2016 (2016-2018) y 2019, donde para las administraciones identificadas como 2016, previamente se habían realizado las actividades descritas en los apartados 2.5, 2.7 y 2.8.

Posteriormente se realizó un análisis por etapa y por categoría. En la figura 3.58 se presentan el desempeño de los indicadores en cada administración.

En los Indicadores Transversales se puede observar que los indicadores con Buen desempeño en la primera administración (2016) no tuvieron seguimiento en la siguiente administración 2019 y solo un municipio en ésta administración obtuvo indicadores en verde (Figura 3.58a); lo cual corrobora la poca o nula continuidad que se tiene en materia de residuos con los cambios de administración, como lo reporta Venegas Sahagún *et al.* (2014).

En los indicadores Económicos predominan los evaluados Deficientemente (rojo) y destaca que todas las administraciones 2019 carecen de indicadores con Buen desempeño (verde). El indicador evaluado en verde en las administraciones 2016 de Villa del Carbón y Xalatlaco, Estado de México fue el conocimiento de *I-1E Presupuesto para la gestión de residuos* y *I-2E Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal* del cual se dispuso para ejercer el MIRSU; sin embargo, para 2019 no fue así (Figura 3.56b). Cabe mencionar que el desconocimiento del monto económico limita la planeación de acciones en el corto, mediano y largo plazo (Wilson *et al.*, 2015b).

En la etapa de Barrido solo un municipio mostró un desempeño Deficiente en la administración 2019, lo que obedece a que la persona a cargo respondió que el ayuntamiento ya no se hace cargo de esta etapa sin mencionar más detalles (Figura 3.58c).

La etapa de Recolección destaca por ser la que obtuvo un mejor desempeño, con más del 40% de los indicadores en verde en ambas administraciones. Los indicadores con desempeño Deficiente se tuvieron en el indicador *I-4R Población atendida por el servicio de recolección* en *I-2R Grado de aprovechamiento* y en el *I-10R Costo de recolección y transporte*; estos tres indicadores están estrechamente relacionados, dado que optimizando el grado de aprovechamiento de los vehículos se puede atender a un mayor número de población y reducir los costos que se invierte en realizar la operación, sin embargo para ello se requieren datos y estudios específicos para saber las condiciones de cada unidad (compactación), así como las rutas de recolección y la generación de RSU de la población (Figura 3.56d).

Los resultados obtenidos en los Indicadores de la etapa de Tratamiento muestran que éste no se realiza, aun cuando se estipula en la LGPGIR y en los BM (Figura 3.56e). El municipio de Xalatlaco, Estado de México elaboró composta con los residuos orgánicos recolectados durante la administración 2016, sin embargo, con el cambio de administración se dejó de realizar, retomándola meses después; lo que es indicio de la necesidad de instrumentos robustos, que permitan la continuidad de las lecciones aprendidas y las acciones adecuadas (Venegas Sahagún *et al.*, 2014).

Los indicadores con buen desempeño en la etapa de Disposición Final son los que se refieren a los aspectos personales *I-4DF Personal formal en RESA por cada 1000 toneladas*, *I5DF Salario promedio en SDF comparado con el salario mínimo*, *I-6DF Empleados con prestación de servicio médico* con excepción del *I-7DF Proporción de personal informal en SDF* porcentaje de personal informal; en los que se tienen que establecer acciones son los indicadores *I-9DF Tipo de sitio de disposición final*, en *I-2DF Residuos eliminados en RESA* y en *I-1DF Rendimiento del trabajo de DF* y *I-8DF Intensidad del uso de suelo en disposición final* (Tabla 3.44).

Las acciones para mejorar estos indicadores requieren planeación, inversión y continuidad, por lo que contar con un PMPGIRSU con el diagnostico basado en datos actuales, estudios y acciones concretas a la medida de las necesidades, se hace indispensable para la gestión de recursos económicos y la continuidad entre una administración y otra (Wilson *et al.*, 2017).

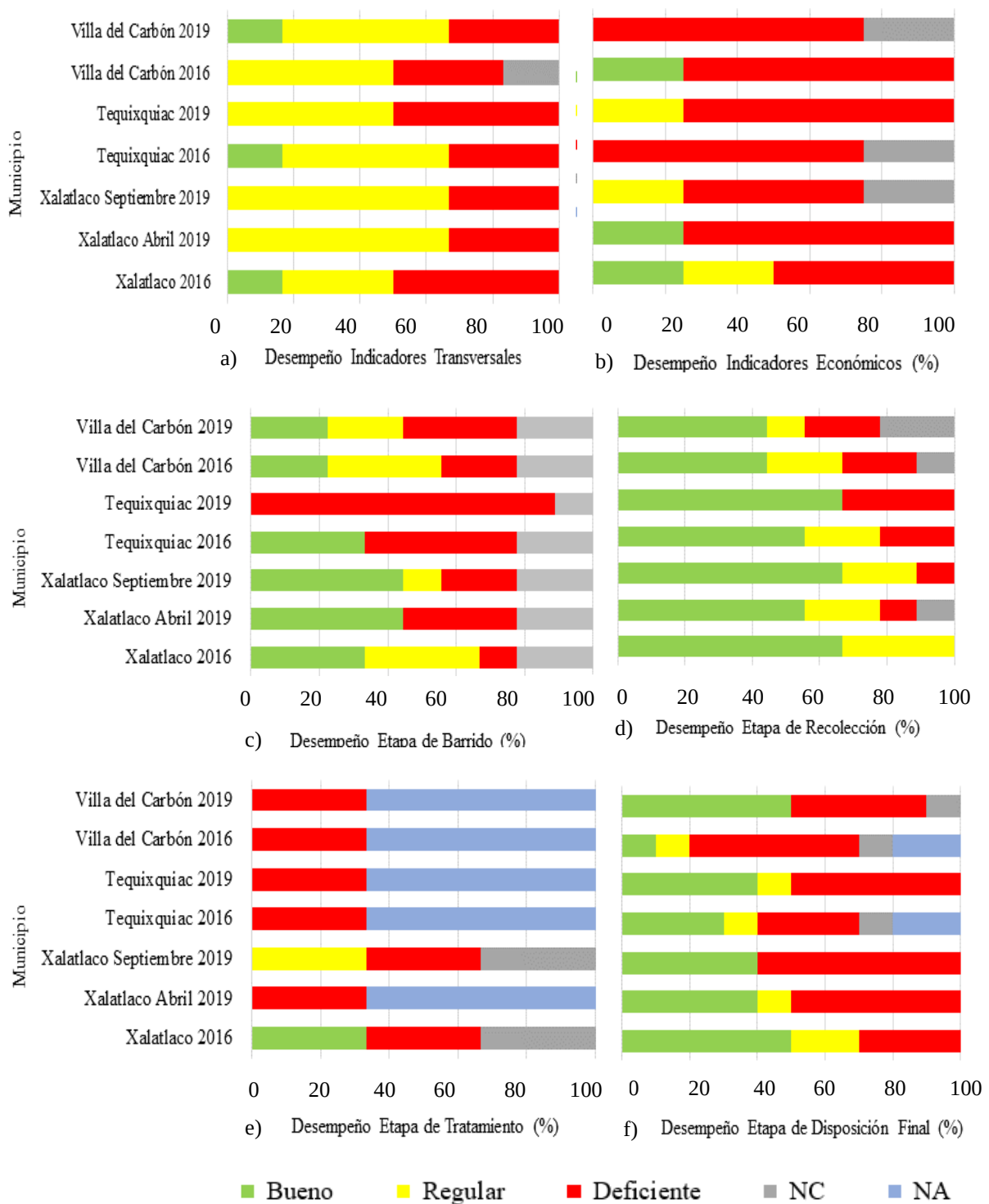


Figura 3. 57 Comparación del Desempeño por etapa: a) Indicadores Transversales, b) Indicadores Económicos, c) Etapa de Barrido e) Etapa de Recolección f) Etapa de Tratamiento g) Etapa de Disposición Final.

Tabla 3. 44 Desempeño de Indicadores en la Aplicación de la Guía práctica.

ID Indicador	Xalatlaco 2016*	Xalatlaco abril 2019	Xalatlaco septiembre 2019	Tequixquiac 2016*	Tequixquiac 2019	Villa del Carbón 2016*	Villa del Carbón 2019
1T	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2T	Parcialmente	NO	NO	Parcialmente	NO	Parcialmente	Parcialmente
3T	NO	Parcialmente	Parcialmente	NO	Parcialmente	NO	Parcialmente
4T	SI	Parcialmente	Parcialmente	SI	Parcialmente	Parcialmente	NO
5T	NO	Parcialmente	Parcialmente	Parcialmente	No	Parcialmente	Parcialmente
6T	27.78	27.78	28.57	26.32	13.33	NC	-
1E	SI	SI	Parcialmente	No	Parcialmente	SI	NO
2E	6.67	1.97	NC	NC	0.00	3.11	NC
3E	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4E	755.71	316.63	330.95	721.49	529.23	685.15	355.25
2B	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
2B	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
3B	3.16	5.41	4.87	0.53	-	1.64	2.12
5B	205.48	223.21	232.14	287.67	0.00	123.29	193.21
6B	SI	SI	SI	SI	NO	SI	FALSO
7B	-	-	-	-	-	-	-
1B	208.33	91.15	108.33	129.04	0.0	203.13	-
4B	1.00	2.29	2.00	2.99	0	1.01	-
4B	153.85	1,625.00	1,625.00	2,340.00	0	2,307.69	1,125.0
2R	99.19	103.72	109.01	36.13	12.33	59.78	76.69
6R	1.34	0.93	0.79	3.21	8.70	3.41	2.40
7R	205.38	290.18	267.86	266.99	212.05	221.81	262.19
8R	SI	NC	SI	SI	SI	SI	NC
9R	-	-	-	-	-	NC	-
1R	528.58	93.06	135.62	424.49	838.26	485.62	160.10
5R	0.34	0.43	0.4	0.14	0.05	0.13	0.17
3R	75.43	62.94	76.92	72.73	22.12	59.69	NC
4R	1.6	1.5	2.00	2.67	5.68	10.25	-
6DF	SC	SC	TCA	SC	SC	TCA	TCA
7DF	0.24	0.23	0.13	-	0.29	.	0.1
8DF	205.48	250.00	216.67	NA	-	NA	348.30
9DF	SI	SI	SI	NA	SI	NA	SI
10DF	88.24	83.33	90.91	100.00	66.67	100.00	-
1DF	125.78	16.67	8.02	249.36	58.33	158.34	18.06
3DF	12.00	-	-	20.00	15.00	1.00	NC
2DF	-	-	-	-	-	-	-
4DF	0.59	2.14	3.38	NC	1.50	NC	2.25
5DF	0.14	0.07	0.01	0.35	0.05	0.09	0.14
1TR	70.00	-	21.37	-	3.98	-	-
2TR	11.21	NA	27.08	NA	NA	NA	NA
3TR	NC	NA	NC	NA	NA	NA	NA

*Investigación de campo realizada en equipo

La evaluación del MIRSU (Figura 3.57) muestra que menos del 40% de los indicadores tiene un desempeño bueno, con la carencia de información entre un 10 y 20% (No contestó) y en promedio el 50% de indicadores con un desempeño Deficiente que requiere ser atendido. Los resultados de la semaforización permiten tener un panorama general del estatus de cada etapa para así determinar acciones concretas en cada caso, que si bien por el presupuesto y recursos limitados puede no ser posible atender cada una de ellas, se pueden decidir aspectos prioritarios e ir accionando en uno a la vez (Olay-Romero *et al.*, 2020; Turcott Cervantes *et al.*, 2020)

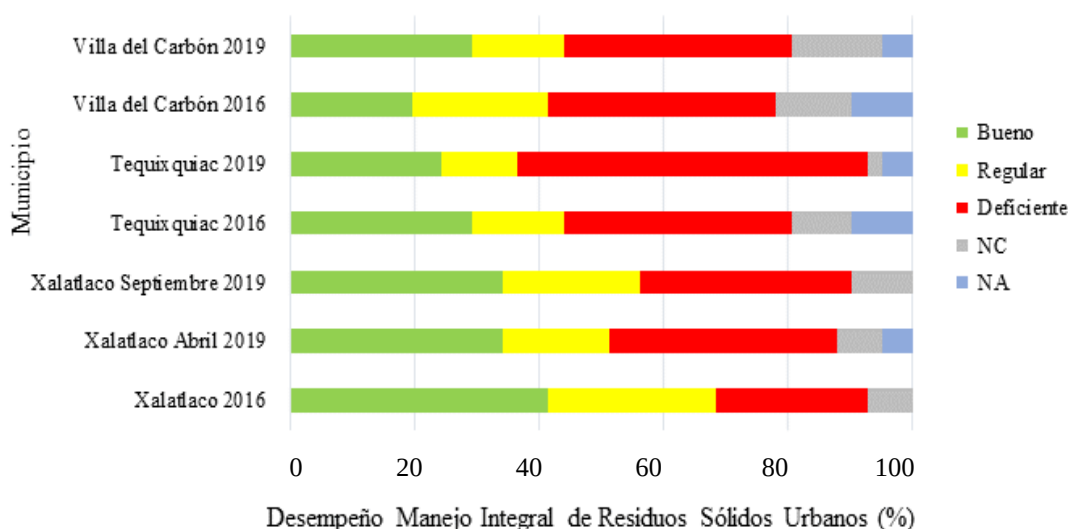


Figura 3. 58 Desempeño global del MIRSU.

Siguiendo la metodología propuesta en la Guía práctica se debe elegir un indicador para analizar y buscar acciones concretas. En estos municipios se detectaron tres indicadores prioritarios: el bajo porcentaje de cobertura de la población (*I-4R Población atendida por el servicio de recolección*), el indicador *Grado de aprovechamiento* de los vehículos (*I-2R*), el cual, al incrementarlo, impactara positivamente en el primero y finalmente, el cero por ciento de los RSU llega a un RESA o es valorizado (*I-2DF Residuos eliminados en RESA*). Para atacar este último es necesario identificar un sitio adecuado cercano y revisar el presupuesto para pagar por su disposición.

Para calcular con mayor certidumbre los indicadores: el *I-2R Grado de aprovechamiento de los vehículos* y el *I-4R Población atendida por el servicio de recolección* se recomienda a los municipios pesar y registrar la cantidad de RSU recolectados por cada vehículo, dado que el dato proporcionado fue un

estimado y puede tener error. Una vez que se validen estos datos, calcular nuevamente los indicadores y de acuerdo con los resultados, proponer y ejecutar acciones concretas que lleven a la mejora continua.

De acuerdo con lo propuesto en la Guía práctica, el siguiente paso corresponde a las municipalidades y es concretar las acciones para mejorar el MIRSU.

4. CONCLUSIONES

El análisis descriptivo de los parámetros poblacional, económico y en materia de RSU mostró una gran dispersión y rangos amplios, evidenciándose la heterogeneidad que existe entre los MAE.

La aplicación de indicadores ayudó identificar la información prioritaria de registrar y medir en cada etapa en los MAE, que servirá como punto de partida para mejorar el desempeño del MIRSU.

Los estudios de caracterización evidenciaron que es posible reducir hasta el 50% de los RSU dispuestos en los SDF si se establecen medidas que permitan valorizar los reciclables y dar tratamiento a la fracción orgánica.

De acuerdo con los indicadores transversales, se requieren reglamentos en materia de residuos, así como capacitar al personal y elaborar un PMPGIRSU, que ayude a incorporar acciones concretas en cada una de las etapas del sistema; evidenciando que lo que mencionan los BM en cuanto al sistema de limpia y recolección es insuficiente para trabajar hacia el MIRSU.

Es imprescindible conocer el presupuesto con el que se cuenta para gestionar los RSU, así como los costos por manejo de cada tonelada, para lo cual es importante diseñar instrumentos específicos en cada etapa para medir, controlar y posteriormente mejorar cada una de ellas.

La recolección de RSU es la etapa que más control tienen los MAE, dado que es el primer problema que la gente puede ver tangiblemente, sin embargo, de acuerdo con los indicadores la gran mayoría de los municipios tienen una cobertura y eficiencia menor al 50%.

La población encuestada de los municipios de Tequixquiac, Estado de México y Pilcaya, Guerrero, mostró preocupación por el cuidado del medio ambiente, sin embargo, sus acciones son contrarias, lo cual puede modificarse mediante políticas públicas que incentiven a la gente a participar en el MIRSU.

La Guía práctica es un instrumento que permite tener elementos para realizar un diagnóstico del MIRSU, identificando las áreas prioritarias por ser atendidas, así como los datos a medir, registrar y controlar.

La aplicación de la Guía práctica en tres municipios permitió identificar que las etapas de tratamiento, valorización y disposición son las que tienen mayores áreas de oportunidad, principalmente en lo técnico y económico.

La Guía práctica es un instrumento de apoyo para la mejora del MIRSU, sin embargo, para su implementación con éxito se requiere que los responsables de éste involucren voluntad política, profesionalismo, recursos económicos y continuidad después de su trienio de administración.

5. RECOMENDACIONES

Para la recolección de información se recomienda utilizar una aplicación, a fin de evitar los errores en su captura y con ello reducir el error que esto puede generar.

Desarrollar junto con los municipios requisitos de profesionalización y experiencia para los puestos de manejo de RSU, a fin de contar con gente capacitada para realizar las actividades.

Implementar para los municipios instrumentos que les permitan dar continuidad a los proyectos en cada trienio.

6. REFERENCIAS

- Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F., & Zepeda, F. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y El Caribe. Pan American Health Organization - Inter-American Development Bank. [https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/4768/Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe.pdf?sequence=1](https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/4768/Diagnóstico%20de%20la%20situación%20del%20manejo%20de%20residuos%20sólidos%20municipales%20en%20América%20Latina%20y%20el%20Caribe.pdf?sequence=1)
- Afferden, M. van, Hansen, A., Quintero, O., Barrera Morteo, L. A., Petkova, V., Iliev, M., Spies, S., & Wehenpohl, G. (2002). Alternativas de rellenos sanitarios - Guía de toma de decisión
- Agovino, M., D’Uva, M., Garofalo, A., & Marchesano, K. (2018). Waste management performance in Italian provinces: Efficiency and spatial effects of local governments and citizen action. *Ecological Indicators*, 89(June 2017), 680–695. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.045>
- Aguilar-Virgen Q., Armijo-de Vega C., Taboada-González P., A. M. X. (2010). (2010). Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario. *Revista de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia*, 16–27. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n32/n32a3.pdf>
- Akinci, G., Guven, E.D., Gok, G. (2012). Evaluation of waste management options and resource conservation potentials according to the waste characteristics and household income: A case study in Aegean Region, Turkey. *Resources, Conservation and Recycling*, 58, 114–124.
- Alanbari, M. A., Al-ansari, N., & Jasim, H. K. (2014). GIS and multicriteria decision analysis for landfill site selection in Al-Hashimiyah Qadaa. *Natural Science*, 6(March), 282–304.
- Banco Mundial. (2018). Los desechos 2.0: Un panorama mundial de la gestión de desechos sólidos hasta 2050. <https://www.bancomundial.org/es/news/infographic/2018/09/20/what-a-waste-20-a-global-snapshot-of-solid-waste-management-to-2050>
- Bertanza, G., Ziliani, E., & Menoni, L. (2018). Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. *Waste Management*, 74, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.009>
- Bockelmann, D. (2003). Estudio básico sobre la implementación de Tarifas para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Secretaría de Ecología del Estado de Mexico, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Brunner, P. H., & Fellner, J. (2007). Setting priorities for waste management strategies in developing countries. *Waste Management & Research : The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 25(3), 234–240.

- <https://doi.org/10.1177/0734242X07078296>
- CFE-IIE (Comisión Federal de Electricidad - Instituto de Investigaciones Eléctricas). (2012). Guía del usuario, Generación de electricidad mediante residuos sólidos urbanos (pp. 2–79). <https://www.ineel.mx/docu/Guia-RSU.pdf>
- CNGMD (Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales). (2013). Memorias de actividades. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/justicia/2013/CNGMD_2013/702825063504.pdf
- COMIA (Comisión mexicana de infraestructura ambiental); GTZ (Agencia de cooperación técnica Alemana). (2003). La Basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos urbanos. http://centro.paot.org.mx/documentos/varios/basura_limbo.pdf
- CONEVAL (Consejo nacional de evaluación de la política de desarrollo social). (2016). Porcentaje pobreza nacional. <http://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezaInicio.aspx>
- De Clercq, O., & Hannequart, J. P. (2010). Vers un observatoire européen décentralisé des performances de gestion des déchets municipaux. *Techniques Sciences Méthodes*, 9, 67–75. <https://doi.org/10.1051/tsm/201009067>
- Desmond, M. (2006). Municipal solid waste management in Ireland: Assessing for sustainability. *Irish Geography*, 39(1), 22–33. <https://doi.org/10.1080/00750770609555864>
- Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009 -2012, (2009). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187438/pnpgir_2009-2012.pdf
- DOF (Diario oficial de la Federación). (2000). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_ANP.pdf
- DOF (Diario oficial de la Federación). (2016). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum.htm>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2003). LGPGIR (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos). 8 de Octubre de 2003. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir/LGPGIR_orig_08oct03.pdf
- Domínguez Mares, M. (2008). La cooperación internacional para el desarrollo en la gestión integral de residuos sólidos urbanos: Una experiencia local. Tesis para obtener el grado de Maestra en cooperación internacional para el desarrollo. Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.
- Durán Moreno A., Garcés Rodríguez M., Rocío Velasco A., Marín Enríquez J.C., Gutiérrez Lara (2013).

- Mexico City's municipal solid waste characteristics and composition analysis. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, 29, 39–46.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n1/v29n1a4.pdf>
- Elsaid, S., & Aghezzaf, E. (2018). A progress indicator-based assessment guide for integrated municipal solid-waste management systems. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20, 850–863. <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0647-8>
- Espinoza, J. F. N. (2016). Patrones de organización social en la gestión de residuos sólidos urbanos en el continuo regional Distrito Federal-Estado de México. *Región y Sociedad*, 28(65), 187–233.
- Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP). (2007). Gestión de residuos municipales y limpieza viaria: Guía técnica. Federación Española de municipios y provincias.
<http://www.fegamp.gal/sites/default/files/documentos/guiatecnica.pdf>
- Florisbela dos Santos, A. L., & De Pauli, L. (2006). Estudio sobre la cuestión de género en la gestión de residuos sólidos urbanos en el Estado de México. ISBN. 9709983016. Gobierno del Estado de Mexico, Secretaría del Medio Ambiente; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- GEM (Gobierno del Estado de México). (2020). Dirección de Legalización y del Periódico Oficial “Gaceta del Gobierno.” https://legislacion.edomex.gob.mx/bandos_municipales2019
- Gómez Galán, M., & Sanahuja, J. A. (1999). El sistema internacional de cooperación al desarrollo. Una aproximación a sus actores e instrumentos. Madrid, CIDEAL.
https://eprints.ucm.es/42533/1/El_sistema_internacional_de_cooperacion.pdf
- González de Audicana, J. (2017). Indicadores para control del servicio municipal de gestión de residuos : aplicación a varios municipios del País Vasco. Master Degree Thesis [University of the Basque Country and University of Cantabria]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/12358>
- Griffith, M. and Trois, C. (2006). Long-term emissions from mechanically biologically treated waste: Infuence on leachate quality. *Water SA*, 32, 307–313.
- Hernández Barrios, C. P., (2000). Estudio de generación y caracterización de residuos sólidos municipales. Gobierno del Estado de Mexico, Secretaría del Ecología; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Henandez Barrios, C. P., Wehenpohl, G. (2002). Manual para la rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto en el estado de México. Gobierno del Estado de Mexico, Secretaría del Ecología; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Hernández Barrios, C. P., Heredia Cantillana, P., & Rodríguez Salinas, M. A. (2006). Plan de regularización tipo para la rehabilitación de sitios de disposición final categoría D. Secretaria de

- Medio Ambiente y Recursos Naturales; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ)
- Hernández Barrios, C. P., Wehenpohl, G., & Heredia Cantillana, P. (2005). Guía para la realización de planes de regularización conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ). http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_Cumplimiento_NOM_083.pdf
- Hernández Barrios, C. P., Wehenpohl, G., & Sánchez Gómez, J. (2003). Guía para el desarrollo, presentación y evaluación de proyectos ejecutivos para rellenos sanitarios. Gobierno del Estado de Mexico, Secretaría del Ecología; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Hernández-Berriel, M. del C., Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P., Lima- Morra, R., Eljaiek-Urzola, M., Buenrostro-Delgado, O., & Márquez-Benavides, L. (2016). “Generación y composición de residuos sólidos domésticos en América Latina y el Caribe.” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.02>
- Hüttner, E. (2003). Proyecto sectorial tratamiento mecánico-biológico de residuos sólidos. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ). <http://www2.giz.de/dokumente/bib/04-5732.pdf>
- INE (Instituto Nacional de Ecología). (1999). Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. ISBN.9688174971.https://books.google.com.mx/books/about/Minimizaci%C3%B3n_y_manejo_ambiental_de_los.html?hl=es&id=rku2Or2CRxQC&redir_esc=y
- INE (Instituto Nacional de Ecología). (2011). Guía para la formulación de un plan de manejo de residuos electrónicos en el nivel municipal (p. 76). Contrato No. INE/ADA-003/2011.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2012). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos: versión extensa. INECC and SEMARNAT.
- INECC-SEMARNAT (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012). Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos 2012 (DBGIR 2012). http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcnica/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf
- INECC & SEMARNAT. (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2012). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. 201. <http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos-solidos-urbanos>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016a). INEGI, Cuéntame... <http://www.cuentame.inegi.org.mx>

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016b). Mapa digital de México. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/mapadigital/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2018). Residuos sólidos. INEGI Versión Beta. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/residuos/>
- Iscan, F., & Yagci, C. (2015). Selection of solid waste landfill site using geographical information system (GIS). In International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering (Vol. 9, Issue 8, pp. 934–937).
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot on solid waste management to 2050. World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/30317>
- Kelly, R.J., B.D. Shearer, J. Kim, C.D. Goldsmith, G.R. Hater, J. T. N. (2006). Relationships between analytical methods utilized as tools in the evaluation of landfill waste stability. Waste Management and Research. https://www.researchgate.net/publication/7344628_Relationships_between_analytical_methods_utilized_as_tools_in_the_evaluation_of_landfill_waste_stability
- Kokusai Kogyo Co. Ltd. (1999). Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la Ciudad de México de Los Estados Unidos Mexicanos, Informe Final, Vol. I. Volumen I, 131.
- LGCC (Ley General de Cambio Climático). (2012). Cámara de diputados, última reforma DOF 01-06-2016. Cámara de Diputados. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>
- LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente). (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Cámara de Diputados, DOF 28-01-1988. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>
- Louis, G. . (2004). A historical context of municipal solid waste management in the United States. Waste Management & Research. <https://doi.org/10.1177/0734242X04045425>
- Macht, A. (2012). Guía para la implementación de Proyectos de Separación de Residuos sólidos urbanos. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ). <https://es.scribd.com/document/225135046/Guia-Para-La-Implementacion-de-Proyectos-de-Separacion-de-Residuos-Solidos-Urbanos>
- Mañón-Salas, María del Consuelo., Hernández-Berriel, María del Consuelo., Olay Romero, Elvira., Flores Álamo, Nicolás., De la Rosa Gomez, Isaías (2017). Comparison of multicriterio techniques to select sites of disposition of the north of the state of México. Congreso Academia Nacional de Ciencias Ambientales. XVI Internacional XXII Nacional.
- Mañón-Salas, María del Consuelo., Hernández Berriel, María del Consuelo., Castro Fontana, Diana.(2018). Información oficial vs. información de campo sobre residuos sólidos urbanos en el

- centro de México. 9º Encuentro de Expertos En Residuos Sólidos. <https://doi.org/ISSN: 2395-8170>
- Marshall, R. E., & Farahbakhsh, K. (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, 33(4), 988–1003. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.12.023>
- Medina Roos, J. A., Jiménez Yanes, I., & Piña Vázquez, H. (2001). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Monavari, S. M., Hoasami, P., Tajziehchi, S., Khorramichokami, N., & Area, A. S. (2012). Study of solid waste landfill suitability using regional screening method and AHP in Rasht City. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 6(2), 820–825.
- Munizaga, J. (2016). Metodología para la Evaluación Integral de Sistemas de Gestión de Residuos Domésticos. Ph.D. Thesis [University of Cantabria]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/8431>
- Nava, C. C. de. (2018). Dra. Cristina Cortinas de Nava. Prevención y Gestión Integral de Los Residuos Para Lograr Un Ambiente Sano. <https://cristinacortinas.org/sustentabilidad/>
- Nedwell, D. B., & Reynolds, P. J. (1996). Treatment of landfill leachate by methanogenic and sulphate-reducing digestion. *Waste Management*, 30, 21–28.
- OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). (2007). DAC Members and Date of Membership. http://www.oecd.org/document/38/0,3343,en_2649_33721_1893350_1_1_1_1,00.html
- OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). (2016). Económicos, ambientales y estadísticas sociales. http://www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-factbook_18147364
- Olay-Romero, E., Hernández-berriel, M. C., De, I., Gómez, R., Salas, M., & Álamo, N. F. (2017). Relación de la disposición final de RSU con la población en municipios del centro de México. 1–7. <http://www.redisa.net/simposios.html>
- Olay-Romero, E., Turcott-Cervantes, D. E., Hernández-Berriel, M. del C., Lobo-García de Cortázar, A., Cuartas-Hernández, M., & de la Rosa-Gómez, I. (2020). Technical indicators to improve municipal solid waste management in developing countries: A case in Mexico. *Waste Management*, 107, 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.039>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. ISBN 13: 9781530295944
- Ortiz Conde, R., & Hernández Barrios, C. P. (2012). Manual de Rehabilitación , Clausura y Saneamiento De Sitios De Disposición Final. Gobierno del Estado de México; Gobierno del Estado de Guerrero;

- Gobierno del Estado de Quintana Roo; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Paraguassú, F. A., & Rojas, C. R. (2002). Indicadores para el gerenciamiento del servicio de limpieza pública (Segunda). CEPIS-Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. http://www.bvsde.paho.org/cursoa_mrsn/e/fulltext/relima.pdf
- Red Española de Ciudades por el Clima, & FEMP. (2007). Gestión de residuos municipales y limpieza viaria. Guía técnica. Federación Española de municipios y provincias. <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/materiales/gestion-residuos-municipales-limpieza-viaria.aspx>
- Ristić, G. (2005). Basic indicators of integrated solid waste management. Working and Living Environmental Protection, 2(5), 383–392. <http://facta.junis.ni.ac.rs/walep/walep2005n/walep2005-05n.pdf>
- Rodríguez Salinas, M. A., & Córdova, A. (2006). Manual de compostaje municipal. In Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Rodriguez-Hurtado, M. E., Jori-Ramírez, J., Palomino, L., Molina-Cruzate, S., & Lumbreras-Martín, J. (2008). Grupo de trabajo GT-DRES: Armonización en la obtención de datos sobre residuos. CONAMA 9: Congreso Nacional del Medio Ambiente. http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/GTs/GT_DRES//DRES_final.pdf
- Rodríguez Salinas, M. A., Macht, A., & Domínguez Mares, M. (2007). Experiencias de la GTZ en los procesos de elaboración y ejecución de programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbano. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Rodriguez, J., Castrillon, L., Maranon, E., Sastre, H., & Fernandez, E. (2004). Removal of non-biodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption. Water Research, 38, 3297–3303.
- Sanjeevi, V., & Shahabudeen, P. (2015). Development of performance indicators for municipal solid waste management (PIMS): A review. <https://doi.org/10.1177/0734242X15607428>
- Sarra, A., Mazzocchitti, M., & Rapposelli, A. (2017). Evaluating joint environmental and cost performance in municipal waste management systems through data envelopment analysis: Scale effects and policy implications. Ecological Indicators, 73(1), 756–771. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.035>
- SEDESOL (Secretaria de Desarrollo Social). (1997). Manual para el diseño de rutas de recolección de residuos sólidos municipales. Web Document. <http://www.sustenta.org.mx/3/wp->

- content/files/MT_RutasRecoleccion.pdf
- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social). (2001). Manual técnico administrativo para el servicio de limpia municipal. In Sedesol: Vol. cap 6. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd61/tecnadmvo/cap6.pdf>
- SEMARNAT-INECC. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) (2006). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. ISBN. 9688178039
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). Indicadores básicos del desempeño ambiental de México. Edición 2013. <http://www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales/snía>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2014). Base de datos estadísticos Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales - BADESNIARN. Web Document. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html?De=BADESNIARN
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2015). Guía de diseño para la identificación gráfica del manejo integral de los residuos sólidos urbanos.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2015a). Compendio de estadísticas ambientales 2015. Web Document. <http://www.semarnat.gob.mx/compendios-de-estadisticas-ambientales>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2015b). Consulta temática. Web Document. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html?De=BADESNIARN
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016a). Normas mexicanas vigentes. Web Document. <http://www.semarnat.mx/leyes-y-normas/noms>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016b). Residuos. www.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2018). Indicadores básicos del desempeño ambiental de México. Indicadores Básicos Del Desempeño Ambiental de México. http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores14/conjuntob/04_res_solidos/04_res_solidos_intro.html
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2020). El sistema Nacional de indicadores ambientales.

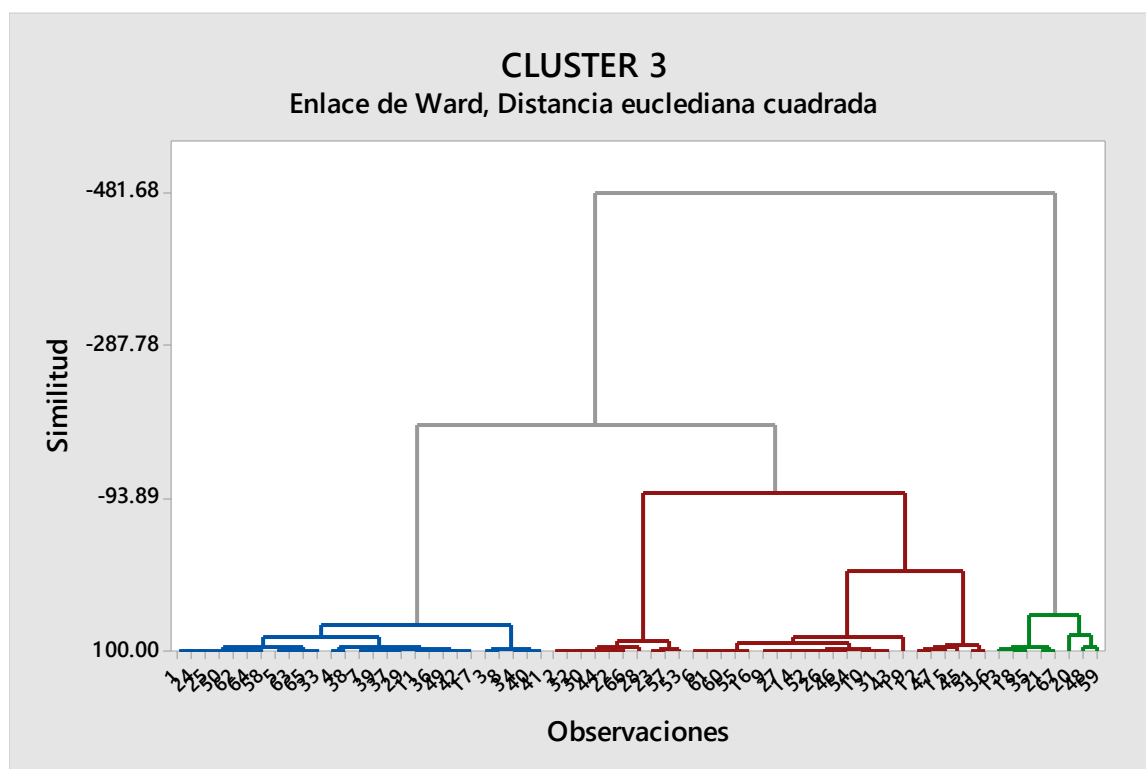
- https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores19/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual3.html
- Sener, B., Süzen, M. L., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. *Environ Geol*, 49, 376–388. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0075-2>
- Siddiqui, M. Z., Everett, J. W., & Vieux, B. E. (1996). Landfill siting using geographic information systems: A demonstration. *Journal of Environmental Engineering*, 122, 515–523.
- Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2002). Fundamentos de bases de datos. In Victoria. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Soós, R., Whiteman, A. D., Wilson, D. C., Briciu, C., Nürnberger, S., Oelz, B., Gunsilius, E., & Schwehn, E. (2017). Operator models for delivering municipal solid waste management services in developing countries: Part B: Decision support. *Waste Management & Research*, 35(8), 842–862. <https://doi.org/10.1177/0734242X17704717>
- Soto Toledo, W., Heredia Cantillana, P., & Rodríguez Salinas, M. (2007). Guía para la Licitación y Concesión de Obras y Servicios en la Gestión Integral de Residuos Sólidos en México (Issue 170). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ). <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008965a.pdf>
- SSDM (Secretaría de Desarrollo Municipal). (2016). Subsecretaría de desarrollo municipal. Información municipal. http://ssdm.edomex.gob.mx/informacion_municipal
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.
- Tello-Espinoza, P., Martínez-Arce, E., Daza, D., Soulier-Faure, M., & Terraza, H. (2010). Regional Evaluation on Urban Solid Waste Management in Latin America and the Caribbean-2010 report. <https://publications.iadb.org/en/regional-evaluation-urban-solid-waste-management-latin-america-and-caribbean-2010-report>
- Turcott Cervantes, D. E. (2018). Sistema de indicadores para la evaluación integral y control de la gestión de residuos municipales. Ph.D. Thesis [University of Cantabria, Santander, Spain]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/15418>
- Turcott Cervantes, D. E., & Lobo, A. (2016). Cuaderno de indicadores para la mejora de servicios de gestión de residuos municipales. Versión Preliminar. Environmental Engineering Group, University of Cantabria.
- Turcott Cervantes, D. E., López Martínez, A., Cuartas Hernández, M., & Lobo García de Cortázar, A. (2018). Using indicators as a tool to evaluate municipal solid waste management: A critical review.

- Waste Management, 80, 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.046>
- Turcott Cervantes, D. E., Romero, E. O., Berriel, M. del C. H., Martínez, A. L., Salas, M. del C. M., & Lobo, A. (2020). Assessment of some governance aspects in waste management systems: a case study in Mexican municipalities. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123320. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123320>
- UN (Naciones Unidas). (1992). Agenda 21, Department of economic and social affairs, division for sustainable development. <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter21.htm>
- UN Habitat (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos). (2007). Programa de las naciones unidas para los asentamientos humanos. <http://www.unhabitat.org>
- Valdovinos Rivera, C. . (2013). Caracterización de residuos sólidos urbanos potencialmente valorizables en Naucalpan de Juárez, Estado de México. VSIIR REDISA, <http://www.redisa.net/doc/artSim2013/CaracterizacionDeResiduosSolidos/Caracterizacion%20RSU%20Mexico.pdf>.
- Velis, C. A., & Brunner, P. H. (2013). Recycling and resource efficiency: It is time for a change from quantity to quality. *Waste Management and Research*, 31(6), 539–540. <https://doi.org/10.1177/0734242X13489782>
- Venegas Sahagún, B. A. (2018). Poder y gestión integral de los residuos sólidos urbanos en dos municipios mexicanos. Ph.D. Thesis. CIESAS-Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Guadalajara, Mexico.
- Venegas Sahagún, B. A., García Bátiz, M. L., & Sánchez Bernal, A. (2014). Gestión de residuos sólidos municipales en México. Un análisis comparativo. *Gestión Ambiental*, 28, 25–47.
- Vest, H. (2003). Información Técnica sobre reciclaje. Secretaría del Ecología del Gobierno del Estado de México; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Wamsler, C. (2000). El Sector Informal en la separación del material reciclable de los residuos sólidos municipales en el Estado de México. In *Proyecto de apoyo a la gestion de Residuos Solidos* (p. 110 pp).<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/sectorinformalresiduos.pdf>
- Wehenpohl, Günther. (1999). Analisis del mercado de los residuos sólidos municipales reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo. Secretaría de Ecología; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Wehenpohl, Günther, & Hernández Barrios, C. P. (2000). Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios. Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología; Deutsche Gesellschaft

- für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Wehenpohl, Gunther, & Hernández Barrios, C.P. (2002). Guía en la elaboración de planes maestros para la gestión integral de los residuo Sólidos municipales (PMGIRSM). 1–108. Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ).
- Wehempohl, G., & Ambrosius, C. (2006). Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Experiencias de nueve años de Cooperación Técnica Alemana en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ). <https://www.bivica.org/file/view/id/971>
- Wehenpohl, Günther, & Hernández Barrios, C. P. (2006). Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ). http://www.medioambiente.oaxaca.gob.mx/wpcontent/uploads/2016/02/Gu%C3%ADa_PMPGIRSU.pdf
- Wilson, D. C., Rodic, L., Scheinberg, a., Velis, C. a., & Alabaster, G. (2012). Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. *Waste Management & Research*, 30(3), 237–254. <https://doi.org/10.1177/0734242X12437569>
- Wilson, David C., Rodic, L., Cowing, M. J., Velis, C. A., Whiteman, A. D., Scheinberg, A., Vilches, R., Masterson, D., Stretz, J., & Oelz, B. (2015). “Wasteaware” benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. *Waste Management*, 35(December), 329–342. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.006>
- Wilson, David C. (2007). Development drivers for waste management. *Waste Management & Research*, 198–207. <https://doi.org/10.1177/0734242X07079149>
- Wilson, David C., Kanjogera, J. B., Soós, R., Briciu, C., Smith, S. R., Whiteman, A. D., Spies, S., & Oelz, B. (2017). Operator models for delivering municipal solid waste management services in developing countries. Part A: The evidence base. *Waste Management & Research*, 0734242X1770572. <https://doi.org/10.1177/0734242X17705723>

ANEXO A

ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS



ANEXO B

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE VARIABLES

	PTM 2015	PTM + MC 2015	UE 2008	PSP (%) 2010	RESAD
PTM + MC 2015	0.463				
	0.000				
UE 2008	0.892	0.370			
	0.000	0.002			
PSP (%) 2010	-0.603	-0.415	-0.574		
	0.000	0.000	0.000		
RESAD	0.472	0.131	0.683	-0.359	
	0.000	0.280	0.000	0.002	
RESAF	0.286	0.118	0.293	-0.269	0.331
	0.016	0.330	0.014	0.024	0.005
RESAT (D+F)	0.378	0.139	0.440	-0.333	0.559
	0.001	0.251	0.000	0.005	0.000
SCD	0.286	0.432	0.308	-0.128	0.152
	0.017	0.000	0.009	0.290	0.210
SCF	0.132	0.120	0.141	-0.296	-0.027
	0.274	0.321	0.245	0.013	0.825
SCT (D+F)	0.193	0.216	0.207	-0.313	0.010
	0.109	0.072	0.086	0.008	0.936
TCAD	0.474	0.199	0.761	-0.343	0.683
	0.000	0.098	0.000	0.004	0.000
TCAF	0.015	-0.204	0.137	-0.102	0.170
	0.899	0.090	0.257	0.401	0.159
TCAT (D+F)	0.222	-0.076	0.446	-0.233	0.438
	0.065	0.534	0.000	0.052	0.000
IM 2014	0.967	0.449	0.926	-0.517	0.549
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	RESAF	RESAT (D+F)	SCD	SCF	SCT (D+F)
RESAT (D+F)	0.967				
	0.000				
SCD	0.154	0.176			
	0.204	0.146			
SCF	0.135	0.112	0.072		
	0.264	0.357	0.555		
SCT (D+F)	0.165	0.148	0.303	0.972	
	0.172	0.222	0.011	0.000	
TCAD	0.231	0.386	0.179	0.067	0.106
	0.054	0.001	0.138	0.579	0.381
TCAF	-0.024	0.024	0.042	0.037	0.046
	0.841	0.842	0.727	0.758	0.707
TCAT (D+F)	0.082	0.190	0.113	0.060	0.084
	0.497	0.115	0.351	0.623	0.491
IM 2014	0.271	0.385	0.315	0.110	0.179
	0.023	0.001	0.008	0.363	0.138
	TCAD	TCAF	TCAT (D+F)		
TCAF	0.227				
	0.059				
TCAT (D+F)	0.624	0.903			
	0.000	0.000			
IM 2014	0.581	-0.009	0.250		
	0.000	0.943	0.037		

Cell Contents: Pearson correlation

ANEXO C

Tabla C. 1 Conglomerado I.

ESTADO	NOMBRE MUNICIPIO	PUNTUACIÓN
Guerrero	Teloloapan	206
Estado de México	Chapa de Mota	204
Estado de México	Tejupilco	203
Estado de México	Tlatlaya	202
Morelos	Totolapan	201
Estado de México	Villa del Carbón	200
Estado de México	Temascalcingo	200
Estado de México	Sultepec	199
Estado de México	Luvianos	199
Guerrero	Tlalchapa	198
Guerrero	Pilcaya	198
Guerrero	Pedro Ascencio Alquisiras	198
Guerrero	Cutzamala de Pinzón	198
Estado de México	Ocuilan	197
Estado de México	Amatepec	194
Hidalgo	Nopala de Villagrán	194
Guerrero	Tetipac	193
Guerrero	General Canuto A. Neri	193
Hidalgo	Chapantongo	193
Morelos	Miacatlán	191
Estado de México	Zacualpan	190
Morelos	Ocuituco	188
Estado de México	Malinalco	187
Morelos	Tlalnepantla	187
Estado de México	Zumpahuacán	185
Estado de México	Ecatzingo	184
Morelos	Tetela del Volcán	184

Tabla C. 2 Conglomerado II.

ESTADO	NOMBRE MUNICIPIO	PUNTUACIÓN
Hidalgo	Atotonilco de Tula	215
Hidalgo	Tula de Allende	214
Estado de México	Apaxco	210
Hidalgo	Ajacuba	210
Estado de México	Tequixquiac	208
Estado de México	Temascalapa	208
Hidalgo	San Agustín Tlaxiaca	206
Morelos	Yecapixtla	205
Estado de México	Tepotzotlán	204
Hidalgo	Tepeapulco	197
Estado de México	Aculco	196
Estado de México	Soyaniquilpan de Juárez	196
Hidalgo	Tizayuca	194

Tabla C.2 Conglomerado II (continuación).

ESTADO	NOMBRE MUNICIPIO	PUNTUACIÓN
Hidalgo	Zempoala	193
Estado de México	Axapusco	193
Estado de México	Otumba	192
Guerrero	Arcelia	192
Estado de México	Ixtapan de la Sal	191
Estado de México	Atlautla	191
Hidalgo	Emiliano Zapata	191
Hidalgo	Villa de Tezontepec	189
Estado de México	Tonatico	189
Morelos	Coatlán del Río	189
Morelos	Atlatlahuacan	188
Hidalgo	Tlanalapa	187
Estado de México	Nopaltepec	187
Hidalgo	Tolcayuca	187
Estado de México	Juchitepec	186
Estado de México	Ozumba	186
Estado de México	Huehuetoca	182
Estado de México	Tepetlixpa	180
Estado de México	Polotitlán	176

Tabla C. 3Conglomerado III.

ENTIDAD	NOMBRE MUNICIPIO	PUNTUACIÓN
Hidalgo	Tepeji del Río de Ocampo	216
Estado de México	Jilotepec	213
Estado de México	Acambay	210
Estado de México	Zumpango	208
Estado de México	Hueypoxtla	205
Querétaro	Amealco de Bonfil	200
Morelos	Huitzilac	195
Estado de México	Xalatlaco	192

ANEXO D

Aplicación de la Guía en el municipio de Metepec, Estado de México



*2020. "Año de Laura Méndez de Cuenca; emblema de la mujer Mexiquense"

Metepec, Mexico a 13 de agosto de 2020

Oficio Número: DSP/1428/2020

A QUIEN CORRESPONDA

PRESENTE

Por este conducto me permito informar a Usted que la M. en C. Elvira Olay Romero, estudiante del Doctorado en Ciencias Ambientales del Instituto Tecnológico de Toluca, Estado de México, México, ha realizado una estancia de investigación en el La Dirección de Servicios Públicos, en el Departamento de Limpia, del municipio de Metepec, en el periodo correspondiente del 6 de Febrero del 2019 al 31 de Mayo del mismo año.

Durante su estancia ha complementado su formación en el área de aplicación de indicadores para el control y seguimiento de servicios de gestión y manejo de residuos sólidos urbanos, contribuyendo a la elaboración de una metodología para el diagnóstico del manejo integral de residuos sólidos urbanos (MIRSU).

Adicionalmente entregó un reporte técnico que incluye un diagnóstico inicial del MIRSU basado en indicadores del municipio, análisis de rutas de recolección y propuestas de mejora.

Los resultados generados durante la estancia complementan sus trabajos ya realizados en el marco de su tesis "GUIA PRACTICA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS EN MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MEXICO Y ESTADOS ALEDAÑOS DEL NORTE Y SUR".

Asimismo, hago de su conocimiento que el reporte de los resultados obtenidos puede ser publicado en la tesis arriba mencionada.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

c.c.p. Archivo.
GQS/AFZ/lpr***

ATENTAMENTE

GILDARDO QUIROZ SALCEDO
DIRECTOR DE SERVICIOS PÚBLICOS



Aplicación de la Guía práctica en el municipio de Metepec, Estado de México

Siguiendo la metodología de la guía práctica para mejorar el desempeño del MIRSU primero se aplicaron los indicadores a través del tablero de resultados (Figura D.1). Posteriormente se realizó un análisis por etapa y por categoría.

En el análisis por etapas, la semaforización mostró que la etapa de tratamiento y valorización es la etapa con mayor área de oportunidad, mientras que la etapa de recolección y barrido tienen un mejor desempeño. Si bien la etapa económica muestra semáforos en rojo es por estar abajo del monto económico que de acuerdo con la bibliografía se requiere invertir para tener un desempeño adecuado, es decir el 100% de la población atendida con cero por ciento de personal informal entre otros. En la etapa de Disposición Final solo se evaluó un indicador debido a que el municipio deposita en un RESA privado y no tiene injerencia ni conocimiento en la operación del sitio (Figura D.2).

En el análisis por categorías, la parte personal tiene un mejor desempeño en recolección que en la etapa de barrido con una tendencia positiva, necesitando reforzar la capacitación en ambas etapas, y en barrido incrementar el número de personal y el salario. Los aspectos técnicos muestran un indicador en amarillo en recolección y uno en rojo en barrido. Esto permite focalizar los esfuerzos en actividades específicas que brinden mejoras concretas.

En base al tablero de resultados, se eligió la etapa de recolección y el indicador Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/h) para analizar y aplicar esta guía.

Primero se revisó si se cuentan con todos los datos y la calidad de estos, para lo cual se contactó directamente al personal a cargo de la etapa de recolección. El municipio de Metepec, brindó información detallada de las 19 rutas matutinas de 5 días del mes de marzo del 2019 con los cuales se realizó un análisis del comportamiento de este indicador en cada una de ellas (Figura D.3).

TABLERO DE RESULTADOS DEL MIRSU

Entidad	EdoMex	Municipio	Metepec	Población	2015	227837	RSU Recolectados (Ton/año) 2014 SEMARNAT	RSU Recolectados (Ton/año) 2019 ITT	71280	RSU Generados (Ton/año) 74844.45
LEGISLACION				PERSONAL			ECONOMICO		TECNICO	
1T - Existencia de Legislación Estatal		NO		5T Perfil del personal en puestos clave (Encargado RSU y Medio ambiente)		Parcialmente				
2T - Cumplimiento de la Legislación Estatal		NO								
3T - Planeamiento para la gestión de residuos (programa y reglamento)		NO								
4T - Diagnóstico municipal de la gestión de residuos		NO		6T Proporción total de personal informal		0				
ECONÓMICOS							3E - Costo total per tonelada (MXN/t) BRD		605.79	
1E - Presupuesto para la gestión de residuos		SI					1760 -3800			
2E - Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto		5.99%					4E - Costo total per capita (MXN/Habitant e/mes) BRD		13.1	
5E - Existencia de tarifa específica		NO								
BARRIDO				5B-Personal formal por cada 10000 habi (trab/1000t)			1.98		1B-Costo barrido PE \$ 129.64	
2B - Cobertura de barrido (% km)		229%		6B-Salario promedio comparado con el salario minimo (%)			133.9		1B-Costo barrido (MXN/m²) PE \$ 0.47	
2B - Cobertura de barrido (% m²)		63%		7B - Cuenta con servicio medico			SI		3B - Rendimiento del trabajo de barrido (km/dia/empleado) 3.22	
				8B-Capacitacion personal			SI		3B - Rendimiento del trabajo de barrido (m²/dia/empleado) 266.67	
				9B-Proporción de personal informal (%)			0.00		4B - Residuos resultantes en barrido (t/km/mes) 0.02	
									4B - Residuos resultantes en barrido (t/m²/mes) 0.0001	
RECOLECCIÓN				7R-Personal formal de por cada 10000hab			5.71		1R-Costo de recolección y transporte (MXN/t) PC \$ 154.41	
2R- Residuos Recolectados (%)		95.24		9R - Salario promedio comparado con el salario minimo (%)			200.9		6R- Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/hora) 0.22	
5R- Población atendida por el servicio de		95.24		10R- Prestaciones			SI		3R - Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (%) 91.38	
				8R-Capacitación personal			NO		4R- Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte (km/t) 5.6	
				11R - Proporción de personal informal (%)			0.00			
DISPOSICIÓN FINAL				7D-Personal formal de por cada 10000hab (Trab/10000hab)			0.00		1D-Costo en SDF (MXN/t) Divergente \$ 213.40	
6Df - de SDF		RESA		8Df-Salario promedio en SDF comparado			0.0		3Df - Vida útil 0.0	
Clasificación SDF		A		9Df- Prestación servicio medico			NO		2Df - Residuos eliminados en SDF (%) 87.5	
Propiedad del SDF		Privada		11Df - Capacitación personal			0		4Df- Rendimiento del trabajo en \$/DIV/0!	
Ubicación SDF		Fuera		10Df-Proporción de personal informal en SDF (%)			\$/DIV/0!		5Df - Intensidad del uso de suelo en SDF (m²/t) \$/DIV/0!	
Años que se ha depositado en ese SDF		0.00								
VALORIZACION							Costo de los diferentes		#/DIV/0!	
Residuos valorizados y/o		0.00							Grado de aprovechamiento de las instalaciones #/DIV/0!	

Figura D. 1 Tablero de resultados municipio de Metepec.

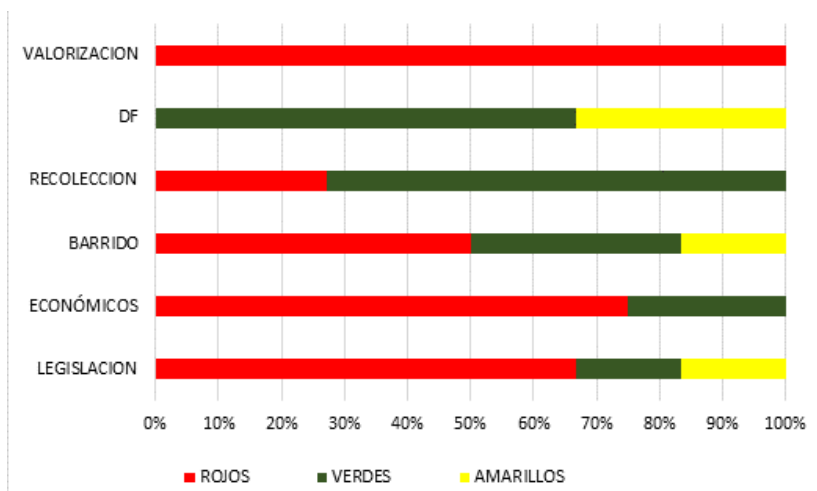


Figura D. 2 Semáforo de desempeño del MIRSU, Metepec.

Adicionalmente, al revisar los datos que conforman el indicador con el personal a cargo de la operación, se confirmaron algunos datos que inicialmente en la encuesta no se habían aclarado, como por ejemplo, se confirmó que no son 130 personas directas en los camiones recolectores (choferes y ayudantes), se tienen 2 turnos, el primero con 19 rutas (19 choferes y 38 ayudantes) y el segundo con 7 rutas (7 choferes y 14 ayudantes) un total de 78 empleados directos en la operación de recolección. Al hacer el cálculo del indicador con este dato confirmado, el rendimiento se incrementa de 0.22t/hora a 0.366t/hora (Figura D.4).

El indicador rendimiento de trabajo de recolección impacta directamente en el indicador Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (con los datos iniciales el valor obtenido fue 91.38%), sin embargo al aplicar el indicador a cada una de las 19 rutas matutinas se encontró que las 19 rutas oscilan entre un 40% y un 80% de aprovechamiento de su capacidad, la diferencia se puede atribuir a que en el cálculo inicial se consideraron 25 camiones recolectores, y en la práctica se usan lo correspondiente a 26 (19 matutinas más 7 vespertinas), en la base de los vehículos de recolección se tiene uno fijo que recibe RSU de la población en general y del sector informal que recolectan en diferentes puntos, adicionalmente también destinan vehículos para ir a recolectar a colonias cuando estas lo solicitan.

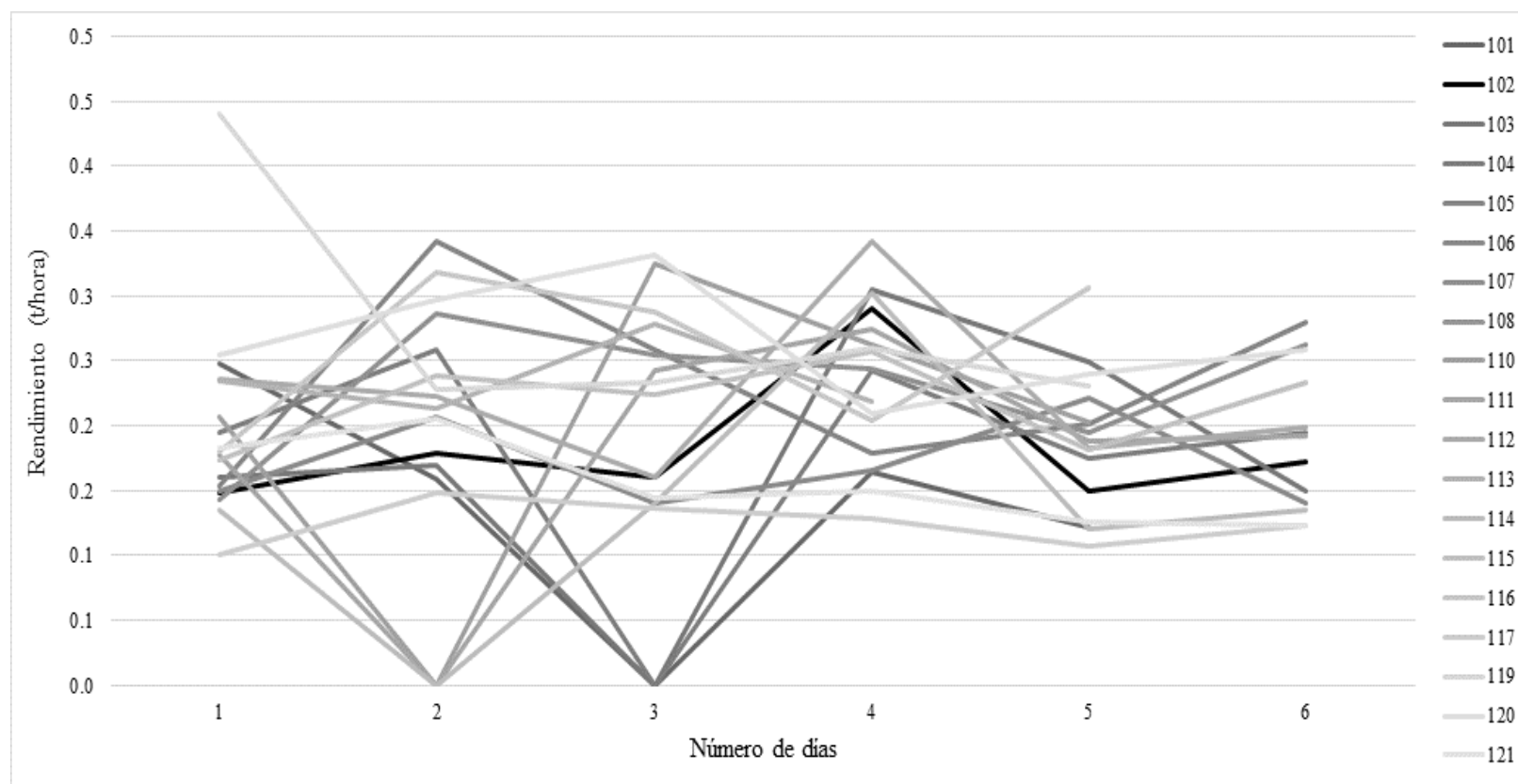


Figura D. 3 Rendimiento del trabajo de recolección, Metepec (t/hora).

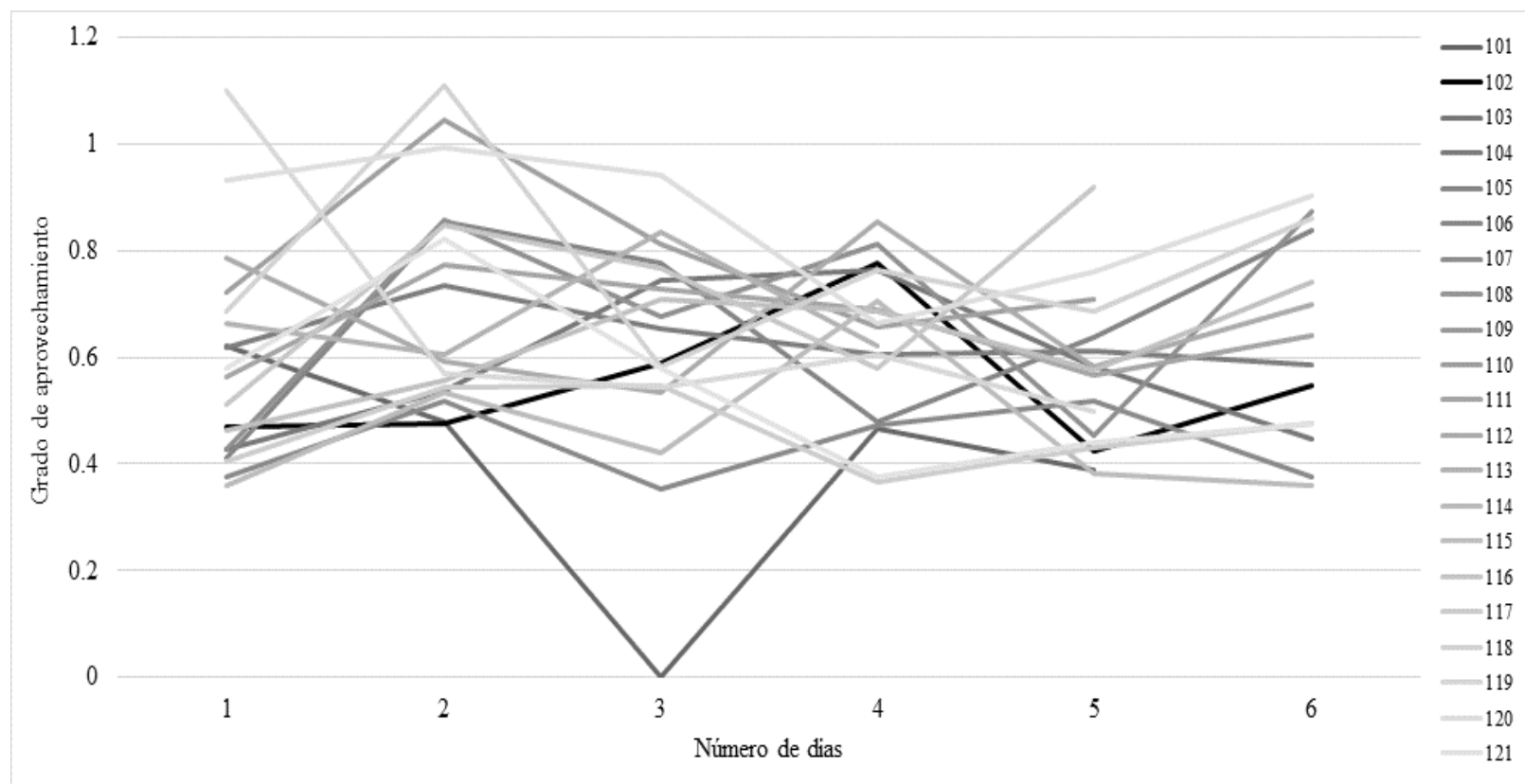


Figura D. 4 Grado de aprovechamiento rutas recolección turno matutino, Metepec.

Se eligió la ruta 102 que recolecta en la cabecera municipal de Metepec para realizar un estudio de rutas que brinde más información con el objetivo de identificar las causas de los resultados obtenidos en los indicadores rendimiento de trabajo en recolección y grado de aprovechamiento en recolección (Figura D.5).

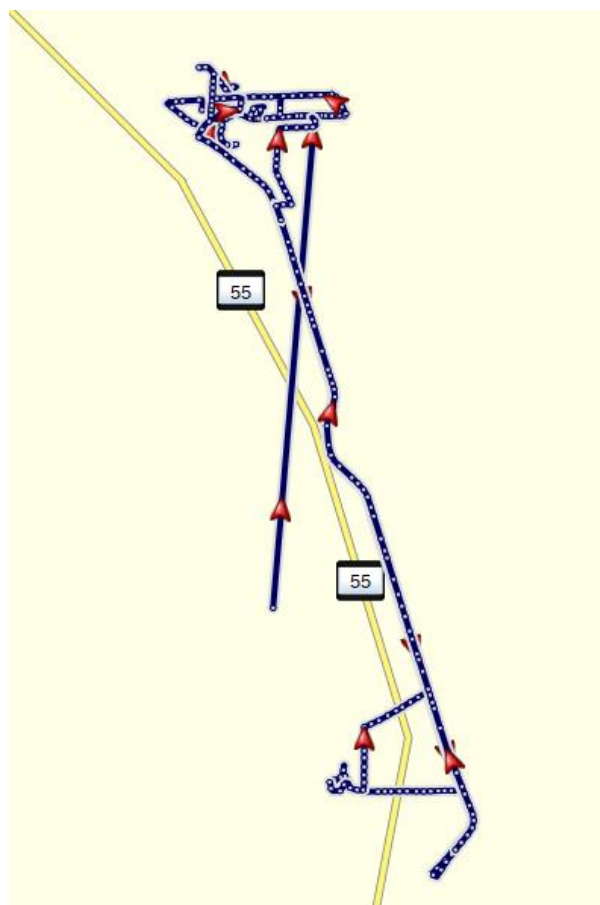


Figura D. 5 Ruta cabecera municipal, Metepec.

En la Tabla D.1 se muestran los datos generales del estudio de rutas en la cabecera de Metepec; se observa que el mayor tiempo el vehículo se encuentra detenido, lo cual se debe al método de recolección (Método de Parada Fija o Esquina), sin embargo, aunque no se registró el tiempo exacto en cada parada, si se contabilizaron las paradas y el número aproximado de recipientes con RSU que se reciben, el tiempo en cada parada depende del número de gente que entregue sus RSU, del tiempo que tarden en salir de sus casas (en ocasiones pasaban varios minutos antes de que llegaran), de la distancia y el peso que recorre la gente para hacer entrega de sus RSU, del tráfico de las calles y de la accesibilidad a las calles.

Con los datos del estudio de ruta se tiene un grado de aprovechamiento del 65.7% considerando los 5920kg depositados en el RESA y una capacidad de 9t del vehículo, y un rendimiento de 232kg/hora, de las 3 personas y las 8.33 horas trabajadas, lo cual corresponde con los datos analizados del mes de marzo (Figura D3 y D4).

Tabla D. 1 Estudio de ruta "Cabecera municipal, Metepec".

Ruta	Vehículo	Capacidad (T)	Personal	Tiempo en movimiento	Tiempo detenido (llenado)	Tiempo Total	RSU Recolectados (kg)	Distancia recorrida (km)
Cabecera 13 Feb 2019		9	3	2:59	5:34	8:33	5920	59.3

*El camión recolector había iniciado ruta aproximadamente 30min antes, horario estudio de ruta 6:30 a 3:30

En el estudio de ruta se estimó un total de 360 recipientes recibidos con un peso aproximado de 2128kg el cual se pudo verificar contra la cantidad de RSU depositados en el RESA al final del recorrido (5920kg), los datos aproximados se multiplicaron por 2.3 para llegar a la cantidad depositada en el RESA (la diferencia se considera se recolectó al inicio de la ruta, cuando aún no se iniciaba el estudio). Del total de recipientes recibidos, el 53% fue entregado en bolsa, es importante revisar la tendencia que generara las nuevas políticas en materia del uso del plástico (prohibir el uso de bolsas en tiendas y centros comerciales), puede haber un cambio en el uso del tipo de recipiente y/o se puede incrementar la venta de bolsas especiales para contener RSU. En segundo lugar, el tipo de recipiente es el bote de plástico, lo cual muestra que implementar la separación diferenciada con uso de botes de plástico puede funcionar ya que un porcentaje considerable de la población ya lo usa para almacenar sus RSU. En cuanto al tipo de camino la mayoría ya se encuentra pavimentado y hay pocas subidas que involucren un mayor consumo de combustible, sin embargo en la optimización de las rutas, se recomienda iniciar por los puntos más altos, finalmente solo el 1% de propina y el 2% entregó sus residuos separados, lo cual muestra que puede ser difícil establecer una cuota por la recolección de los RSU y que se requiere un programa fuerte de capacitación y concientización para establecer una recolección diferenciada (Tabla D.2).

Tabla D. 2 Análisis Rutas de recolección.

CABECERA METEPEC						
		No. De recipientes	Peso recolectado (kg)	Tipo de Recipiente (%)	RSU recolectados (%)	Compensación* kg (2.3)
Tipo de recipiente	B	192	1045	53	49	2402.4
	CB	6	145	2	7	333.5
	BP	119	708	33	33	1628.4
	C	23	120	6	6	276.0
	CC	11	41	3	2	94.3
	CM	1	25	0	1	57.5
	O	2	15	1	1	34.5
	CP	5	18	1	1	41.4
	P	1	10	0	0	23.0
	T	360	2129	100	100	4891.0
Camino	Pav	348	2044	97	96	4700.1
	TeS	11	75	3	4	172.5
	Te	1	10	0	0	23.0
Existe separación	NO	357	2107	99	99	4845.0
	SI	3	22	1	1	50.6
Dan propina	NO	353	2105	98	98.9	4840.4
	SI	7	24	2	1.1	55.2
MR		Método de Parada Fija o Esquina				

B, Bolsa; BM, Bote metálico; BP, Bote plástico; C, Costal; CC, Caja de cartón; O, Otro; ND, No disponible; CP, Caja de plástico; CB, Carrito barrido; CM, Caja de madera; P, Pasto; T, Total; Pav, Pavimento; PS, Pavimento subida; Te, Terracería; TeS, Terracería subida; MR, Método de recolección.

*kg menor al depositado en el RESA de 5920kg se consideran 1029 RSU recolectados al inicio de la ruta

Durante el recorrido de la ruta se registraron 38 paradas, en la parada 16 se recolectó el mayor número de recipientes y el mayor peso, sin embargo, el 34% de las paradas recolectan menos de 10 recipientes (Figura D.6).

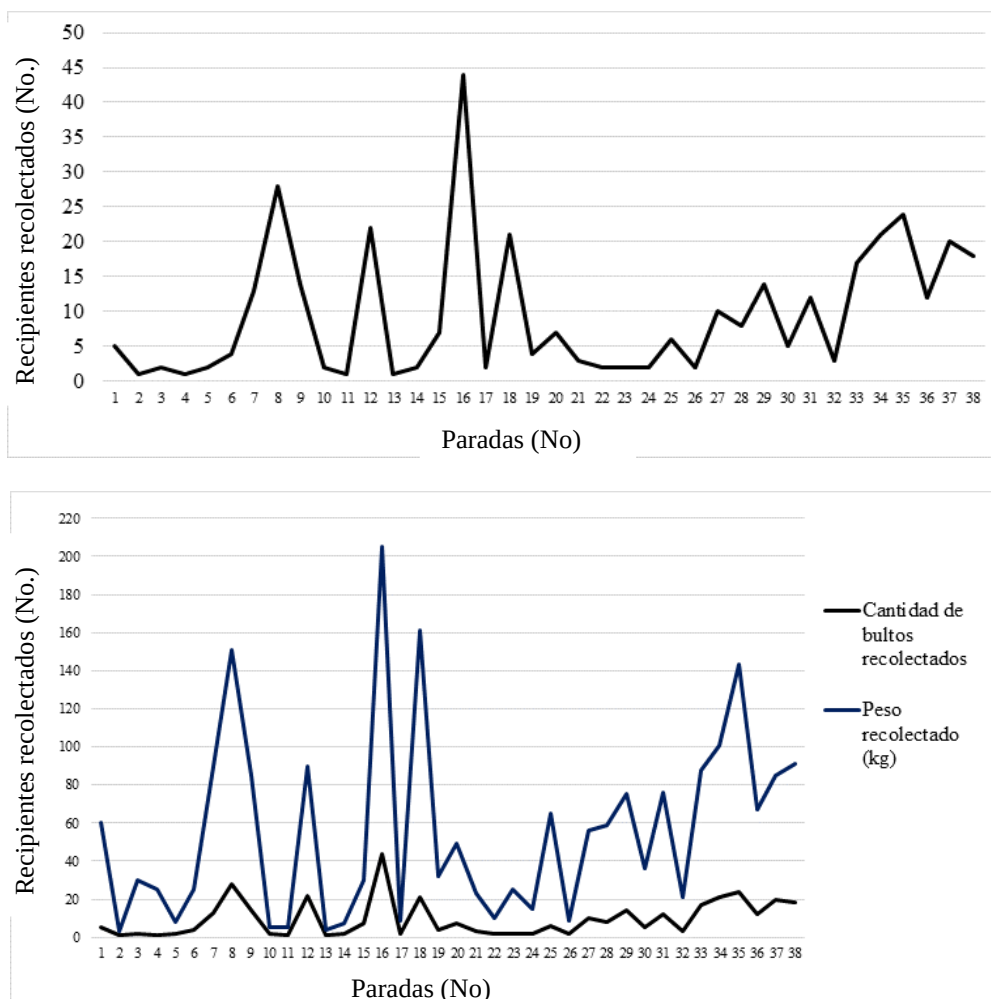


Figura D. 6 Número de paradas ruta de recolección, Metepec.

Con este estudio se observa que el grado de aprovechamiento de los vehículos está directamente relacionado con el rendimiento de recolección. El horario de servicio no se puede incrementar para aumentar el rendimiento de los empleados (8 horas), sin embargo, la unidad si pudiese usarse para un segundo turno antes de ir a depositar. Para incrementar el rendimiento algunas alternativas son las siguientes:

- a) Revisar la ruta y determinar en base al número de casas habitación y generación de RSU la cantidad máximo de residuos a recolectar, así como la distribución y el número de paradas optima.
- b) Revisar la cantidad máxima de residuos a recolectar & el vehículo de recolección utilizado esté podría tener una mayor capacidad que las necesidades a cubrir.

- c) Disminuir el tiempo de cada parada e incrementar la ruta con un mayor número de paradas y por ende mayor cobertura de población y captación de RSU.
- d) Reducir la frecuencia de servicio a la población (3 días a la semana por 2 días a la semana) para incrementar el número de recipientes y el peso de RSU por la acumulación del tercer día que se dejara de dar el servicio.

En los indicadores de valorización no se tiene contabilizado ningún tratamiento, sin embargo, durante el estudio de rutas se registró separación de RSU valorizables que son llevados a un centro de acopio para posteriormente ser reciclados. La cantidad de valorizables no fue pesada, pero de acuerdo con el estimado observado se calcula que del total de RSU recolectados el 8% fue recuperado y entregado a un centro de acopio. Si se toma como base esta cantidad de valorizables y se considera igual para las 26 rutas (19 matutinas, 7 vespertinas) por 5 días a la semana, dejando el sábado como día de amortiguamiento por la incertidumbre de los datos, 4 semanas al mes y 12 meses, se tendría que el municipio está tratando aproximadamente el 1% del total de RSU generados (Tabla D.3).

Tabla D. 3 RSU Valorizables Metepec.

MATERIAL	CANTIDAD RSU/RUTA (kg/ruta)	CANTIDAD DE RSU VALORIZADOS POR DIA (kg/total de rutas)	CANTIDAD DE RSU VALORIZADOS POR AÑO (t/año)
Cartón	20	520	124.8
Aluminio	16	416	99.84
PET	60	1560	374.4
Total	96	2496	599.04

Finalmente, se debe tomar alguna acción concreta y registrar cada uno de los datos para monitorear cualquier cambio en el indicador. Si las acciones implementadas no traen cambios positivos, se deben tomar acciones alternas y continuar monitoreando, siempre hacia la mejora continua.

ANEXO E

GUÍA PRÁCTICA PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LOS MUNICIPIOS

En México el incremento en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) es una realidad innegable, en las grandes ciudades se da un servicio de recolección cercano al 90%, pero en la mayoría de las municipalidades está por debajo del 50%, debido a que los ayuntamientos solo cubren la cabecera municipal y a las localidades más grandes y cercanas, dejando sin servicio a gran parte de la población, lo que ocasiona en muchos de los casos que los RSU generados, sean quemados, enterrados o tirados en sitios a cielo abierto, barrancas o ríos (Akinci, *et al.*, 2012; Hernández-Berriel *et al.*, 2016; Olay-Romero *et al.*, 2017).

El marco institucional de los gobiernos municipales ha sido modificado con las reformas al artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) de 1983 y 1999, estableciendo una hacienda municipal propia y la definición del Ayuntamiento como una entidad de gobierno con la capacidad reglamentaria, autonomía para legislar y administrar sus municipios, adquiriendo atribuciones sobre la planeación del territorio, la oferta de los servicios públicos que afectan la calidad de vida de los habitantes y la responsabilidad del sistema de aseo urbano; sin embargo los encargados en turno, en su mayoría sin experiencia en el tema, se han concentrado en retirar los RSU de la vista, sorteando con las dificultades económicas, de infraestructura y de personal (Nava, 2018).

Las municipalidades más grandes con poblaciones mayores a 15000 habitantes eventualmente han evolucionado y mejorado su manejo de residuos, sin embargo, en el país se tienen registrados 1264 TCA (CNGMD, 2013) y no se tienen diagnósticos recientes, ni información de la cual partir para tomar decisiones acertadas. Ante este escenario surge la necesidad de generar un instrumento (guía), que ayude a las administraciones de las municipalidades a complementar su preparación en materia de residuos, a comenzar a medir aspectos básicos que les permitan tener un diagnóstico de la situación de su Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos (MIRSU) y a tomar decisiones planeadas y acertadas (DOF, 2003; Wilson *et al.*, 2017)

De acuerdo con la Ley general para la prevención y gestión integral de residuos (LGPGIR) los Ayuntamientos municipales tienen la responsabilidad de la gestión y manejo de los RSU (DOF, 2003), sin embargo, los cortos tiempos de administración (trienio), la curva de aprendizaje y el incremento en

la generación de RSU, obliga a las municipalidades a tomar acciones inmediatas y concretarse en recolectar los RSU, para evitar problemas sanitarios y el descontento de la población; depositándolos fuera de la mancha urbana sin ningún tratamiento previo. Las acciones profundas y concretas de mayor impacto y permanencia se vuelven no prioritarias y complejas (Venegas Sahagún *et al.*, 2014).

Uno de los primeros efectos de la entrada en vigor de la LGPGIR ha sido el incentivar la elaboración de diagnósticos básicos de la situación de la gestión integral de los residuos a nivel nacional, estatal y municipal; sin embargo, se carece de una metodología oficial que permita homologar dichos diagnósticos. Este requerimiento fue establecido en la LGPGIR, como un paso previo a la formulación de los Programas para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PPGIR) que deben desarrollarse a nivel nacional, estatal y municipal, para llevar a la práctica sus disposiciones y lograr sus objetivos (DOF, 2003)

Como resultado de una investigación de campo financiada por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT 2015 con el Proyecto 263315 “Ubicación de rellenos sanitarios intermunicipales futuros en el Estado de México y estados aledaños”; fue posible visitar 70 municipalidades y conocer la situación de su MIRSU, encontrando carencias semejantes, pero también actitudes y ánimos por mejorar las cosas. Se detectó que la curva de aprendizaje lleva en promedio la mitad del tiempo de la administración, por lo que se reduce el tiempo de poner en práctica acciones de mejora y las lecciones aprendidas, muchas veces se pierden al cambiar de administración.

Si bien existen otros documentos y guías que ayudan a lograr mejoras en etapas específicas del MIRSU, el objetivo de esta Guía práctica es ser un instrumento que contribuya a la mejora de los sistemas de la Gestión integral de RSU (GIRSU) en los municipios de México, que permita cumplir con las dos premisas principales: “Cuidado de la salud pública y la protección del medio ambiente”; así como de tener ventajas económicas y sociales, como el uso adecuado de la partida municipal destinada a estas actividades o la mejora de la calidad de los servicios municipales prestados a la ciudadanía.

Esta Guía práctica presenta información del MIRSU y una metodología que permite detectar que datos son importantes registrar y monitorear, tener conocimiento sobre indicadores básicos para evaluar su desempeño e identificar las principales áreas de oportunidad; con lo que se puede realizar un diagnóstico básico para proponer soluciones y estrategias de mejora; la guía está conformada por 9 módulos que incluyen: legislación, economía, barrido, recolección, tratamiento, disposición final, información base, tablero de resultados y seguimiento y registro; se incluyen referencias de publicaciones auxiliares sobre

diferentes temas de cada una de las etapas que ayuden a ampliar el conocimiento en materia de RSU e implementar acciones concretas. Está concebida como un documento práctico de consulta que incorpora la semaforización de indicadores facilitando así el proceso de elaboración de un diagnóstico para la toma de decisiones. Pretende ser un documento de referencia para mejorar la gestión de los RSU en el país, específicamente para los municipios con un incipiente MIRSU.

¿Cómo usar esta Guía práctica?

Esta Guía práctica ha sido diseñada para su uso por parte de funcionarios y responsables del manejo de los RSU, principalmente para municipios menores a 15000 hab, sin embargo, no limita su consulta a municipios más grandes.

La Guía práctica está dividida en ocho módulos, a través de los cuales busca apoyar a las municipalidades en sus esfuerzos por mejorar cada una de las etapas: Barrido, Recolección, Tratamiento y Disposición Final (DF); que se operan en la mayoría de las administraciones.

El Módulo 1 Legislación está enfocado al conocimiento general en materia de RSU y su legislación, la cual no solo es clave conocerla, sino que las municipalidades desarrollen sus propios instrumentos para aplicar en su sistema de aseo público. El Módulo 2 Economía incluye la parte económica, que permite situar a las municipalidades en sus gastos reales para implementar mejoras y planear inversiones a corto, mediano y largo plazo. Los Módulos 3 al 4 comprenden las etapas de Barrido, Recolección, Tratamiento y DF; que, si bien no son las únicas etapas operativas del MIRSU, si son a las que la mayoría de los municipios atienden (Figura E.1).

Módulo 1. LEGISLACION	Módulo 2. ECONOMIA	Módulo 3. BARRIDO	Módulo 4. RECOLECCION	Módulo 5. TRATAMIENTO	Módulo 6. DISPOSICION FINAL	Módulo 7. INFORMACION BASE	Módulo 8. TABLERO DE RESULTADOS	Módulo 9. SEGUIMIENTO Y REGISTRO
MÓDULOS BÁSICOS PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DEL MIRSU								

Figura E. 1 Módulos de la guía para mejorar MIRSU.

Cada Módulo del 1 al 6 está conformado por tres secciones, en la primera se presenta información general y concreta relacionada al módulo, que permite iniciar en el conocimiento del tema. En la segunda sección se proponen una serie de indicadores para que, al aplicarlos, los municipios tengan conocimiento de su situación en cada etapa. Cada indicador está conformado por el nombre del indicador, una descripción breve, la información base que necesitan para poder evaluar el indicador (para los indicadores cualitativos las posibles respuestas) (módulo 7) y un valor objetivo que es el alcanzable mediante una Semaforización. La semaforización tiene tres rangos: 1) Desempeño bueno (verde): cuando el indicador está dentro de los parámetros esperados, 2) Desempeño regular (amarillo): cuando el desempeño es potencialmente problemático o presenta rezagos y 3) Desempeño malo (rojo): indicador en situación crítica o con desempeño altamente problemático. La tercera sección presenta bibliografía que abarca las diferentes etapas del MIRSU y que se pueden consultar para más información.

El Módulo 7 Información base, presenta la información base para el cálculo de los indicadores de cada módulo (módulo del 1 al 6). Cada tabla incluye el ID número de identificación otorgado a cada indicador, la información base (datos que se van a ocupar para realizar el cálculo del indicador) y la formula a seguir para obtener el resultado. En el Módulo 8 Tablero de resultados, se muestran los resultados en un Tablero (Dashboard), donde se comparan contra el objetivo a alcanzar mediante una semaforización (desempeño bueno – verde; desempeño regular – amarillo; desempeño malo - rojo). Este Tablero de

resultados permite visualmente tener la evaluación rápida de cada una de las etapas que permite realizar un diagnóstico.

Finalmente, en el Módulo 9 Seguimiento y registro, se proponen pasos para el seguimiento que buscan ayudar en la mejora continua del MIRSU, a través del uso de la Guía práctica y del Tablero de resultados generado.

Módulo 1. Legislación

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se establece la responsabilidad de los municipios el servicio de limpia:

- | | |
|--------------|--|
| Artículo 115 | Los municipios, con el concurso de los Estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes, tendrán a su cargo los siguientes servicios públicos: |
| | a) Agua potable y alcantarillado. |
| | b) Alumbrado público. |
| | c) Limpia. |
| | d) Mercados y centrales de abasto. |
| | e) Panteones. |
| | f) Rastro. |

En México la LGPGIR establece que los municipios tienen a su cargo las funciones del MIRSU que consisten en la recolección, traslado, tratamiento y su disposición final; así como la responsabilidad de formular los Programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos (PMPGIRSU), así como de emitir los reglamentos 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

En la LGPGIR se establecen las responsabilidades Federales, Estatales y municipales en materia de RSU:

- | | |
|-------------------|--|
| Artículo 7, 9, 10 | <p>A nivel estatal, <i>“promover los programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos...prevenir la contaminación de sitios, y remediar aquellos con presencia de residuos”</i>.</p> <p><i>Los ayuntamientos por su parte dictarán los bandos de policía y buen gobierno, los reglamentos, circulares y disposiciones administrativas que correspondan, para que en sus respectivas circunscripciones se cumplan las previsiones del presente ordenamiento.</i></p> |
| Artículo 7, 9, 10 | A nivel municipal; la responsabilidad de proporcionar el sistema de aseo urbano y contar con programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. |

En las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) se establecen los requisitos a cumplir en materia de los residuos y en las Normas Mexicanas (NMX) se establecen métodos comprobados para realizar diferentes estudios (Tabla E.1) (SEMARNAT, 2016).

Tabla E. 1 Normas Mexicanas en materia de RSU.

DESCRIPCIÓN	NOM / NMX
Establece las especificaciones para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final.	NOM-083-SEMARNAT-2003
Establece los criterios para clasificar a los RME y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo.	NOM-161-SEMARNAT-2011
Método de cuarteo.	NMX-AA-015-1985
Peso volumétrico <i>in situ</i> .	NMX-AA-019-1985
Selección y cuantificación de subproductos.	NMX-AA-022-1985
Determinación de la generación de RSU.	NMX-AA-061-1985
Determinación de humedad	NMX-AA-016-1984
Determinación de poder calorífico superior	NMX-AA-033-1985

Fuente: SEMARNAT, 2016.

Indicadores de legislación

Los indicadores de legislación y política tienen el objetivo de mostrar la situación real del municipio frente al cumplimiento de los requisitos y obligaciones que se presentan en las leyes en materia de RSU. Se presentan los indicadores propuestos en la tabla E.2. Para mayor detalle se recomienda consultar a Turcott-Cervantes & Lobo (2016).

Tabla E. 2 Indicadores de Legislación y política.

ID GUIA	INDICADOR	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-1T	<i>Existencia de legislación Nacional</i>	Cualitativo	Si/P/ No	SI	P	NO	Evalúa la existencia de legislación marco actualizada sobre gestión de residuos, además de otras leyes y reglamentos relacionados.
I-2T	<i>Cumplimiento de la Legislación</i>	Cualitativo	Si /P/ No	SI	P	NO	Evalúa el nivel de cumplimiento de la legislación existente sobre gestión de residuos
I-3T	<i>Planeamiento para la gestión de residuos</i>	Cualitativo	Si / PNS/No	SI	P	NO	Evalúa la existencia y vigencia de un plan integral para la gestión de residuos publicado por la entidad evaluada o por un nivel superior *Se evalúan planes y programas marco
I-4T	<i>Diagnóstico de la gestión de residuos</i>	Cualitativo	Si/P/ No	SI	P	NO	Evalúa el alcance y antigüedad de los estudios sobre gestión de residuos realizados
I-5T	<i>Perfil del personal en puestos clave</i>	Cualitativo	Si/P/ No	SI	P	NO	Evalúa si los puestos clave están ocupados por personal adecuadamente capacitado (experiencia y cualificación)
I-6T	<i>Proporción total de personal informal</i>	Cuantitativo	%	≤10	>10 a ≤35	>35	Evalúa el porcentaje de personal informal existente en el sistema de gestión de residuos, respecto al total de personal ocupado en la gestión de residuos

P: Parcialmente; PNS: Publicado por un nivel superior

Documentos auxiliares en legislación

Existen publicaciones oficiales, no oficiales y casos de estudio que pueden brindar un panorama para implementar acciones que ayuden a mejorar el desempeño del MIRSU. En la tabla E.3 se presentan algunos documentos como apoyo para mejorar los indicadores de legislación y política.

Tabla E. 3 Documentos Auxiliares "Módulo Legislación".

ID	INDICADORES	DOCUMENTOS AUXILIARES	REFERENCIA
I-1T	<i>Existencia de legislación</i>	Experiencias de la GTZ en los procesos de elaboración y ejecución de programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos.	Rodríguez Salinas <i>et al.</i> , 2007
I-2T	<i>Cumplimiento de la Legislación</i>	Prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos experiencia de nuevo años de cooperación técnica alemana en México	Wehempohl & Ambrosius, 2006
I-2T		Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales	Medina Roos <i>et al.</i> , 2001
I-2T		Guía para la formulación de un plan de manejo de residuos electrónicos en el nivel municipal	INE, 2011
I-3T	<i>Planeamiento para la gestión de residuos</i>	Guía para la elaboración de Programas municipales para la Prevención y gestión integral de los Residuos sólidos urbanos (SEMARNAT-GTZ)	Günther & Hernández, 2006
I-3T		Guía de diseño para la identificación grafica del manejo integral de los RSU	SEMARNAT, 2015
I-3T		Estudio de generación y caracterización de residuos sólidos municipales.	Hernández Barrios, 2000
I-4T	<i>Diagnóstico de la gestión de residuos</i>	NMX-AA-061-1985	SEMARNAT, 2016.
I-4T		NMX-AA-022-1985	
I-4T		NMX-AA-019-1985	
I-4T		NMX-AA-015-1985	
I-5T	<i>Perfil del personal en puestos clave</i>	Manual técnico – administrativo para el servicio de limpia municipal (SEDESOL)	SEDESOL, 2001
I-6T	<i>Proporción total de personal informal</i>	El sector informal en la separación del material reciclable de los residuos sólidos municipales en el Estado de México (SEGEM-GTZ)	Wamsler, 2000

Módulo 2. Economía

El servicio de limpia se ha caracterizado por sus altos costos y nulos o mínimos ingresos, por lo que representa para los ayuntamientos un gasto. Este gasto por lo general se considera excesivo, sin embargo, pocas veces se tiene un panorama real de cuanto y en que se está gastando. Algunos de los costos de operación asociados a la prestación del servicio en cada una de las etapas van desde el personal, los insumos, el mantenimiento, etc.

Los costos unitarios de los servicios son útiles a la hora de fijar los presupuestos del servicio y un esquema de regulación de los servicios con tarifas y subsidios justos, que aseguren su sostenibilidad financiera, ambiental y social. La recuperación insuficiente de los costos y la falta de gestión basada en un sistema adecuado de contabilidad de costos, son los obstáculos más críticos para alcanzar la autosostenibilidad de los servicios (Bertanza *et al.*, 2018; Tello-Espinoza, *et al.*, 2010).

Los costos unitarios obtenidos para América Latina y el Caribe en el 2010 alcanzaron los valores de: US\$24.89 por kilómetro barrido (10 US\$/km estimados en 2002), US\$34.22 por tonelada recolectada (25 US\$/t en 2002), US\$12.01 por tonelada transferida (13 US\$/t en 2002) y US\$20.43 por tonelada dispuesta (9 US\$/t estimados en la evaluación anterior). El incremento del costo de la tonelada de RSU recolectada, transferida y dispuesta fue cercano al 42%, al pasar de US\$47/t a casi US\$67/t (Tello-Espinoza, *et al.*, 2010). Para municipios de México en el 2016 se encontraron costos de US\$12.00 por kilómetro barrido, US\$16.29 por tonelada recolectada, US\$4.61 por tonelada dispuesta y un costo global para estas tres etapas de US\$31.85/t (Turcott Cervantes, 2018). En general los costos han incrementado considerablemente en los últimos años, debido al aumento en el precio de los insumos, el tamaño de la población, las tecnologías a usar para su tratamiento etc. por lo que tener un bajo costo no significa tener una operación eficiente (Wilson *et al.*, 2012).

Para mejorar la gestión de RSU existe la necesidad de garantizar la sostenibilidad económica de los sistemas urbanos de residuos sólidos a través de la recuperación de costos y una mejor gestión financiera en el ámbito municipal, el acceso a otras fuentes de financiación (como donaciones ambientales específicas y oportunidades de financiamiento de carbono) y la participación selectiva del sector privado para prestar servicios y proporcionar capital (Tello-Espinoza, *et al.*, 2010). Sin embargo, independientemente del tamaño del municipio, uno de los problemas recurrentes es la falta de información financiera del sector, sobre todo en lo relativo a las tarifas, costos de los servicios y presupuesto municipal destinado al manejo de residuos (Bockelmann, 2003).

Cuantificar el costo real en cada una de las etapas y analizar si se tiene un presupuesto real para enfrentarlo, ayuda a visualizar financiamientos concretos para ofrecer un adecuado servicio de recolección y una disposición que cumpla con las normas establecidas y el cuidado del medio ambiente. En México los montos asignados actualmente para la gestión de RSU se pueden considerar insuficientes y el pago del servicio de gestión de RSU se cubre con el presupuesto municipal. Sobre la aplicación del presupuesto municipal el presidente del municipio tiene una fuerte influencia, hasta en algunos casos es él quien decide. Especialmente en los municipios rurales y semiurbanos no existe un presupuesto municipal diferenciado, esto quiere decir que no existe un ítem específico para el servicio de gestión de residuos (Bockelmann, 2003).

Acercar el monto y la estructura de los gastos de gestión de residuos sólo existen datos parciales que no permiten una evaluación completa de la situación de costos, por lo que el primer paso sería analizar y cuantificar el costo real en cada una de las etapas.

Indicadores Económicos

Los indicadores económicos tienen el objetivo de mostrar la situación real del municipio frente al conocimiento de su presupuesto, ingresos y gastos que se tiene, a fin de poder realizar una planeación en el corto, mediano y largo plazo. En la tabla E.4 se presentan los indicadores propuestos. Para mayor detalle se recomienda consultar a Turcott-Cervantes & Lobo (2016).

Tabla E. 4 Indicadores económicos.

ID GUIA	INDICADOR	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-1E	<i>Presupuesto para la gestión de residuos</i>	Cualitativo	Si / No	SI	-	NO	Evalúa la existencia de un presupuesto específico para residuos
I-2E	<i>Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal</i>	Cuantitativo	%	≥ 10 a ≤ 15	≥ 5 a < 10	> 5 > 15	Evalúa el porcentaje de presupuesto municipal que corresponde a la gestión de residuos
I-3E	<i>Costo total por tonelada</i>	Cuantitativo	MXP \$/t	1760 a < 3800	1100 a < 1760 3800 a < 4900	≤ 1100 ≥ 4900	Evalúa el costo de la gestión de residuos relacionado con las toneladas que entran al sistema
I-4E	<i>Existencia de tarifa específica</i>	Cualitativo	Si / No	SI	-	NO	Evalúa la existencia de una tarifa específica para el cobro del servicio de gestión de residuos a los ciudadanos dentro del área evaluada

Documentos auxiliares Económico

Existen publicaciones oficiales y no oficiales y casos de estudio que pueden brindar un panorama para implementar acciones que ayuden a mejorar el desempeño del manejo de los residuos (Tabla E.5).

Tabla E. 5 Documentos Auxiliares "Módulo Económico".

ID	INDICADORES	DOCUMENTOS AUXILIARES	REFERENCIA
I-1E	<i>Presupuesto para la gestión de residuos</i>		
I-2E	<i>Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal</i>		
I-3E	<i>Costo total por tonelada (CTT)</i>	Guía para la licitación y concesión de obras y servicios en la gestión integral de residuos sólidos en México	Soto Toledo <i>et al.</i> , 2007
I-4E	<i>Costo total per cápita (CTP)</i>	Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos	INE, 1999
	<i>Existencia de tarifa específica</i>	Estudio básico sobre la implementación de tarifas para la prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos	Bockelmann, 2003

Módulo 3. Etapa de Barrido

El barrido es un servicio primario que forma parte del sistema de prestación del Servicio Público de Limpia en un municipio (Gunther & Hernández, 2002). La limpieza de las ciudades no sólo es una necesidad estética sino también higiénica y de protección ambiental. Los RSU no constituyen un problema ambiental grave si son manejados adecuadamente, pero su presencia conlleva contaminación visual y riesgos higiénicos y sanitarios. Los tratamientos básicos de limpieza se pueden dividir en dos grandes bloques: barridos y baldeos. Otros tratamientos auxiliares como el vaciado de papeleras y la limpieza del mobiliario urbano, fachadas, solares, mercados y tianguis etc., complementan el conjunto de estos servicios. En las zonas costeras se deben incluir en los tratamientos de limpieza urbana, la limpieza y el mantenimiento de las playas (Kaza et al., 2018; Red Española de Ciudades por el Clima & FEMP, 2007; Tchobanoglous et al., 1994). A continuación se describen algunos tratamientos:

- a) El barrido se basa en el arrastre en seco de los residuos acumulados en la vía pública para su posterior retirada. Este tratamiento de limpieza es la manera más eficiente, económica y rápida de retirar los

residuos de pavimentos irregulares o sobre los que existen muchos obstáculos que dificultan la mecanización del trabajo (FEMP, 2007).

- b) El baldeo es un tratamiento de limpieza que se basa en proyectar agua a presión contra los residuos depositados en la superficie viaria con objeto de arrancarlos y transportarlos por la corriente del agua hasta el imbornal de alcantarillado más próximo. Actualmente existen dos modalidades de baldeo: Baldeo Manual: cuando el agua utilizada proviene de una manguera conectada a la red de riego de la ciudad; y Baldeo Mecánico: cuando el agua utilizada proviene de un vehículo cisterna con bomba a presión (RECC & FEMP, 2007; Tchobanoglous, 1994).
- c) El vaciado de las papeleras consiste en la recogida de todos los residuos contenidos dentro de sus cestas. También es importante considerar los excrementos de animales, sobre todo los caninos, aunque dependiendo de las ciudades también pueden ser de caballos y de aves, depositados en la vía pública constituyen hoy en día un problema en numerosos municipios, no sólo por el impacto visual que producen, sino también por los riesgos sanitarios que implican (RECC & FEMP, 2007).

El barrido puede efectuarse a través de dos modalidades: manual y mecánica. En el primer caso se emplea la mano de obra de barrenderos, utilizando herramientas sencillas (escobas, recogedores, botes, etc.) y se coordina con las rutas de recolección, de manera tal que los residuos permanezcan el menor tiempo posible en las calles; la prestación del servicio puede ser individual o por brigada. Mientras que para el barrido mecánico se emplea maquinaria (barredoras de diferentes tipos), pudiéndose combinar ambos métodos (Günther & Hernández, 2006).

Para determinar el tipo de barrido requerido en un lugar; se realiza una evaluación de los costos horarios de ambas alternativas, con el fin de elegir la que más convenga. Por lo general, los parámetros de diseño del barrido de calles y espacios públicos se obtienen a partir de los estudios de tiempos y movimientos efectuados en el servicio actual (RECC & FEMP, 2007; Tchobanoglous, 1994).

El diseño del barrido manual y/o mecánico se realiza de acuerdo con el área por servir, delimitando las zonas por atender, de preferencia las avenidas principales y calles, así como el centro de la localidad, o bien todas las calles pavimentadas. Es importante determinar los puntos que se describen en la tabla E.6 (Günther & Hernández, 2006).

Tabla E. 6 Puntos importantes a considerar en el Barrido.

PUNTOS PARA CONSIDERAR	DESCRIPCIÓN
Servicios Especiales	Tratamientos de Limpieza para Actividades Diversas. En cualquier municipio se realizan actividades, ya sean culturales, deportivas, lúdicas, etc. que precisan el apoyo del servicio de limpieza viaria. (Atención a mercadillos y actividades lúdicas, obras en la vía pública, limpieza de áreas industriales, limpieza de solares y áreas degradadas, limpieza de fachadas, limpieza de pavimentos, limpieza del mobiliario urbano, limpieza de fuentes y monumentos)
Planes especiales de limpieza	Caída de hojas y restos de poda, Fiestas Locales (Navidades, ya que se generan grandes cantidades de residuos, sobre todo de embalajes utilizados en regalos; Carnavales, por los residuos de envases y suciedad en los pavimentos; Semana Santa, por el ensuciamiento de los suelos; Fiestas Patronales y Locales, en las que se generan gran variedad de residuos y se produce un alto ensuciamiento del firme de las calles); la retirada de determinados residuos como excrementos y orines animales.
Servicios de Limpieza Urgentes	Los servicios de limpieza urgentes o de intervención rápida son una prestación complementaria de la programación básica de limpieza viaria. Se trata de un servicio que engloba funciones de muy diversa índole, centrando su actividad en resolver problemas urgentes de limpieza en las ciudades. Las situaciones a las que debe hacer frente este servicio son muchas y muy variables, por lo que sus características más importantes son la polivalencia, la alta preparación del personal, la capacidad de improvisar soluciones, de coordinarse con personas u organizaciones diversas y de afrontar riesgos. Ejemplo: cuando desde cualquier Administración Pública (Ayuntamiento, Policía, Guardia Civil, etc.) o cualquier ciudadano, detecten situaciones de suciedad y acumulación de residuos, e informen a este servicio para que actúe; Recogida de combustibles, aceites, cristales u otros elementos que se hallen en la calzada tras un accidente de tráfico; Recogida de vertidos producidos como consecuencia de intervenciones del servicio de bomberos; Recogida de residuos, limpieza viaria y recolocación del mobiliario urbano tras incidentes callejeros y vandalismo; Eliminación de pintadas, pancartas y demás elementos publicitarios que por sus características o circunstancias exigen una retirada inmediata; Atención a demandas puntuales de los ciudadanos referentes a circunstancias que observan en las calles del municipio; Limpiezas generales tras concentraciones ciudadanas, por inclemencias meteorológicas, catástrofes, atentados, derrames de aceites, grasas etc.
Rutas de barrido	Se determinan las zonas, sectores y lugares donde se proporcione el servicio, asignándole cierto nivel de cobertura. Una vez resuelto esto, se determina el tiempo requerido según la cantidad de residuos a barrer, el equipamiento actual y las condiciones específicas de la localidad. Es necesario el trazo de la ruta que los barrenderos y la barredora deberán recorrer por jornada.

Fuente: RECC & FEMP, 2007; Gunther Wehenpohl & Hernández, 2002.

Tabla E.6 Puntos importantes a considerar en el Barrido (Continuación).

PUNTOS PARA CONSIDERAR	DESCRIPCIÓN
Frecuencia de barrido	Se decide por zonas y sectores en función de las prioridades de atención, demanda, capacidad del equipo, eficiencia del llenado del equipo, eficiencia de los empleados y días laborables.
Rutas de recolección de los residuos barridos manualmente	Se establecen los puntos en los cuales los residuos barridos manualmente han de ser recogidos por los vehículos recolectores, con la finalidad de llevarlos a disposición final.
Equipo y personal necesario para el servicio	Están en función del método seleccionado, lugares asignados para limpieza, costos del equipo, características de las vías a barrer (topografía, pavimentación, longitud, etc.) y personal asignado. En algunas localidades, la reglamentación municipal indica que el barrido de calles es responsabilidad directa de la población, quien tiene la obligación de barrer el frente de su casa y/o establecimiento, so pena de sanciones administrativas o multas.
Tipo de barrido manual (individual o en brigada) o mecánico	Anchura de las aceras; grado de suciedad; existencia o no de contenedores; volumen y cantidad de residuos; tipos de pavimentos; equipamiento disponible.
Equipamiento barrido manual	El equipamiento que se utiliza para realizar las labores de barrido manual se compone de: escoba, cepillos, recogedor, carrito (deben de ser ligeros y contar con un espacio destinado a los útiles de limpieza, hasta 120 litros de capacidad. La capacidad de los carritos estará en función de si se les permite a los operarios descargar o se les obligue a depositarlos en puntos de descarga específicos), motocarro (permite desplazar a los operarios con rapidez hasta sus sectores de limpieza y de allí a los puntos de descarga, además de tener espacio para transportar los útiles de limpieza y los residuos recogidos; normalmente son vehículos de tres ruedas con cabina y caja trasera), Camión brigada (estos vehículos se utilizan para equipos de trabajo de más de dos operarios que necesiten de un vehículo para desplazarse hasta el sector que deben limpiar y disponer de gran capacidad de carga. Por norma general la caja debe ser basculante y tener una capacidad de carga de entre 3 y 5 m ³).
Equipamiento barrido mecánico	Barredoras (Tipos: Barredora de arrastre, Barredora de aspiración, Mini barredoras, Barredoras manuales, Aspiradoras, Sopladoras / aspiradoras manuales de mochila etc.)
Rendimiento en el barrido	Depende del tipo de pavimento de la acera, grado de suciedad habitual, disponibilidad de rampas de acceso, obstáculos en la acera, tipo de barredora empleada, número de operarios del equipo, método de reparto del personal.

Fuente: RECC & FEMP, 2007; Gunther & Hernández, 2002.

Indicadores etapa de barrido

Los indicadores para la etapa de barrido tienen el objetivo de mostrar un panorama general de la etapa incluyendo costos, aspectos del personal y aspectos técnicos (Tabla E.7). La evaluación propuesta se realizó con base a lo publicado por Turcott-Cervantes & Lobo (2016).

Tabla E. 7 Indicadores etapa de barrido.

ID GUIA	INDICADORES	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-2B	<i>Personal formal de limpieza viaria por cada 10000 habitantes</i>	Cuantitativo	Trabajadores / 10000 habitantes	≥4	2 a <4	<2	Evalúa la proporción de trabajadores implicados directamente en la operación de limpieza viaria por cada 10000 habitantes
I-3B	<i>Rendimiento del trabajo de limpieza viaria</i>	Cuantitativo	m ² / empleado / día	≥2500 a ≤6500	≥2000 a <2500 >6500 a ≤7000	<2000 >7000	Evalúa el rendimiento promedio diario en limpieza viaria por empleado en km o m ²
			km / empleado / día	≥1.3 a ≤1.5	≥0.8 a <1.3 >1.5 a ≤2	<0.8 >2	
I-4B	<i>Salario promedio en limpieza viaria comparado con el salario mínimo</i>	Cuantitativo	%	≥200	≥100 a <200	<100	Compara el porcentaje del salario mínimo que corresponde al salario promedio en limpieza viaria
I-5B	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>	Cuantitativo	Si /P/ No	Si	P	No	Evalúa si todos los empleados tienen prestación de servicio médico
I-6B	<i>Cobertura de limpieza viaria (km)</i>	Cuantitativo	%	≥85	<85 a ≥60	<60	Evalúa el porcentaje de km atendidos con limpieza viaria respecto al total de plazas, avenidas y calles pavimentadas.
I-7B	<i>Proporción de personal informal en barrido</i>	Cuantitativo	%	≤10	>10 a ≤35	>35	Evalúa el % de personal informal existente en limpieza viaria, respecto al total de personal ocupado en esa actividad
I-8B	<i>Costo de Barrido</i>	Cuantitativo	MXP\$/m ² o MXP\$/km	≥300 a ≤400	≥200 a <300 >400 a ≤500	<200 >500	Muestra el coste total de operación y mantenimiento de la limpieza viaria respecto a los km o m ² atendidos
			MXP\$/t	≥1600 a ≤2120	≥1060 a <1600 >2120 a ≤2660	<1060 >2660	

P: Parcialmente

Documentos auxiliares Barrido

Existen publicaciones oficiales y no oficiales y casos de estudio que pueden brindar un panorama para implementar acciones que ayuden a mejorar el desempeño del manejo de los residuos (Tabla E.8).

Tabla E. 8 Documentos Auxiliares "Módulo Barrido".

ID	INDICADORES	DOCUMENTOS AUXILIARES	REFERENCIA
I-2B	<i>Personal formal de limpieza viaria por cada 10000 habitantes</i>		
I-3B	<i>Rendimiento del trabajo de limpieza viaria</i>		
I-4B	<i>Salario promedio en limpieza viaria comparado con el salario mínimo</i>	Manual técnico – administrativo para el servicio de limpia municipal	SEDESOL, 2001
I-5B	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>	Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales	INE, 2011
I-6B	<i>Cobertura de limpieza viaria (km)</i>		
I-7B	<i>Proporción de personal informal en barrido</i>		
I-8B	<i>Costo de Barrido</i>		

Módulo 4. Etapa de Recolección

La Recolección de residuos es en términos generales, el transportar los RSU desde su almacenamiento en la fuente generadora hasta el vehículo recolector y luego trasladarlos hasta el SDF o a la estación de transferencia (SEDESOL, 1997). La recolección de los RSU y su disposición final adecuada tienen como finalidad proteger la salud de la población, reduciendo la proliferación de fauna patógena (ratas, moscas, mosquitos, cucarachas, etc.), así como evitar los impactos potenciales que podrían ocasionar sobre los ecosistemas con la contaminación del agua y los suelos (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

La Recolección generalmente representa uno de los mayores impactos económicos en la GIRSU, por ello tiene una alta importancia buscar la solución adecuada y eficiente. Dependiendo de las medidas generales de manejo, se puede hacer una Recolección de residuos mezclados o separados, considerando el tipo de tratamiento posterior. La separación de materiales reciclables en el camión por el personal de recolección reduce fuertemente la eficiencia del servicio (Rodríguez Salinas *et al.*, 2007; Günther & Hernández, 2006). A continuación, se detallan los tipos de Recolección:

- a) **Recolección mezclada:** La Recolección mezclada es la más común, ya que solamente en algunos municipios se realiza una separación sistemática. Este sistema requiere pocos cambios en los hábitos de los generadores, ya que no precisan separarlos en la fuente. Por otro lado, este tipo de recolección anima a los trabajadores en los camiones hacer una prepepena para tener un ingreso adicional por la venta de material reciclable. Con eso, el proceso de la separación en el camión reduce significativamente la velocidad y la eficiencia de este servicio (Tchobanoglous *et al.*, 1994).
- b) **Recolección selectiva:** La recolección selectiva de RSU implica que las fracciones sean separadas en la fuente y posteriormente recolectadas también en forma separada. Esta separación reduce bastante la mezcla y contaminación de materiales, lo que en consecuencia aumenta su calidad y valor, permitiendo ampliar el mercado para la venta de los materiales reciclables y de la composta. La separación de residuos orgánicos tiene sentido si hay posterior composteo y si el producto tiene mercado. Puede ser recomendable separar el grupo residuos reciclables en más fracciones, si esto aumenta los ingresos (Macht, 2012).

La planificación de las rutas es determinante para la eficiencia y eficacia de la recolección de los RSU. Con la revisión y reorganización de las rutas existentes se puede lograr el ahorro de tiempo de recolección y ahorro de costos por la disminución del consumo de gasolina (Gunther & Hernández, 2002). La planificación correcta de las rutas es un trabajo complejo, que tiene que tomar en cuenta diferentes parámetros (cantidad de residuos a recolectar, capacidad de los vehículos, vialidades y topografía de la zona, etc.), generalmente se deben revisar las rutas existentes para detectar que factores se pueden mejorar. Algunos factores que considerar en la Planificación de las Rutas son (Günther & Hernández, 2006; SEDESOL, 2001):

- a) **Coincidencias entre las rutas:** Los camiones de recolección de diferentes rutas pasan por los mismos lugares, donde ya han sido recolectados los residuos por otro camión.
- b) **Localidades poco convenientes:** Localidades que, por distancia, accesibilidad u otras razones no encajan con la ruta a donde pertenecen y deben ser cambiadas a otras rutas.
- c) **Tiempo de recolección:** Dependiendo de las rutas, puede ser más económico que la recolección se ejecute a la vuelta de localidades donde los camiones pasan dos veces (ida y vuelta a las localidades lejanas). Eso tiene la ventaja que el camión recorre las distancias largas con poco peso (ahorro de gasolina, menor desgaste, velocidades mayores). Generalmente se debe intentar que los camiones conforme se van llenando vayan acercándose al sitio de disposición final.

- d) Hora de la recolección: De acuerdo con la estructura urbana (p.ej. calles estrechas y con mucho movimiento en el centro) es importante de definir la hora exacta de la recolección, para ser eficiente y para evitar la afectación al tránsito normal (p.ej. durante la noche).

En la tabla E.9 se describen los principales tipos de Recolección de RSU. Esta clasificación se basa en el punto de recolección y pueden tener modificaciones o haber combinación de una o varias de ellas, dependiendo las variables que intervienen en el diseño de un modelo adecuado a las necesidades de cada municipio. Algunas de estas variables son: tipo de municipio (rural, semiurbano, urbano), climatología, tipos de residuos generados en mayor cantidad, nivel adquisitivo de la población, nivel sociocultural de la población, plan urbanístico, recursos económicos del municipio, voluntad política y capacidad técnica del municipio (RECC & FEMP, 2007; SEDESOL, 2001).

.

Tabla E. 9 Principales métodos de Recolección.

MÉTODO DE RECOLECCIÓN	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Método de Parada Fija o Esquina	Este método consiste en recoger los residuos en las esquinas de las calles, en donde previamente por medio de una campana se comunica la llegada del camión y los usuarios acuden a entregar sus residuos.	Mejora la imagen del servicio La recolección se realiza en menor tiempo posible Es el más económico, después del de contenedores	Utiliza más tiempo que el de contenedores Requiere mayor personal de recolección Requiere cierta participación de los usuarios (cuando no hay quien tire la basura, ésta puede acumularse en exceso y ser arrojada clandestinamente)
Método de Acera o puerta a puerta (recolección domiciliaria)	Consiste en que simultáneamente al recorrido del camión por su ruta, los “peones” de la cuadrilla van recogiendo los residuos, previamente colocados por los residentes en el frente de sus casas. Este método debe tener un horario y una frecuencia cumplida, y los residentes deben estar informados de ello, para sacar sus bolsas con residuos en el momento adecuado evitando así que los perros u otros animales rompan las bolsas y derramen los residuos. La cuadrilla del vehículo debe estar integrada por un chofer y mínimo dos peones, los cuales se encargarán de ir recogiendo las bolsas plásticas con los residuos y depositarlas en el vehículo, cada peón tendrá a su cargo una acera. El chofer de cada camión tiene como obligaciones cumplir con las rutas, horarios y frecuencias que se le hayan asignado, así como accionar el mecanismo de compactación cada vez que sea necesario.	Mejora la percepción de calidad del servicio Requiere una mínima participación de los usuarios Se recolectan mayor cantidad de residuos	Requiere mayor tiempo de recolección Utiliza mayor cantidad de personal Problemas por el almacenamiento temporal de acuerdo con la frecuencia de recolección (sanitario, espacio de almacenamiento, malos olores)
Método de Contenedores	La recolección mediante contenedores requiere de empleo de camiones especiales y que los contenedores estén ubicados en forma accesible al vehículo recolector. Es un método ideal para centros de gran generación de basura; hoteles, mercados, hospitales, industrias, tiendas de autoservicio, etc. Se distinguen dos tipos: Contenedores fijos y Contenedores móviles	Disminución de las frecuencias de recolección. Opera con el mínimo de personal El recorrido se hace en el tiempo mínimo	Requiere amplia participación de los usuarios Requiere inversión inicial para contenedores La recolección debe respetar los tiempos establecidos Puede ocasionar focos de contaminación.

Fuente: RECC & FEMP, 2007

Los principales tipos de vehículos utilizados para la recolección de residuos son (RECC & FEMP, 2007):

- a) Camión sin compactador: este tipo de camiones recogen los residuos sin someterlos a ningún tipo de proceso y únicamente pueden recoger una fracción.
- b) Camión con compactador: este tipo de camiones recoge los residuos y los compacta, lo que permite la recogida de un mayor volumen de residuos. Únicamente pueden recoger una fracción.
- c) Camión compactador con dos compartimentos: su funcionamiento es similar al anterior, pero este tipo de camión dispone de dos compartimentos para poder recoger dos fracciones distintas sin mezclarlas.
- d) Camión de recogida lateral: es un camión que permite la manipulación y levantamiento de contenedores de grandes dimensiones de modo totalmente automático. Suele ser de tipo compactador.
- e) Camión con grúa pluma: estos camiones disponen en su parte posterior de una grúa elevadora que se utiliza para enganchar, levantar y vaciar la carga de los contenedores iglús y metálicos.
- f) Camión transfer: estos camiones son empleados para trasladar contenedores de gran capacidad.

Indicadores para etapa de recolección

Los indicadores para la etapa de recolección tienen el objetivo de mostrar un panorama general de la etapa que incluye desde los costos, personal y aspectos técnicos (Tabla E.10). Para ser calculados se requiere recopilar datos, los cuales se encuentran desglosados en la columna denominada Información base en la tabla E.21.

Tabla E. 10 Indicadores etapa de Recolección.

ID	INDICADOR IDENTIFICADO	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-2R	<i>Grado de aprovechamiento</i>	Cuantitativo	%	≥80 a ≤100	≥50 a <80	<50 >100	Muestra la relación entre los residuos recolectados y la capacidad de diseño de vehículos de recolección y transporte
I-3R	<i>Intensidad de desplazamiento</i>	Cuantitativo	km/t	≤15	>15 a ≤30	>30	Muestra la distancia recorrida por los vehículos de recolección y transporte de residuos por cada tonelada desplazada
I-4R	<i>Población atendida por el servicio de recolección</i>	Cuantitativo	%	≥90	≥70 a <90	<70	Población atendida por el servicio de recolección (normal o selectiva) de residuos domiciliarios
I-5R	<i>Personal formal de recolección y transporte por cada 1000 toneladas</i>	Cuantitativo	Trabajadores/1000 t	≥0.1	≥0.001 a <0.1	<0.001	Evalúa la proporción de trabajadores implicados directamente en la operación de la recolección y transporte por cada 1000 ton recolectadas
I-6R	<i>Rendimiento del trabajo de recolección y transporte</i>	Cuantitativo	t/ h	≥0.5	≥0.2 a <0.5	<0.2	Muestra la relación entre la cantidad de residuos recolectados y la cantidad de horas efectivas de trabajo
I-7R	<i>Salario promedio en recolección y transporte comparado con el salario mínimo</i>	Cuantitativo	%	≥200	≥100 a <200	<100	Compara el porcentaje del salario mínimo que corresponde al salario promedio en recolección y transporte
I-8R	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>	Cuantitativo	Si /P/ No	Si	P	No	Evalúa si todos los empleados tienen prestación de servicio médico
I-9R	<i>Proporción de personal informal en recolección y transporte</i>	Cuantitativo	%	≤10	>10 a ≤35	>35	Evalúa el porcentaje de personal informal existente en recolección y transporte, respecto al total de personal ocupado en esa actividad
I-10R	<i>Costo de recolección y transporte</i>	Cuantitativo	MXP\$/t	≥600 - ≤2000	≥300 a <600 >2000 a ≤2600	<300 >2600	Muestra el costo total de operación y mantenimiento de la recolección y transporte respecto a las toneladas recolectadas

Documentos auxiliares Recolección

Existen publicaciones oficiales y no oficiales y casos de estudio que pueden brindar un panorama para implementar acciones que ayuden a mejorar el desempeño del manejo de los residuos (Tabla E.11).

Tabla E. 11 Documentos Auxiliares "Módulo Recolección".

ID	INDICADORES	DOCUMENTOS AUXILIARES	REFERENCIA
I-2R	<i>Grado de aprovechamiento</i>		
I-3R	<i>Intensidad de desplazamiento</i>	Análisis del mercado de los residuos sólidos municipales	Wehenpohl, 1999
I-4R	<i>Población atendida por el servicio de recolección</i>	reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo	
I-5R	<i>Personal formal de recolección y transporte por cada 1000 toneladas</i>		
I-6R	<i>Rendimiento del trabajo de recolección y transporte</i>	El sector informal en la separación del material reciclable de los residuos sólidos municipales en el Estado de México	Wamsler, 2000
I-7R	<i>Salario promedio en recolección y transporte comparado con el salario mínimo</i>		
I-8R	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>		
I-9R	<i>Proporción de personal informal en recolección y transporte</i>	Información técnica sobre reciclaje	Vest, 2003
I-10R	<i>Costo de recolección y transporte</i>	Guía para la implementación de proyectos de separación de residuos sólidos urbanos dirigida a los municipios de los estados de Guerrero, México y Quintana roo	Macht, 2012

Módulo 5. Etapa de Tratamiento

Las diferentes formas de tratamiento de RSU ayudan a proteger el ambiente y reducir el gasto de materia prima. Si todos los residuos son llevados directamente al rellenos sanitario (RESA) sin tratamiento previo, los materiales reaprovechables como el vidrio, aluminio, metal, plástico, etc., se pierden prácticamente para siempre. Además, la disposición final de los residuos tiene un impacto mayor al ambiente por el volumen que representa y aumenta el riesgo de contaminación. La decisión de introducir una o varias formas de tratamiento en el proceso de manejo de RSU tiene que ser tomada por los responsables municipales, pero se recomienda hacer un estudio sobre sus ventajas y desventajas, como parte integral en el sistema local de la GIRSU (Tabla E.12) (Gunther & Hernández, 2002).

Tabla E. 12 Tipos de Tratamiento de RSU.

	TRATAMIENTO	REQUISITOS PARA SER FACTIBLE	VENTAJAS
Separación y reciclaje	Separación: Acción de clasificar los materiales reaprovechables en la fuente, durante la recolección, en los centros de acopio o en los sitios de disposición final. Reciclaje: proceso industrial de hacer un nuevo producto con el material que era desecho.	Grandes volúmenes Misma calidad Forma regular	Generación nuevos empleos. Disminuir impactos al medio ambiente por disponer menor volumen y minimizar el uso de materia prima virgen
Composteo	Los residuos orgánicos son los generadores principales de los lixiviados, de la producción de gas y del mal olor en los sitios de disposición final. La razón es la transformación bioquímica rápida e incontrolada. El composteo es la transformación bioquímica de forma controlada. El proceso de composteo transforma los residuos orgánicos en composta, la cual tiene potencial como mejorador de suelos y puede ser usado en la agricultura y horticultura	Todos los Residuos biodegradables: *Restos orgánicos de comida *Restos de frutas y verduras, *Ramos y hojas de los árboles, pasto, paja *Excremento de animales *Papel, madera (cuando no están contaminados con productos químicos).	Generación nuevos empleos Disminución de generación de lixiviados y gas metano Puede usarse directamente en el hogar o en los parques y áreas verdes municipales.

Fuente: Gunther & Hernández, 2002

Tabla E.12 Tipos de Tratamiento de RSU (Continuación).

	TRATAMIENTO	REQUISITOS PARA SER FACTIBLE	VENTAJAS
Tratamiento mecánico-biológico	Es un proceso que en los últimos años ha logrado una alta importancia en Alemania y otros países de Europa. Con esta forma de tratamiento se mejoran las propiedades de los residuos que se quieren confinar para disminuir los posibles impactos ambientales. Se recomienda realizar solamente con el material previsto para la disposición final, siendo compatible con otras formas de tratamiento como la separación de material reciclable y composteo.	La parte mecánica consiste en la homogeneización del material, la parte biológica del proceso es similar al composteo, la diferencia está en que el tratamiento mecánico-biológico mejora las condiciones para la DF. Contrario al composteo, no se interrumpe el proceso de fermentación a 70°C, se deja alcanzar temperaturas hasta casi 100°C; con esto se obtiene un material semi inerte sin valor como mejorador de suelos.	Alto grado de descomposición de la materia orgánica antes de su disposición. Con esta medida se logra la casi desaparición de la fase ácida del relleno y con ello una baja significativa de la producción de lixiviados y gases (entre 65 % y 95 %). El tratamiento mecánico disminuye la estructura de los residuos y favorece un alto grado de compactación. La incineración lleva a una gran reducción de volumen (del 10% al 20 % de su volumen inicial), higienización y estabilización de los materiales nocivos. Se puede aprovechar la energía generada por la incineración.
Incineración	Es una forma de tratamiento que frecuentemente se usa en los países industrializados con zonas densamente pobladas. Exceptuando a los residuos sólidos minerales, todos los demás pueden ser incinerados.	La incineración es un proceso en que los materiales son oxidados a temperaturas entre 600°C hasta 1,200°C, dependiendo del proceso aplicado y el combustible empleado.	

Fuente: Gunther & Hernández, 2002

Indicadores para la etapa de Tratamiento

Los indicadores para la etapa de Tratamiento tienen el objetivo de mostrar la cantidad de RSU que son valorizados y los costos. Los indicadores propuestos para la etapa de Tratamiento se muestran en la Tabla E.13. Los datos de evaluación propuestos se basan en la investigación realizada por Turcott-Cervantes & Lobo (2016).

Tabla E. 13 Indicadores etapa tratamiento de RSU.

ID	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-1TR	<i>Residuos valorizados y/o tratados</i>	%	≥45	<45 a ≥10	<10	Evalúa la cantidad de residuos valorizados respecto al total generado.
I-2TR	<i>Costo de los diferentes componentes</i>	mxp/t	≤2000 a ≥600	<600 a ≥300; ó >2000 a ≤2600	<300 ó >2600	Muestra el costo total de operación y mantenimiento de los distintos componentes respecto a las toneladas ingresadas a las instalaciones
I-3TR	<i>Grado de aprovechamiento de las instalaciones</i>	%	≤100 a ≥80	<80 a ≥50	<50 ó >100	Muestra la relación entre los residuos recolectados y/o ingresados a las instalaciones y su capacidad de diseño

Documentos auxiliares Tratamiento

Para los indicadores de Tratamiento en la Tabla E.14 se presentan algunos documentos auxiliares para su consulta.

Tabla E. 14 Documentos Auxiliares "Módulo Tratamiento".

ID	INDICADORES	DOCUMENTOS AUXILIARES	REFERENCIA
		Análisis del mercado de los residuos sólidos municipales reciclables y evaluación de su potencial de desarrollo	Wehenpohl, 1999
I-1TR	<i>Cantidad de residuos</i>	El sector informal en la separación del material reciclable de los residuos sólidos municipales en el Estado de México	Wamsler, 2000
I-2TR	<i>Tratados</i>	Información técnica sobre reciclaje	Vest, 2003
	<i>Costo de los diferentes componentes</i>	Manual de compostaje municipal -tratamiento de residuos urbanos	Rodíguez Salinas & Córdova, 2006
I-3TR	<i>Grado de aprovechamiento de las instalaciones</i>	Guía para la implementación de proyectos de separación de residuos sólidos urbanos dirigida a los municipios de los estados de Guerrero, México y Quintana Roo	Macht, 2012

Módulo 6. Etapa de disposición final

La disposición final constituye la última etapa del ciclo de vida de los RSU. La aplicación de todas las medidas de reúso y reciclaje permiten depositar los restos económicamente no reaprovecharles. La cuestión entonces no es evitar la disposición en el ciclo de manejo de RSU, sino reducir su cantidad y el impacto al ambiente. En la Tabla E.15 se muestran los tipos de sitios de disposición final (Günther & Hernández, 2006; Tchobanoglous, 1994).

Tabla E. 15 Tipos de Disposición Final de los RSU.

SITIO DE DISPOSICIÓN	CARACTERISTICAS
Relleno Sanitario (RESA)	Tipo de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería particulares para la disposición final de los RSU sobre el suelo, esparciéndolos y compactándolos al menor volumen posible, para cubrirlos con material natural y/o sintético, debe controlar la fuga de lixiviados y la generación de biogás, su función es confinar en forma segura y eficiente sus principales agentes impactantes (biogás y lixiviados). La Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias. De acuerdo con ella los RESA deben: 1) garantizar la extracción, captación, conducción y control de los biogases generados; 2) garantizar la captación y extracción de los lixiviados; 3) contar con drenajes pluviales para el desvío de escurrimientos y el desalojo del agua de lluvia; y 4) controlar la dispersión de materiales ligeros, así como la fauna nociva y la infiltración pluvial.
RESA Biorreactor	Debe contar con instalaciones adecuadas para monitorear, captar, tratar y aprovechar el biogás y los lixiviados generados
Sitio de Disposición Controlada	Cuenta con algunas obras de infraestructura y aplica métodos de operación comparables a un relleno sanitario. Estos sitios en general no cumplen por completo con la NOM-083-SEMARNAT-2003 y no cuentan con la impermeabilización necesaria. Pueden ser sitios aptos para ser rehabilitados y transformados a RESA.
Tiradero a cielo abierto	Durante décadas, esta actividad no fue vista como un problema serio para los encargados del Servicio de Limpia, ya que bastaba con llevar los RSU fuera de los núcleos urbanos para evitar el impacto visual y las molestias que pudieran causar a la población. Además, la cantidad en que eran producidos y las características de composición permitían su reintegración a la naturaleza sin daños aparentes. Ante esto y con la persistencia de las prácticas tradicionales en la disposición final de los RSU, aparecen grandes tiraderos a cielo abierto, los cuales son un foco de contaminación ambiental (en agua, aire y suelo) aunado al riesgo para la salud pública de la población circundante. Estos sitios no cumplen la NOM-083-SEMARNAT-2003.

Fuente: Günther & Hernández, 2006; Griffith & Trois, 2006; Kelly *et al.*, 2006; Nedwell & Reynolds, 1996; Rodríguez *et al.*, 2004;.

Indicadores etapa de Disposición Final

Los indicadores propuestos para la etapa de disposición final tienen el objetivo de mostrar un panorama general de la etapa que incluye desde los costos, personal y aspectos técnicos. La semaforización al igual que en las otras etapas consiste en evaluar en tres rangos (verde, amarillo y rojo) (Tabla E.16). Los valores propuestos fueron tomados de la investigación de Turcott-Cervantes & Lobo (2016), la cual se puede consultar para más detalle.

Tabla E. 16 Indicadores para la etapa de Disposición Final.

ID	INDICADORES	TIPO	UNIDAD DE MEDIDA	EVALUACION			DESCRIPCIÓN BREVE
I-1DF	<i>Rendimiento del trabajo de DF</i>	Cuantitativo	t/hora	≥10	<10 a ≥5	<5	Relación entre la cantidad de residuos ingresados y la cantidad de horas efectivas de trabajo
I-2DF	<i>Residuos eliminados en RESA</i>	Cuantitativo	%	≥90	≥80 a <90	<80	Evalúa la cantidad de residuos que son vertidos en RESA respecto al total generado
I-3DF	<i>Vida útil disponible del SDF</i>	Cuantitativo	Años	≥8	≥5 a <8	<5	Muestra los años disponibles del SDF para continuar vertiendo RSU
I-4DF	<i>Personal formal en RESA por cada 1000 toneladas</i>	Cuantitativo	Trabajadores/1000 t	≥0.05	≥0.02 a <0.05	<0.02	Evalúa la proporción de trabajadores implicados directamente en la operación del RESA por cada 1000 toneladas procesadas en las instalaciones
I-5DF	<i>Salario promedio en SDF comparado con el salario mínimo</i>	Cuantitativo	%	≥200	≥100 a <200	<100	Compara el porcentaje del salario mínimo que corresponde al salario promedio en RESA
I-6DF	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>	Cuantitativo	Si /P/ No	Si	P	No	Evalúa si todos los empleados tienen prestación de servicio médico
I-7DF	<i>Proporción de personal informal en SDF</i>	Cuantitativo	%	≤10	>10 a ≤35	>35	Evalúa el porcentaje de personal informal existente en el SDF, respecto al total de personal ocupado en esa actividad
I-8DF	<i>Intensidad del uso de suelo en disposición final</i>	Cuantitativo	m²/t	≤5	>5 a ≤10	>10	Relaciona la superficie total utilizada en las instalaciones de disposición final, respecto a la cantidad de residuos vertidos
I-9DF	<i>Tipo de sitio de disposición final</i>	Cualitativo	Tipo de SDF	RESA	SC	TCA	Muestra el tipo de disposición final que se da a los residuos
I-10DF	<i>Costo en DF</i>	Cuantitativo	MXP\$/t	≤400 - ≥160	<100 a ≥160 >400 a ≤500	<100 >500	Muestra el costo total de operación y mantenimiento de la recolección y transporte respecto a las toneladas recolectadas

Documentos auxiliares Disposición Final

Existen publicaciones oficiales y no oficiales y casos de estudio que pueden brindar un panorama para implementar acciones que ayuden a mejorar el desempeño en la disposición de los RSU (Tabla E.17). Para mayor detalle se recomienda consultar a Turcott-Cervantes & Lobo (2016).

Tabla E. 17 Documentos Auxiliares "Módulo Disposición final".

ID	INDICADORES	DOCUMENTOS AUXILIARES	REFERENCIA
		Plan de regularización tipo para la rehabilitación de sitios de disposición final categoría D	Hernández Barrios <i>et al.</i> , 2006
I-1DF	<i>Rendimiento del trabajo de DF</i>	Manual para la rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto en el Estado de México	Bierto <i>et al.</i> , 2002
	<i>Residuos eliminados en RESA</i>		Afferden <i>et al.</i> , 2002
1-2DF	<i>Vida útil disponible del SDF</i>	Alternativas de disposición final - guía de toma de decisión	Hüttner, 2003
1-3DF	<i>Personal formal en SDF por cada 1000 toneladas</i>	Proyecto sectorial tratamiento mecánico-biológico de residuos sólidos informe final	Hernández Barrios <i>et al.</i> , 2003
1-4DF	<i>Salario promedio en SDF comparado con el salario mínimo</i>	Guía para el desarrollo, presentación y evaluación de proyectos ejecutivos para rellenos sanitarios	Hernández Barrios <i>et al.</i> , 2004
1-5DF	<i>Empleados con prestación de servicio médico</i>	Guía de cumplimiento de la norma Nom-083-semarnat-2003	Hernández
I-6DF	<i>Proporción de personal informal en SDF</i>	Guía para la realización de planes de regularización conforme a la Nom-083-semarnat-2003	Barrios <i>et al.</i> , 2005
1-7DF	<i>Intensidad del uso de suelo en disposición final</i>		Wehenpohl & Hernández
I-8DF	<i>Tipo de sitio de disposición final</i>	Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios	Barrios, 2000
I-9DF	<i>Costo en SDF</i>	Manual de compostaje municipal - tratamiento de residuos urbanos	Rodíguez Salinas & Córdova, 2006
I-10DF			

Módulo 7. Información base para el cálculo de los Indicadores

En las tablas E.18 a E.23 se presenta la información base para calcular cada uno de los indicadores antes mencionados (Turcott-Cervantes, 2018a). Cada una de las tablas contiene el ID del indicador, la información base que es la información requerida para el cálculo del indicador; en la última columna se encuentra la fórmula que se utiliza para obtener el valor de cada indicador, para el caso de los indicadores cualitativos se incluyen las posibles respuestas.

Tabla E. 18 Información base para el cálculo de Indicadores Transversales.

ID	INFORMACION BASE	FORMULA/POSIBLES RESPUESTAS
I-1T	Ley y reglamento en materia de RSU Federal, Estatal, Municipal vigente	SI / NO
I-2T	Cumple con la ley y el reglamento Federal, Estatal, Municipal vigente	No se sabe / No se cumple / Cumplimiento parcial / Cumplimiento elevado
I-3T	Programa o plan estatal o municipal en materia de RSU vigente	Si / Si, pero publicado por un nivel superior / No
I-4T	Cuenta con estudios en materia de RSU menores a 10 años: *Diagnósticos básicos o integrales de todo el sistema de manejo de residuos (desde la generación, recolección, valorización, eliminación, etc.) *Cantidad de residuos generados y manejados *Caracterización de residuos en laboratorio (análisis físicos, químicos, poder calorífico superior, etc.)	SI / NO / NO SE SABE
I-5T	Profesión responsable de y Responsable de Ecología. Experiencia en MIRSU	Si / Parcialmente / No
I-6T	Personal formal en cada etapa (Total) PIT Personal informal en cada etapa (Total) PFT	$Porcentaje (\%) = (PIT * 100) / (PIT + PFT)$

Tabla E. 19 Información base para el cálculo de Indicadores Económicos.

ID GUIA	INFORMACION BASE	FORMULA
I-1E	Presupuesto específico para RSU Contabilidad separada	SI / NO / NO SE SABE (SI debe cumplir ambos)
I-2E	Monto del presupuesto asignado a RSU Ingreso presupuesto anual al municipio	$Presupuesto (\%) = \frac{\text{Presupuesto total para la gestión de residuos} * 100}{\text{Presupuesto total}}$
I-3E	Gastos totales para la gestión de residuos al año (\$/año) (GTGRSU) Toneladas entradas al sistema (residuos recolectados + residuos resultantes de limpieza viaria + otras fuentes de ingreso). (t/año) (TTS)	$Costo Total por tonelada = \frac{GTGRSU}{TTS}$
I-4E	Existe una tasa específica para el servicio de aseo	SI / Parcialmente / NO

Tabla E. 20 Información base para el cálculo de Indicadores de Barrido.

ID GUIA	INFORMACION BASE	FORMULA
I-2B	Empleados operativos totales en LV Población total área evaluada	$Personal Formal 10000 hab = \frac{\text{Empleados operativos totales en LV}}{\text{población total área evaluada}} * 10000$
I-3B	Promedio longitud total de km barridos por día Cantidad de empleados efectivos (km) Promedio longitud total de m ² barridos por día Cantidad de empleados efectivos (m ²)	$Rendimiento en LV (km) = \frac{\text{Promedio longitud total de km barridos por día}}{\text{Cantidad de empleados efectivos}}$ $Rendimiento en LV(m^2) = \frac{\text{Promedio longitud total de m}^2 \text{ barridos por día}}{\text{Cantidad de empleados efectivos}}$
I-4B	Salario promedio diario país Salario mínimo diario LV	$Salario promedio (\%) = \frac{\text{Salario promedio diario} * 100}{\text{Salario mínimo diario país}}$
I-5B	Cuenta con servicio médico	SI / Parcialmente / NO
I-7B	Numero personal total informal en LV Numero personal total formal en LV	$Proporción Personal Informal LV = \frac{(\text{Numero personal total informal en LV} * 100)}{\text{Numero personal total informal LV} + \text{Numero personal total formal LV}}$
I-8DF	Gastos totales LV (km) (\$/año) Gastos totales LV (m ²) (\$/año) m ² atendidos (m ² /año) km atendidos (km/año)	$Costo en LV (\$/km) = \frac{\text{Gastos totales LV}}{\text{km atendidos}}$ $Costo en LV (\$/m^2) = \frac{\text{Gastos totales LV}}{\text{m}^2 \text{ atendidos}}$

LV: Limpieza viaria

Tabla E. 21 Información base para el cálculo de Indicadores de Recolección.

ID GUIA	INFORMACION BASE	FORMULA
I-2R	Residuos totales recolectados (t)	<i>Grado de aprovechamiento en recolección y transporte</i> = [Residuos totales recolectados (t)] / [capacidad volumétrica de vehículos(m ³) * densidad aproximada de residuos en vehículos (t/m ³) * # total de vehículos * Número de viajes por vehículo * Frecuencia de recolección semanal * 52 semanas] * 100.
	Capacidad volumétrica de vehículos(m ³)	
	Densidad aproximada de residuos en vehículos (t/m ³)	
	# total de vehículos	
	Número de viajes por vehículo	
I-3R	Frecuencia de recolección semanal	<i>Intensidad de desplazamiento</i> = Distancia total recorrida por los vehículos (km) / cantidad total de residuos recolectados (t).
	Distancia total recorrida por los vehículos (km)	
	Cantidad total de residuos recolectados (t).	
I-4R	Residuos recolectados Generación total de residuos municipales	<i>Residuos recolectados</i> = [residuos recolectados / generación total de residuos municipales] * 100.
I-5R	Empleados totales de recolección y transporte	<i>Personal formal por cada 1000 t</i> = (Empleados totales de recolección y transporte / t recolectadas) * 1000.
	Toneladas recolectadas	
	Cantidad de residuos recolectados (t/año)	
I-6R	Número de horas anuales efectivas de trabajo (Σ de todas las horas trabajadas por todos los empleados al año).	<i>Rendimiento en recolección (Toneladas/hora)</i> = Cantidad de residuos recolectados (t/año) / Número de horas anuales efectivas de trabajo (Σ de todas las horas trabajadas por todos los empleados al año).
I-7R	Salario promedio diario país Salario mínimo diario Recolección	<i>Salario promedio (%)</i> = (Salario promedio diario Recolección * 100) / Salario mínimo diario país
I-8R	Cuenta con servicio médico	SI / Parcialmente / NO
I-9R	Numero personal total informal recolección Numero personal total formal recolección	<i>Proporción personal informal en recolección (%)</i> = (Numero personal total informal recolección * 100) / Numero personal total informal recolección + Numero personal total formal recolección
I-10R	Gastos totales Recolección (\$) Total de toneladas recolectadas (t)	<i>Costo de recolección y transporte</i> = Gastos totales del servicio de recolección y transporte / total de toneladas recolectadas.

Tabla E. 22 Información base para el cálculo de Indicadores de Disposición Final.

ID	INFORMACION BASE	FORMULA
I-1DF	Cantidad de residuos ingresados (t/año) Número de horas anuales efectivas de trabajo (Σ de todas las horas trabajadas por todos los empleados al año).	<i>Rendimiento trabajo de DF (t/hora)</i> = Cantidad de residuos ingresados (t/año) / Número de horas anuales efectivas de trabajo (Σ de todas las horas trabajadas por todos los empleados al año).
I-2DF	Residuos eliminados en relleno sanitario (toneladas/año) Residuos municipales generados (t/año).	<i>Residuos eliminados en relleno sanitario (%)</i> = Residuos eliminados en relleno sanitario (toneladas/año) x100/residuos municipales generados (toneladas/año).
I-3DF	Capacidad actual disponible de vertido (m ³) Densidad de los residuos en relleno sanitario (t/m ³) Residuos ingresados a relleno sanitario (ton/año).	<i>Vida útil (años)</i> = Capacidad actual disponible de vertido (m ³) x Densidad de los residuos en relleno sanitario (t/m ³) / Residuos ingresados a relleno sanitario (ton/año).
I-4DF	Empleados totales de relleno sanitario Toneladas ingresadas en relleno sanitario	<i>Personal formal por cada 1000 toneladas</i> = (Empleados totales de relleno sanitario/toneladas ingresadas en relleno sanitario) *1000.
I-5DF	Salario promedio diario país Salario mínimo diario RESA	<i>Salario promedio (%)</i> = (Salario promedio diario RESA * 100) / Salario mínimo diario país
I-6DF	Cuenta con servicio medico	SI / Parcialmente / NO
I-7DF	Numero personal total informal en DF Numero personal total formal en DF	<i>Proporción personal informal (%)</i> = (Numero personal total informal en DF * 100) / Numero personal total informal DF + Numero personal total formal DF
I-8DF	Superficie aproximada utilizada por las instalaciones de relleno sanitario(m ²) Cantidad total de residuos ingresados en las instalaciones (t).	<i>Intensidad del uso de suelo (m²/t)</i> = Superficie aproximada utilizada por las instalaciones de relleno sanitario(m ²) /Cantidad total de residuos ingresados en las instalaciones (toneladas).
I-9DF	Tipo de SDF	RESA, SC, TCA
1-10DF	Gastos totales SDF (\$) Total de toneladas dispuestas (ton)	<i>Costo en SDF (\$/t)</i> = Gastos totales en SDF /total de toneladas dispuestas

Tabla E. 23 Información base para el cálculo de Indicadores de Tratamiento.

ID GUIA	INFORMACION BASE	FORMULA
I-1TR	Residuos tratados y/o valorizados en planta de tratamiento (toneladas/año) Residuos municipales generados (toneladas/año).	<i>Residuos tratados y/ valorizados (%) = (Cantidad de material recuperado efectivamente en las instalaciones de valorización (toneladas/año) /residuos municipales generados (toneladas/año)) x100.</i>
I-2TR	Gastos totales planta de tratamiento (\$) Total de toneladas recolectadas o ingresadas a una instalación	<i>Costo en planta de tratamiento (\$/t) = Gastos totales en planta /total de toneladas tratadas</i>
I-3TR	Residuos recibidos en la instalación (t/mes) Capacidad de diseño de las instalaciones (t/hora) Tiempo total de funcionamiento de las instalaciones (horas/mes)	<i>Grado de aprovechamiento en instalaciones = [Residuos entrados a la instalación (t/mes)]/capacidad de diseño de las instalaciones (t/hora) *tiempo total de funcionamiento de las instalaciones (horas/mes) *100.</i>

Módulo 8. Tablero de resultados

En la Figura E.3 se muestra el Tablero de Resultados con los indicadores propuestos, el cual contiene los indicadores por etapa y dentro de cada etapa se agrupan en aspectos sociales, económicos y técnicos, lo que facilita su identificación y permite de forma rápida visualizar mediante los colores de semáforo el desempeño de cada aspecto.

TABLERO DE RESULTADOS DEL MIRSU											
Entidad EdoMex	Municipio Xalatlaco	Población 2015 20,572	RSU Recolectados (Ton/año) 2014 SEMARNAT 9,360		RSU Recolectados (Ton/año) 2016 ITT 10,298		RSU Generados CE (Ton/año) 9,714		Fecha Información: 10/08/2018		
LEGISLACIÓN			PERSONAL			ECONÓMICO		TÉCNICO			
Existencia de Legislación Estatal		NO	Perfil del personal en puestos clave (Encargado RSU y Medio)		NO						
Cumplimiento de la Legislación Estatal		Parcialmente									
Planeamiento para la gestión de residuos (programa y reglamento municipal)		NO	Proporción total de personal informal (%)		27.78						
Diagnóstico municipal de la gestión de residuos		SI									
ECONÓMICOS						Costo total por tonelada (MXN/t) BRD		755.71			
Presupuesto para la gestión de residuos		SI									
Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal (%)		6.67									
Existencia de tarifa específica		NO									
BARRIDO			Personal formal por cada 10000 hab (trab/10000 hab)			3.16		Costo barrido (MXN/km)		\$ 208.33	
Cobertura de barrido (% km)		NC	Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)			205.5		Rendimiento del trabajo de barrido (km/día/empleado)		1.00	
Cobertura de barrido (% m²)		NC	Cuenta con servicio medico			SI		Rendimiento del trabajo de barrido (m²/día/empleado)		153.85	
			Proporción de personal informal			0.00					
RECOLECCIÓN			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)			1.34		Costo de recolección y transporte (MXN/t)		\$ 528.58	
Población atendida por el servicio de recolección (%)		99.19	Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)			205.4		Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/hora)		0.34	
			Cuenta con servicio medico			SI		Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (%)		75.43	
			Proporción de personal informal (%)			0.00		Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte (km/t)		1.6	
DISPOSICIÓN FINAL			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)			0.24		Costo en SDF (MXN/t) Vigilante		\$ 125.78	
Tipo de SDF		SC	Salario promedio en SDF comparado con el salario			205.5		Vida útil del SDF (Años)		12.0	
Clasificación		C	Prestación servicio medico			SI		Residuos eliminados en RESA (%)		0.0	
Propiedad del SDF		Municipio	Proporción de personal informal en SDF (%)			88.24		Rendimiento del trabajo en SDF (t/hora)		0.6	
Ubicación SDF		Dentro						Intensidad del uso de suelo en SDF (m²/t)		0.1	
Años que se ha depositado en ese SDF		20.00									
VALORIZACION						Costo de los diferentes componentes (mxp/t)		\$ 11.21		Grado de aprovechamiento de las instalaciones (%)	NC
Residuos valorizados y/o tratados (%)		70.00									

Figura E. 2 Tablero de resultados.

Módulo 9. Seguimiento y registro de mejora

Con la aplicación de los indicadores propuestos y el resumen de los resultados en el Tablero de Resultados se pueden identificar las áreas de oportunidad prioritarias. Las áreas prioritarias se identifican con base a los valores objetivo, teniendo prioridad los indicadores en rojo.

Se puede identificar áreas de oportunidad por:

- a) Etapa (Legislación, Barrido, Recolección y o DF)
- b) Categoría (Económico, personal, técnico)

Una vez identificadas la etapa o categoría a mejorar, se sugiere seguir los siguientes pasos:

- a) Primero es necesario analizar si el indicador es rojo o amarillo por falta de información, si es así, comenzar a registrar los datos faltantes y volver a evaluar.
- b) Si se cuentan con todos los datos, identificar cual parámetro está ocasionando que el indicador sea rojo o amarillo y establecer estrategias para mejorarlo.
- c) Consular la bibliografía recomendada para identificar estrategias de mejora.
- d) Aplicar acciones concretas que afecten los parámetros y mantener registro.
- e) Monitorear los resultados, considerando que hay acciones a corto, mediano y largo plazo con base a la situación específica del municipio.

El seguimiento en el Tablero de Resultados; puede ser bimestral, semestral y anual, con el fin de identificar si las acciones implementadas ayudaron a acercarse a los valores objetivo.

ANEXO F

Tablero de Resultados Municipio Xalatlaco agosto 2016.

TABLERO DE RESULTADOS DEL MIRSU								
Entidad EdoMex	Municipio Xalatlaco	Población 2015 29,572	RSU Recolectados (Ton/año) 2014 SEMARNAT 9,360	RSU Recolectados (Ton/año) 2016 ITT 10,296	RSU Generados CE (Ton/año) 9,714	Fecha Información: 10/08/2016		
LEGISLACIÓN		PERSONAL		ECONÓMICO		TÉCNICO		
Existencia de Legislación Estatal	NO	Perfil del personal en puestos clave (Encargado RSU y Medio)	NO					
Cumplimiento de la Legislación Estatal	Parcialmente							
Planeamiento para la gestión de residuos (programa y reglamento municipal)	NO	Proporción total de personal informal (%)	27.78					
Diagnóstico municipal de la gestión de residuos	SI							
ECONÓMICOS				Costo total por tonelada (MXN/t) BRD		755.71		
Presupuesto para la gestión de residuos	SI							
Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal (%)	6.67							
Existencia de tarifa específica	NO							
BARRIDO		Personal formal por cada 10000 hab (trab/10000 hab)		3.16	Costo barrido (MXN/km)	\$ 208.33	Rendimiento del trabajo de barrido (km/día/empleador)	1.00
Cobertura de barrido (% km)	NC	Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)		205.5			Rendimiento del trabajo de barrido (m²/día/empleador)	153.85
Cobertura de barrido (% m²)	NC	Cuenta con servicio medico		SI				
		Proporción de personal informal		0.00				
RECOLECCIÓN		Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		1.34	Costo de recolección y transporte (MXN/t)	\$ 528.58	Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/hora)	0.34
Población atendida por el servicio de recolección (%)	99.19	Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)		205.4			Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (%)	75.43
		Cuenta con servicio medico		SI			Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte (km/t)	1.6
		Proporción de personal informal (%)		0.00				
DISPOSICIÓN FINAL		Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		0.24	Costo en SDF (MXN/t) Vigilante	\$ 125.78	Vida útil del SDF (Años)	12.0
Tipo de SDF	SC	Salario promedio en SDF comparado con el salario		205.5			Residuos eliminados en RESA (%)	0.0
Clasificación	C	Prestación servicio medico		SI			Rendimiento del trabajo en SDF (t/hora)	0.6
Propiedad del SDF	Municipio	Proporción de personal informal en SDF (%)		88.24			Intensidad del uso de suelo en SDF (m²/t)	0.1
Ubicación SDF	Dentro							
Años que se ha depositado en ese SDF	20.00							
VALORIZACION					Costo de los diferentes componentes (mxp/t)	\$ 11.21	Grado de aprovechamiento de las instalaciones (%)	NC
Residuos valorizados y/o tratados (%)	70.00							

Tablero de Resultados Municipio Xalatlaco abril 2019.

TABLERO DE RESULTADOS DEL MIRSU

Entidad EdoMex	Municipio Xalatlaco	Población 2015 NC	RSU Recolectados (Ton/año) 2014 SEMARNAT	9,360	RSU Recolectados (Ton/año) 2019 ITT	8640	RSU Generados CE (Ton/año)	9714.40	Fecha Información: 12/04/2019			
LEGISLACION			PERSONAL		ECONÓMICO		TECNICO					
Existencia de Legislación Estatal			NO		Perfil del personal en puestos clave (Encargado RSU y Medio)		Parcialmente					
Cumplimiento de la Legislación Estatal			NO		Proporción total de personal informal (%)		27.78					
Planeamiento para la gestión de residuos (programa y reglamento municipal)			Parcialmente									
Diagnóstico municipal de la gestión de residuos			Parcialmente									
ECONÓMICOS					Costo total por tonelada (MXN/t)		316.63					
Presupuesto para la gestión de residuos			SI									
Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal (%)			1.97									
Existencia de tarifa específica			NO									
BARRIDO			Personal formal por cada 10000 hab (trab/10000 hab)		5.41		Costo barrido (MXN/km)		\$ 91.15			
Cobertura de barrido (% km)			NC				Rendimiento del trabajo de barrido (km/día/empleador)		2.29			
Cobertura de barrido (% m²)			NC		Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)		223.2		Rendimiento del trabajo de barrido (m²/día/empleador)	1625.00		
			Cuenta con servicio medico		SI							
			Proporción de personal informal		0.00							
RECOLECCIÓN			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		0.93		Costo de recolección y transporte (MXN/t)		\$ 93.06			
Población atendida por el servicio de recolección (%)			103.72		Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)		290.2		Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/hora)	0.43		
			Cuenta con servicio medico		NC		Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (%)		62.94			
			Proporción de personal informal (%)		0.00		Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte (km/t)		1.5			
DISPOSICIÓN FINAL			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		0.23		Costo en SDF (MXN/t)		\$ 16.67	Vida útil del SDF (Años)	0.0	
Tipo de SDF			SC		Salario promedio en SDF comparado con el salario		250.0		Residuos eliminados en RESA (%)		0.0	
Clasificación			C		Prestacion servicio medico		SI		Rendimiento del trabajo en SDF(t/hora)		2.1	
Propiedad del SDF			Municipio		Proporción de personal informal en SDF (%)		83.33		Intensidad del uso de suelo en SDF (m²/t)		0.066	
Ubicación SDF			Dentro									
Años que se ha depositado en ese SDF			35.00									
VALORIZACION			Residuos valorizados y/o tratados (%)		0.00		Costo de los diferentes componentes (mxp/t)		NA		Grado de aprovechamiento de las instalaciones (%)	NA

Tablero de Resultados Municipio Xalatlaco septiembre 2019.

TABLERO DE RESULTADOS DEL MIRSU

Entidad EdoMex	Municipio Xalatlaco	Población 2015 32824	RSU Recolectados (Ton/año) 2014 SEMARNAT 9,360	RSU Recolectados (Ton/año) 2016 ITT 10,296	RSU Generados CE (Ton/año) 10782.68	Fecha Información: 12/09/2019						
LEGISLACION			PERSONAL		ECONÓMICO		TECNICO					
Existencia de Legislación Estatal			NO		Costo total por tonelada (MXN/t)		330.95					
Cumplimiento de la Legislación Estatal			NO									
Planeamiento para la gestión de residuos (programa y reglamento municipal)			Parcialmente									
Diagnóstico municipal de la gestión de residuos			Parcialmente									
Perfil del personal en puestos clave (Encargado RSU y Medio)			Parcialmente		28.57							
Proporción total de personal informal (%)												
ECONÓMICOS												
Presupuesto para la gestión de residuos			Parcialmente									
Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal (%)			NC									
Existencia de tarifa específica			NO									
BARRIDO			Personal formal por cada 10000 hab (trab/10000 hab)		4.87		Costo barrido (MXN/km)		\$ 108.33	Rendimiento del trabajo de barrido (km/día/empleado)	2	
Cobertura de barrido (% km)			NC									
Cobertura de barrido (% m²)			NC									
			Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)		232.1						Rendimiento del trabajo de barrido (m²/día/empleado)	1625
			Cuenta con servicio medico		SI							
			Proporción de personal informal		0.00							
RECOLECCIÓN			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		0.79		Costo de recolección y transporte (MXN/t)		\$ 135.62	Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/hora)	0.40	
Población atendida por el servicio de recolección (%)			109.01									
			Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)		267.9						Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (%)	76.92
			Cuenta con servicio medico		SI						Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte (km/t)	2.0
			Proporción de personal informal (%)		0.00							
DISPOSICIÓN FINAL			Personal formal de por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		0.13		Costo en SDF (MXN/t)		\$ 8.02	Vida útil del SDF (Años)	0.0	
Tipo de SDF			TCA								Residuos eliminados en RESA (%)	0.0
Clasificación			C									
Propiedad del SDF			Municipio		Salario promedio en SDF comparado con el salario		216.7				Rendimiento del trabajo en SDF(t/hora)	3.4
Ubicación SDF			Dentro		Prestacion servicio medico		SI				Intensidad del uso de suelo en SDF (m²/t)	0.014
Años que se ha depositado en ese SDF			50.00		Proporción de personal informal en SDF (%)		90.91					
VALORIZACION							Costo de los diferentes componentes (mxp/t)		\$ 27.08	Grado de aprovechamiento de las instalaciones (%)	NC	
Residuos valorizados y/o tratados (%)			21.37									

Tablero de Resultados Municipio Tequixquiac agosto 2016.

TABLERO DE RESULTADOS DEL MIRSU

Entidad EdoMex	Municipio Tequixquiac	Población 2015 36,902	RSU Recolectados 4,056 (Ton/año) 2014 SEMARNAT	RSU Recolectados (Ton/año) 2016 ITT 3,744	RSU Generados CE (Ton/año) 12,122	Fecha Información: 2/08/2016
LEGISLACION			PERSONAL	ECONÓMICO		TECNICO
Existencia de Legislación Estatal			NO			
Cumplimiento de la Legislación Estatal			Parcialmente			
Planeamiento para la gestión de residuos (programa y reglamento municipal)			NO			
Diagnóstico municipal de la gestión de residuos			Si			
Perfil del personal en puestos clave (Encargado RSU y Medio)			26.32			
Proporción total de personal informal (%)						
ECONÓMICOS						
Presupuesto para la gestión de residuos			No		Costo total por tonelada (MXN/t) BRD 721.49	
Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal (%)			NC			
Existencia de tarifa específica			NO			
BARRIDO						
Cobertura de barrido (% km)			NC		Personal formal por cada 10000 hab (trab/10000 hab) 0.53	
Cobertura de barrido (% m²)			NC		Salario promedio comparado con el salario mínimo (%) 287.7	
			Cuenta con servicio medico SI		Costo barrido (MXN/km) \$ 129.04	
			Proporción de personal informal 0.00		Rendimiento del trabajo de barrido (km/día/empleador) 2.99	
					Rendimiento del trabajo de barrido (m²/día/empleador) 2340.00	
RECOLECCIÓN						
Población atendida por el servicio de recolección (%) 36.13			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t) 3.21		Costo de recolección y transporte (MXN/t) \$ 424.49	
			Salario promedio comparado con el salario mínimo (%) 267.0		Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/hora) 0.14	
			Cuenta con servicio medico SI		Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (%) 72.73	
			Proporción de personal informal (%) 0.00		Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte (km/t) 2.7	
DISPOSICIÓN FINAL						
Tipo de SDF SC			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t) 0.00		Costo en SDF (MXN/t) \$ 249.36	
Clasificación C			Salario promedio en SDF comparado con el salario NA		Vida útil del SDF (Años) 20.0	
Propiedad del SDF Municipio			Prestacion servicio medico NA		Residuos eliminados en RESA (%) 0.0	
Ubicación SDF Dentro			Proporción de personal informal en SDF (%) 100.00		Rendimiento del trabajo en SDF(t/hora) NC	
Años que se ha depositado en ese SDF 19.00					Intensidad del uso de suelo en SDF (m²/t) 0.4	
VALORIZACION						
Residuos valorizados y/o tratados (%) 0.00					Costo de los diferentes componentes (mxp/t) NA	
					Grado de aprovechamiento de las instalaciones (%) NA	

Tablero de Resultados Municipio Tequixquiac octubre 2019.

TABLERO DE RESULTADOS DEL MIRSU

Entidad EdoMex	Municipio Tequixquiac	Población 2019 39726	RSU Recolectados 4056 (Ton/año) 2014 SEMARNAT	RSU Recolectados (Ton/año) 2019 ITT 3456	RSU Generados CE (Ton/año) 13049.99	Fecha Información: 14/10/2019		
LEGISLACION			PERSONAL		ECONÓMICO		TECNICO	
Existencia de Legislación Estatal			NO		Perfil del personal en puestos clave (Encargado RSU y Medio)		No	
Cumplimiento de la Legislación Estatal			NO		Proporción total de personal informal (%)		13.33	
Planeamiento para la gestión de residuos (programa y reglamento municipal)			Parcialmente					
Diagnóstico municipal de la gestión de residuos			Parcialmente					
ECONÓMICOS					Costo total por tonelada (MXN/t)		529.23	
Presupuesto para la gestión de residuos			Parcialmente					
Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal (%)			0.09%					
Existencia de tarifa específica			NO					
BARRIDO			Personal formal por cada 10000 hab (trab/10000 hab)		Costo barrido (MXN/km)		Rendimiento del trabajo de barrido (km/día/empleador)	
Cobertura de barrido (% km)			#¡DIV/0!		#¡DIV/0!		#¡DIV/0!	
Cobertura de barrido (% m²)			#¡DIV/0!				Rendimiento del trabajo de barrido (m²/día/empleador)	
			Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)		#¡DIV/0!		#¡DIV/0!	
			Cuenta con servicio medico		NO			
			Proporción de personal informal		#¡DIV/0!			
RECOLECCIÓN			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		Costo de recolección y transporte (MXN/t)		Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/hora)	
Población atendida por el servicio de recolección municipal (%)			12.33		\$ 838.26		0.05	
Población atendida por el servicio de recolección concesionado (%)			18.44				Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (%)	
			Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)				22.12	
			Cuenta con servicio medico		SI		Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte (km/t)	
			Proporción de personal informal (%)		0.00		5.7	
DISPOSICIÓN FINAL			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		Costo en SDF (MXN/t)		Vida útil del SDF (Años)	
Tipo de SDF			SC		\$ 58.33		15.0	
Clasificación			C				Residuos eliminados en RESA (%)	
Propiedad del SDF			Municipio				0.0	
Ubicación SDF			Dentro				Rendimiento del trabajo en SDF(t/hora)	
Años que se ha depositado en ese SDF			22.00				1.5	
			Prestacion servicio medico		SI		Intensidad del uso de suelo en SDF (m²/t)	
			Proporción de personal informal en SDF (%)		66.67		0.047	
VALORIZACION					Costo de los diferentes componentes (mxp/t)		Grado de aprovechamiento de las instalaciones (%)	
Residuos valorizados y/o tratados (%)			3.98		NA		NA	

Tablero de Resultados Municipio Villa del Carbón agosto 2016.

TABLERO DE RESULTADOS DEL MIRSU											
Entidad EdoMex	Municipio Villa del Carbón	Población 2015 47,151	RSU Recolectados 7,800 (Ton/año) 2014 SEMARNAT	RSU Recolectados (Ton/año) 2016 ITT 18,720	RSU Generados CE (Ton/año) 15,489	Fecha Información: 3/08/2016					
LEGISLACION		PERSONAL		ECONÓMICO		TECNICO					
Existencia de Legislación Estatal	NO	Perfil del personal en puestos clave (Encargado RSU y Medio)	Parcialmente								
Cumplimiento de la Legislación Estatal	Parcialmente										
Planeamiento para la gestión de residuos (programa y reglamento municipal)	NO	Proporción total de personal informal (%)	NC								
Diagnóstico municipal de la gestión de residuos	Parcialmente										
ECONÓMICOS					Costo total por tonelada (MXN/t)		685.15				
Presupuesto para la gestión de residuos	SI										
Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal (%)	3.11										
Existencia de tarifa específica	NO										
BARRIDO					Costo barrido (MXN/km)		\$ 203.13				
Cobertura de barrido (% km)	NC	Personal formal por cada 10000 hab (trab/10000 hab)	1.64		Rendimiento del trabajo de barrido (km/día/empleador)	1.01					
Cobertura de barrido (% m²)	NC	Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)	123.3		Rendimiento del trabajo de barrido (m²/día/empleador)	2307.69					
		Cuenta con servicio medico	SI								
		Proporción de personal informal	0.00								
RECOLECCIÓN			Costo de recolección y transporte (MXN/t)		\$ 485.62	Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/hora)					
Población atendida por el servicio de recolección (%)	59.78	Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)	3.41				0.13				
		Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)	221.8			Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (%)	59.69				
		Cuenta con servicio medico	SI			Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte (km/t)	10.2				
		Proporción de personal informal (%)	NC			Vida útil del SDF (Años)	1.0				
DISPOSICIÓN FINAL			Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)	0.00	Costo en SDF (MXN/t)	\$ 158.34	Residuos eliminados en RESA (%)				
Tipo de SDF	TCA	Salario promedio en SDF comparado con el salario	NA				0.0				
Clasificación	B	Prestacion servicio medico	NA			Rendimiento del trabajo en SDF(t/hora)	NC				
Propiedad del SDF	Municipio	Proporción de personal informal en SDF (%)	100			Intensidad del uso de suelo en SDF (m²/t)	0.1				
Ubicación SDF	Dentro										
Años que se ha depositado en ese SDF	30.00										
VALORIZACION			Costo de los diferentes componentes (mxp/t)		NA	Grado de aprovechamiento de las instalaciones (%)					
Residuos valorizados y/o tratados (%)	0.00					NA					

Tablero de Resultados Municipio Villa del Carbón octubre 2019.

TABLERO DE RESULTADOS DEL MIRSU

Entidad	Municipio	Población 2019	RSU Recolectados (Ton/año) 2014 SEMARNAT	RSU Recolectados (Ton/año) 2019 ITT	RSU Generados CE (Ton/año)	Fecha Información:
EdoMex	Villa del Carbón	51991	7,800	11232	17079.04	14/10/2019
LEGISLACION		PERSONAL		ECONÓMICO		TECNICO
Existencia de Legislación Estatal	NO	Perfil del personal en puestos clave (Encargado RSU y Medio)				
Cumplimiento de la Legislación Estatal	Parcialmente	Parcialmente				
Planeamiento para la gestión de residuos (programa y reglamento municipal)	Parcialmente	Proporción total de personal informal (%)				
Diagnóstico municipal de la gestión de residuos	NO					
ECONÓMICOS				Costo total por tonelada (MXN/t)		
Presupuesto para la gestión de residuos	NO			355.25		
Porcentaje del presupuesto de aseo respecto al presupuesto municipal (%)	NC					
Existencia de tarifa específica	NO					
BARRIDO		Personal formal por cada 10000 hab (trab/10000 hab)		Costo barrido (MXN/km)		Rendimiento del trabajo de barrido (km/día/empleador)
Cobertura de barrido (% km)	NC	2.12		\$ -		0.00
Cobertura de barrido (% m²)	NC	Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)				Rendimiento del trabajo de barrido (m²/día/empleador)
		193.2				1125.00
		Cuenta con servicio medico				
		FALSO				
		Proporción de personal informal				
		0.00				
RECOLECCIÓN		Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		Costo de recolección y transporte (MXN/t)		Rendimiento del trabajo de recolección y transporte (t/hora)
Población atendida por el servicio de recolección (%)	76.69	2.40		\$ 160.10		0.17
		Salario promedio comparado con el salario mínimo (%)				Grado de aprovechamiento en recolección y transporte (%)
		262.2				NC
		Cuenta con servicio medico				Intensidad de desplazamiento en recolección y transporte (km/t)
		FALSO				0.0
		Proporción de personal informal (%)				
		0.00				
DISPOSICIÓN FINAL		Personal formal por cada 1000 toneladas (Trab/1000t)		Costo en SDF (MXN/t)		Vida útil del SDF (Años)
Tipo de SDF	TCA	0.10		\$ 18.06		NC
Clasificación	C	Salario promedio en SDF comparado con el salario				Residuos eliminados en RESA (%)
Propiedad del SDF	Municipio	348.3				0.0
Ubicación SDF	Dentro	Prestación servicio medico				Rendimiento del trabajo en SDF(t/hora)
Años que se ha depositado en ese SDF	20.00	SI				2.3
		Proporción de personal informal en SDF (%)				Intensidad del uso de suelo en SDF (m²/t)
		0				0.1
VALORIZACION				Costo de los diferentes componentes (mxp/t)		Grado de aprovechamiento de las instalaciones (%)
Residuos valorizados y/o tratados (%)	0.00			NA		NA

ANEXO G

PRODUCTOS GENERADOS DURANTE EL DOCTORADO

<https://authors.elsevier.com/c/1avqf,LIFP9xkz>

Waste Management 107 (2020) 201–210



Contents lists available at ScienceDirect

Waste Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/wasman



Technical indicators to improve municipal solid waste management in developing countries: A case in Mexico



Elvira Olay-Romero^a, Dolores Elizabeth Turcott-Cervantes^b, María del Consuelo Hernández-Berriel^{a,*}, Amaya Lobo-García de Cortázar^b, Miguel Cuartas-Hernández^c, Isaías de la Rosa-Gómez^a

^a Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Avda. Tecnológico S/N, Colonia Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México C.P. 52149, Mexico

^b Department of Water and Environmental Sciences and Technologies, Environmental Engineering Group, School of Civil Engineering, Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros s/n, 39005 Santander, Spain

^c Department of Applied Mathematics and Computer Science, Information Technologies Group, School of Civil Engineering, Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros s/n, 39005 Santander, Spain

ARTICLE INFO

Article history:
Received 21 September 2019
Revised 13 March 2020
Accepted 29 March 2020

Keywords:
Collection level
Disposal types
Efficiency of the MSWM
Information quality
Reference values

ABSTRACT

Nowadays, increasingly complex sets of indicators are used to compare and diagnose municipal solid waste management (MSWM). These sets incorporate new priorities regarding sustainability and focus on measuring the progress to zero waste. Nevertheless, in developing countries, where MSWM is still striving to protect health from the potential impacts of waste, the MSWM information available is scarce and of low quality. This work proposes a basic set of indicators for analyzing technical aspects of street cleaning, waste collection and disposal in such contexts. Based on the assessment of 66 Mexican municipalities, ten indicators were identified that can be calculated with the information available. For each indicator, reference values were established, and their performance was evaluated by means of a traffic light system. In addition, a method that allows the quality of the information to be classified into four levels according to the data source, its uncertainty, the temporal coverage, and its spatial coverage was applied.

The results obtained revealed an incipient implementation of MSWM and highlighted the need to increase the coverage of the collection services and to improve the conditions of the disposal sites in most of the municipalities that were studied. The proposed set of indicators can be used as a starting point to systematize the monitoring and detection of areas of improvement in the MSWM of the municipalities studied, as well as in other systems in similar contexts.

© 2020 Elsevier Ltd. All rights reserved.

<https://authors.elsevier.com/c/1be933QCo9YI9N>

Journal of Cleaner Production 278 (2021) 123320



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro



Assessment of some governance aspects in waste management systems: A case study in Mexican municipalities



Dolores Elizabeth Turcott Cervantes ^{a, *}, Elvira Olay Romero ^b,
María del Consuelo Hernández Berriel ^{b, c}, Ana López Martínez ^a,
María del Consuelo Mañón Salas ^c, Amaya Lobo ^a

^a Department of Water and Environmental Sciences and Technologies, Environmental Engineering Group, School of Civil Engineering, University of Cantabria, Santander Campus, Avda. de Los Castros S/n, 39005, Cantabria, Spain

^b Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico S/n. Col. Agrícola Bellavista, 52149, Metepec, Edo, de México, Mexico

^c Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos, A.C. Priv. Molcajete 44, Fracc. Hacienda de Las Fuentes, 52227, Calimaya, Edo, de México, Mexico

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 January 2020

Received in revised form

8 June 2020

Accepted 14 July 2020

Available online 9 August 2020

Handling Editor: Zhifu Mi

ABSTRACT

Many municipalities, particularly in developing countries, have a lack of information to guide decision-making to improve municipal solid waste management (MSWM). They need tools that systematize the collection and analysis of data, and then assess all aspects of the system, including both technical and non-technical ones. This work presents a field study covering 66 Mexican municipalities. A new set of indicators was selected based on the analysis of the information available, which can serve as a tool for evaluating some aspects of the governance of the MSWM system in similar contexts with an incipient implementation of the system. The set encompasses thirteen basic indicators divided into three categories: legislation and policies, employee development, and economy. For each indicator, reference



CONSTANCIA

El Comité Científico del VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos otorga la presente constancia a **Elvira Olay Romero** por su presentación ORAL del trabajo:

"Análisis de los sitios de disposición final en la zona centro de México"

de los autores: *Elvira Olay Romero, María del Consuelo Hernández Berriel, María del Consuelo Mañón Salas, Isaias de la Rosa Gómez y María del Carmen Carreño de León* en el

*VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos:
hacia una Economía Circular*

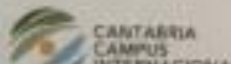
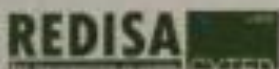
que tuvo lugar en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Cantabria, en Santander (España) los días 13 y 14 de junio de 2017.

Santander, 14 de junio de 2017



Amaya

Ira. Amaya Lobo García de Cortázar
Coordinadora del Comité Organizador





CONSTANCIA

El Comité Científico del VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos hace constar la aceptación del trabajo:

"Análisis comparativo del desempeño de la etapa de recolección entre municipios socioeconómicamente diferentes basado en indicadores"

presentado por los autores: Olay Romero, Elvira; Turcott Cervantes, Dolores Elizabeth; Mañon-Salas, María del Consuelo; Amaya Lobo García de Cortázar; Hernández Berriel, María del Consuelo

para su exposición ORAL en el Área Temática *Gestión de residuos y política ambiental* del *VIII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos: "Hacia una Gestión más Eficiente de los Residuos"* que tendrá lugar en Asunción, Paraguay, entre el 17 al 18 de septiembre de 2019.

Asunción, 23 de abril de 2019


Prof. Ing. Roberto A. Lima Morra
Presidente
Comité Científico del VIII SIIR





ELVIRA OLAY-ROMERO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA
Presente



ITESO Universidad
Jesuita de Guadalajara

60
años



Por medio de la presente tengo el agrado de comunicarle que su trabajo **Relación de la disposición final de RSU con la población en municipios del centro de México** bajo la autoría de **Elvira Olay-Romero, María del Consuelo Hernández-Berriel, Isaias De la Rosa Gómez, María del Consuelo Mañón Salas, Nicolás Flores Álamo**, ha sido aceptado para ser presentado de forma oral y publicarse en las memorias del 9º ENCUENTRO NACIONAL DE EXPERTOS EN RESIDUOS SÓLIDOS.

ATENTAMENTE

Guadalajara, Jalisco a 23 de abril del 2018

Dr. Gerardo Bernache Pérez
Presidente del Comité Científico

<http://www.somers-ac.org/>

"Los residuos como recurso"

13 y 14 de junio 2018

The Journal of Solid Waste Technology and Management



Widener University

Department of Civil Engineering

1 University Place, Chester, PA 19013-5792 U.S.A.

Phone: (610) 499-4018; Fax: (610) 499-4461; E-mail: solid.waste@widener.edu

www.solid-waste.org

**THE THIRTY-THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE
ON SOLID WASTE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT**

Annapolis (Washington, D.C.) U.S.A. March 11-14, 2018

November 7, 2017

Dr. María del Consuelo Hernández-Berriel
Professor
Instituto Tecnológico de Toluca
Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista
Metepec, Estado de México C.P. 52149
México

Dear Dr. Hernández-Berriel:

Thank you for submitting the paper, "MSW Composition in Different Socio-Economic Municipalities of North and South in the State of Mexico, Mexico," by María del Consuelo Hernández-Berriel with Elvira Olay-Romero, Isis Neftaly Martínez-Morales, Diego Santana Rodríguez and María del Consuelo Mañón-Salas to *The Thirty-Third International Conference on Solid Waste Technology and Management*. I am pleased to inform you that this paper has been accepted for oral presentation at the Conference.

ICSW 2018 is designed to be an enjoyable and informative conference for participants. The Information for Speakers web page gives details of the presentations, conference proceedings and fees. It also links to forms that must be completed and submitted by the indicated dates.

You may want to examine the agenda from the 2017 conference at solid-waste.org to become familiar with the general structure of the conference.

If you have any questions or concerns, please contact me as soon as possible.

I look forward to your presentation at the Conference.

Very truly yours,

Ronald L. Mersky, Ph.D., P.E.
Conference Chair