



S.E.P.

S. E. S.

Tec.N.M.

---

---

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA**

**“UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO SUSTENTABLE  
ENTRE MICHOACÁN Y EL ESTADO DE MÉXICO”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**P R E S E N T A:**

**I.Q. NADIA MERCADO ESPIRIDIÓN**

**No. de Control: 1728M0162**

**DIRECTORA DE TESIS**

**DRA. MARÍA DEL CONSUELO HERNÁNDEZ BERRIEL**

**CODIRECTOR DE TESIS**

**DR. OTONIEL BUENROSTRO DELGADO**

**Metepec, Estado de México, enero 2019.**



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

Instituto Tecnológico de Toluca

Metepec, Méx., 07/enero/2018


DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
E INVESTIGACIÓN


DEPI-395-001/2019


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 "UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO SUSTENTABLE ENTRE MICHOACÁN Y EL ESTADO DE MÉXICO", que como parte de los requisitos para obtener el grado académico de Maestra en Ciencias en Ingeniería Ambiental presenta la C. NADIA MERCADO ESPIRIDIÓN, con número de control 1728M0162 para sustentar el acto de Recepción Profesional, ha dictaminado que dicho trabajo reúne las características de contenido y calidad necesario para proceder a la impresión del mismo.


ATENTAMENTE

  
DRA. MARÍA DEL CONSUELO HERNÁNDEZ BERRIEL  
DIRECTORA DE TESIS

  
DR. OTONIEL BUENROSTRO DELGADO  
CO DIRECTOR DE TESIS

  
DR. ISAÍAS DE LA ROSA GÓMEZ  
REVISOR

  
M. en C. GLORIA IRENE CARMONA CHIT  
REVISORA

  
DRA. MARÍA DEL CARMEN CARREÑO DE  
LEÓN  
REVISORA

JLGR/magj



Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, C.P. 52149,  
Metepec, Estado de México. Tels. Dirección (01722) 208 7205, Subd. Académica 208 7207,  
Subd. de Planeación 208 7206, Subd. Administrativa 208 7208, Conmut. 208 72 00  
e-mail: info@toluca.tecnm.mx, www.toluca.tecnm.mx





**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Toluca

Metepec, Edo. de México, 15/enero/2019

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
E INVESTIGACIÓN

DEPI-395-0047/2019.

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

**C. NADIA MERCADO ESPIRIDIÓN**  
CANDIDATA AL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
P R E S E N T E.

De acuerdo con el Reglamento de Titulación del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica 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 "UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO SUSTENTABLE ENTRE MICHOACÁN Y EL ESTADO DE MÉXICO", 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"*



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MÉXICO

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

JLGR/magj



Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, C.P. 52149,  
Metepec, Estado de México. Tels. Dirección (01722) 208 7205, Subd. Académica 208 7207,  
Subd. de Planeación 208 7206, Subd. Administrativa 208 7208, Conmut. 208 72 00  
e-mail: info@toluca.tecnm.mx, www.toluca.tecnm.mx



## **AGRADECIMIENTOS**

Al CONACyT por el apoyo económico asignado para mis estudios de Maestría.

Al Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT 2015 por el financiamiento aportado al proyecto “Ubicación de rellenos sanitarios intermunicipales futuros en el estado de México y estados aledaños”, del que este trabajo forma parte.

Al Tecnológico de Toluca, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y los Ayuntamientos de los distintos municipios por las facilidades brindadas.

A SOMERS y a la Fundación CONAMA por otorgarme la oportunidad de participar en sus respectivos congresos.

A la Dra. María del Consuelo Hernández Berriel, al Dr. Otoniel Buenrostro Delgado, a la Mtra. Gloria Irene Carmona Chit, al Dr. Isaías de la Rosa Gómez, a la Dra. Consuelo Mañón Salas y a la Dra. María del Carmen Carreño de León por su asesoría y valiosas aportaciones en la elaboración de este proyecto.

A los doctores José Luis García Rivas y Mario Alejandro Gómez Jiménez porque el buen trabajo en sus respectivas coordinaciones nos beneficia como alumnos.

A quienes compartieron conmigo el trabajo y sus anexos durante mi estancia en el Instituto Tecnológico de Toluca: Diana, Jesús, Sergio, Isaac, Samantha, Heriberta, Wilfrido, Antonio, Ángel, Isis, Elvira, Diego y Aiza.

## DEDICATORIA

A Dios.

A la madre tierra.

A quienes me dieron la vida y me han guiado con sabiduría y amor, a mis padres:  
Martha Espiridión y Efrén Mercado.

A quienes me acompañan quitando la monotonía del día a día, en especial a  
Humberto, Jesús, Tanya, Emiliano, Adri, Mariana, Clara y Polet.

A quienes admiro por el esfuerzo, dedicación y compromiso con su profesión,  
porque demuestran que todo vale la pena cuando protegen y salvan la vida,  
forman mejores seres humanos y cuidan lo que nos queda del medio ambiente.

**¡Ninguna palabra será suficiente para expresarles mi gratitud!**

**¡CUIDEMOS LA VIDA QUE NOS DA VIDA!**

## RESUMEN

La disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU) ha tenido una notable evolución en muchas partes del mundo, desde la disposición incontrolada en la tierra y la quema indiscriminada, hasta el desarrollo de Rellenos Sanitarios (RESA) sustentables, los cuales integran la recuperación de energía y materiales y son diseñados con el propósito de ser aprovechados, después de que las operaciones de disposición de los RSU hayan cesado. Complementando esta situación, en diversos lugares incluyendo México se han creado relaciones intermunicipales para gestionar los RSU. La administración intermunicipal tiene como principales beneficios la disminución de costos de disposición de RSU y mejora en las condiciones de operación de los sitios de disposición final (SDF), con lo que disminuyen los impactos ambientales negativos.

En este contexto, el objetivo de este trabajo de investigación es proponer la ubicación de un RESA sustentable entre Michoacán y el Estado de México. Para ello, la parte metodológica consta de la selección de los municipios a estudiar, mediante el análisis de conglomerados y la técnica de ponderación, para evaluar su Manejo Integral de RSU (MIRSU) utilizando indicadores de desempeño (ID); la determinación de zonas apropiadas para ubicar RESA con base en la NOM-083-SEMARNAT-2003; la comparación de los SDF con los que cuentan actualmente los municipios para determinar si se encuentran ubicados correctamente y podrían ser utilizados para la construcción de un RESA sustentable, debido a que son áreas ya impactadas por la operación de éstos; y finalmente se propusieron administraciones intermunicipales considerando únicamente la dimensión geográfica y espacial.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	i
LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
1. FUNDAMENTOS .....	3
1.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	3
1.1.1 Situación mundial .....	4
1.1.2 Situación nacional .....	6
1.1.3 Situación regional.....	9
1.2 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	10
1.2.1 Elementos transversales .....	11
1.2.2 Elementos funcionales .....	13
1.3 GESTIÓN INTERMUNICIPAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	15
1.4 SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL Y SUSTENTABILIDAD.....	17
1.4.1 Tipos de sitios de disposición final .....	17
1.4.2 Ubicación de rellenos sanitarios.....	19
1.4.3 Sustentabilidad.....	23
1.4.4 Rellenos sanitarios sustentables .....	24
2. PARTE EXPERIMENTAL .....	27
2.1 SELECCIÓN DE MUNICIPIOS A ESTUDIAR.....	27
2.1.1 Análisis de conglomerados.....	28
2.1.2 Técnica de ponderación .....	30
2.2 ANÁLISIS DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	33
2.3 SELECCIÓN DE ÁREAS PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIOSUSTENTABLE .....	34
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38

3.1 SELECCIÓN DE MUNICIPIOS A ESTUDIAR.....	38
3.1.1 Análisis de conglomerados.....	38
3.1.2 Técnica de ponderación .....	41
3.2 ANÁLISIS DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	
URBANOS .....	43
3.2.1 Recopilación de información documental.....	43
3.2.2 Recopilación de información de campo.....	44
3.2.3 Estimación de indicadores de desempeño .....	49
3.3 SELECCIÓN DE ÁREAS PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO	
SANITARIOSUSTENTABLE .....	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS.....	69
ANEXOS .....	79



## LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

DP	Densidad Poblacional
GIRSU	Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
GRSU	Gestión de Residuos Sólidos Urbanos
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
MIRSU	Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos
PSP	Población en Situación de Pobreza
PTM	Población total por municipio
PTMC	Población total municipios colindantes
RESA	Relleno(s) Sanitario(s)
RESAD	Cantidad de rellenos sanitarios dentro del municipio
RESAF	Cantidad de rellenos sanitarios fuera del municipio
SC	Sitio(s) Controlado(s)
SCD	Cantidad de sitios controlados dentro del municipio
SCF	Cantidad de sitios controlados fuera del municipio
SDFIS	Sitio(s) de Disposición Final Intermunicipal(es) Sustentable(s)
TCA	Tiradero(s) a Cielo Abierto
TCAD	Cantidad de tiraderos a cielo abierto dentro del municipio
TCAF	Cantidad de tiraderos a cielo abierto fuera del municipio
UE	Unidades Económicas

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Variables para la selección de municipios.....	29
Tabla 2.2 Ponderación asignada a las variables .....	31
Tabla 2.3 Valor asignado a las variables de decisión para evaluar el grado de satisfacción de los municipios .....	31
Tabla 3.1 Variables Poblacionales y Económicas seleccionadas .....	38
Tabla 3.2 Variables de RSU seleccionadas .....	39
Tabla 3.3 Variables con valores extremos .....	40
Tabla 3.4 Grado de satisfacción de cada municipio en función de las variables de selección .....	41
Tabla 3.5 Ponderación final de los municipios .....	42
Tabla 3.6 Municipios seleccionados.....	43
Tabla 3.7 Etapas del manejo integral de residuos sólidos urbanos respecto a bandos municipales.....	43
Tabla 3.8 Generación per-cápita del Estado de México.....	44
Tabla 3.9 Generación y recopilación de residuos sólidos urbanos estimadas .....	44
Tabla 3.10 Etapas del MIRSU respecto a cédula de entrevista .....	45
Tabla 3.11 Características del barrido.....	45
Tabla 3.12 Características de la recolección.....	46
Tabla 3.13 Vehículos recolectores .....	47
Tabla 3.14 Características de la transferencia .....	48
Tabla 3.15 Características de la disposición final.....	48
Tabla 3.16 Indicadores de desempeño de información general .....	49
Tabla 3.17 Indicadores de desempeño de barrido .....	49
Tabla 3.18 Indicadores de desempeño de recolección .....	50
Tabla 3.19 Indicadores de Desempeño de transferencia .....	51
Tabla 3.20 Indicadores de desempeño de disposición.....	51
Tabla 3.21 Comparación de distancias entre SDF actuales y RESA intermunicipales propuestos para cada municipio.....	64
Tabla 3.22 Residuos a disponer por día en los RESA propuestos el primer año..	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Residuos Sólidos Urbanos .....	3
Figura 1.2 Generación de RSU por región .....	4
Figura 1.3 Generación de RSU, producto interno bruto (PIB) y gasto del consumo final privado en México 2003-2015.....	7
Figura 1.4 Generación de RSU por región .....	7
Figura 1.5 Composición de los RSU en México en el año 2012.....	8
Figura 1.6 Municipios colindantes Michoacán – Estado de México,.....	10
Figura 1.7 Marco actual de la legislación de RSU en México. ....	11
Figura 1.8 Manejo Integral de RSU .....	13
Figura 1.9 Jerarquía del MIRSU.....	14
Figura 1.10 Tiradero a cielo abierto.....	17
Figura 1.11 Sitio controlado.....	18
Figura 1.12 Relleno sanitario.....	18
Figura 1.13 Sistema secuencial desde la industria insostenible hacia C2C .....	24
Figura 1.14 Relleno sanitario sustentable .....	25
Figura 2.1 Esquema de etapas para la investigación .....	27
Figura 2.2 Análisis de conglomerados .....	28
Figura 2.3 Diagrama de flujo para seleccionar ubicación del RESA Sustentable..	35
Figura 3.1 Dendograma del análisis de conglomerados .....	40
Figura 3.2 Estación de transferencia de San José del Rincón .....	47
Figura 3.3 Estación de transferencia de Donato Guerra .....	47
Figura 3.4 Evaluación de ubicación de RESA respecto a seguridad aeroportuaria .....	52
Figura 3.5 Evaluación de ubicación de RESA respecto a .....	53
Figura 3.6 Evaluación de ubicación de RESA respecto a ríos .....	54
Figura 3.7 Evaluación de ubicación de RESA respecto a lagos.....	54
Figura 3.8 Evaluación de ubicación de RESA respecto a centros de población ...	55
Figura 3.9 Evaluación de ubicación de RESA respecto a la topografía .....	56

Figura 3.10 Ubicación de Rellenos Sanitarios Sustentables .....	57
Figura 3.11 Comparación del SC de Tlalpujahua y el TCA de El Oro con las Zonas Óptimas .....	58
Figura 3.12 Comparación del TCA de Angangueo con las Zonas Óptimas .....	58
Figura 3.13 Comparación del RESA de Zitácuaro con las Zonas Óptimas .....	59
Figura 3.14 Comparación de los TCA de Ixtapan del Oro y Villa de Allende con las Zonas Óptimas .....	59
Figura 3.15 Comparación de los TCA de Tuzantla y Susupuato con las Zonas Óptimas .....	60
Figura 3.16 Comparación de los TCA de Otzoloapan con las Zonas Óptimas.....	60
Figura 3.17 Comparación de los TCA de Luvianos con las Zonas Óptimas .....	61
Figura 3.18 Comparación de los TCA de Tiquicheo con las Zonas Óptimas .....	61
Figura 3.19 Sitio de Disposición Intermunicipal Sustentable de Tlalpujahua.....	62
Figura 3.20 Sitio de Disposición Intermunicipal Sustentable de Zitácuaro .....	62
Figura 3.21 Sitio de Disposición Intermunicipal Sustentable de Susupuato .....	63
Figura 3.22 Opciones de relación intermunicipal geográfica y espacial en el área de estudio.....	66

## INTRODUCCIÓN

En México, según la cifra más reciente publicada en 2015, la generación de RSU alcanzó 53.1 millones de t y la generación per-cápita alcanzó 1.2 kg y su tendencia es creciente. En cuanto a la disposición de los RSU, se tiene reportado que en el 2013, el 67% de los RSU se depositó en RESA, 20% en tiraderos a cielo abierto (TCA), 8% en sitios controlados (SC) y únicamente el 5% fueron reciclados (INEGI, 2016); en este mismo año la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) fue de 665,000 t CO<sub>2</sub>eq, de las cuales el 4.6% fueron atribuibles a la disposición final de RSU (SEMARNAT, 2015). Durante el año 2014, únicamente se contó con 118 programas municipales orientados a la gestión integral de los RSU (GIRSU) (INEGI, 2015a) y a partir del 2015 se reportó que algunos RESA utilizaban el biogás para la producción de energía, entre los que destacan los ubicados en Salinas Victoria, Nuevo León; San Nicolás, Aguascalientes y Ciudad Juárez, Chihuahua (Ángeles, 2015; SEISA, 2017; Lara, 2017).

La parte central de México, conformada por el Estado de México y estados aledaños: Ciudad de México, Hidalgo, Querétaro, Michoacán, Guerrero, Morelos, Puebla y Tlaxcala; reportó durante el año 2014 el 44% de los RSU que fueron generados en el país, entidades federativas donde se concentraba el 39.4% de la población (INEGI, 2016). Para los fines de este trabajo se estableció como área de estudio la región colindante entre Michoacán y el Estado de México, en la que se estima una generación de 238,312 t de RSU durante el año 2014; de los cuales se recolectaron únicamente el 30% y para su disposición final se contó con 11 TCA, un SC y ningún RESA o estaciones de valorización de RSU (INEGI, 2015a).

Lo previamente mencionado indica deficiencias en MIRSU en México y permite identificar áreas de oportunidad en sus distintas etapas, como el aumento de la separación de RSU desde la fuente, el aumento de su valorización, aprovechamiento y tratamiento y la innovación en los SDF, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo proponer la ubicación de un RESA sustentable entre el

Michoacán y el Estado de México y consta de tres secciones principales. La primera sección incluye los fundamentos sobre la situación de los RSU a nivel mundial, nacional y del área de estudio; la GIRSU y su gestión intermunicipal; información sobre los tipos de SDF, haciendo énfasis en los RESA sustentables y en las variables que deben analizarse para ubicar un RESA. La segunda sección trata sobre la metodología seguida para llevar a cabo la investigación; la cual consta de la selección de los municipios a estudiar mediante el análisis de conglomerados y la técnica de ponderación; el estudio del MIRSU de los municipios seleccionados utilizando ID y la selección de áreas para la ubicación del RESA tomando como referencia la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004). En la tercera sección se presentan los resultados de cada una de las etapas de la metodología y se proponen administraciones intermunicipales considerando únicamente la dimensión geográfica y espacial. Finalmente se incluyen las conclusiones de la investigación, las referencias consultadas y algunos anexos.

# 1. FUNDAMENTOS

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) define a los residuos como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, o es un líquido o un gas contenido en recipientes o depósitos y, que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final (DOF, 2015). Existen diversas maneras de clasificar los residuos sólidos:

- a) Según el tipo: orgánicos e inorgánicos
- b) Según su origen: domésticos, comerciales, provenientes de espacios públicos, institucionales, hospitalarios e industriales.
- c) Según la LGPGIR: RSU (Figura 1.1) Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP).



Figura 1.1 Residuos Sólidos Urbanos

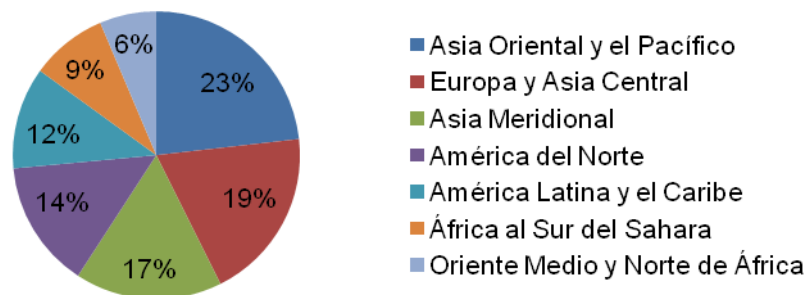
## 1.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La LGPGIR define a los RSU como los residuos generados en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas; son también los residuos que provienen de

establecimientos o de la vía pública, o los que resultan de la limpieza de las vías y lugares públicos y que tienen características como los domiciliarios (DOF, 2015).

### 1.1.1 Situación mundial

La generación mundial de RSU en el año 2016 fue de 2,001 millones, de los cuales, el 33% no se manejaron de manera segura para el medio ambiente y la generación per-cápita promedio fue de 0.74 kg, con rangos de 0.11 a 4.54 kg. La región de Asia Oriental y el Pacífico generó la mayor cantidad de RSU (23%), mientras que la región Oriente Medio y Norte de África produjo la menor cantidad (6%) (Figura 1.2) y aunque en los países de ingreso alto habitaba el 16% de la población, éstos en conjunto generaron casi la tercera parte (34%).



Fuente: Adaptado de Kaza *et al.*, 2018

Figura 1.2 Generación de RSU por región

Se ha estimado que si no se adoptan medidas urgentes, el porcentaje de RSU a nivel mundial crecerán 70% para 2050 y se prevé que la generación de RSU impulsada por la rápida urbanización y el crecimiento de las poblaciones aumentará principalmente en los países de ingreso mediano bajo, de tal forma que en África, al Sur del Sahara, podría triplicarse y en Oriente Medio, Norte de África y Asia meridional, duplicarse (Kaza *et al.*, 2018).

Además, se determinó que en 2016 el tratamiento y la eliminación de RSU generaron la emisión de 1,600 millones de t de CO<sub>2</sub>eq, lo que representa



alrededor del 5% de las emisiones mundiales y se estima que incrementará a 2,600 millones de t de CO<sub>2</sub>eq en 2050 si no se realizan mejoras en el sector (Kaza *et al.*, 2018).

La composición de los RSU depende del nivel de ingresos, puesto que condiciona los distintos patrones de consumo. Los países con ingresos altos generan menor cantidad de residuos alimenticios y de jardinería (32%) y una mayor cantidad de RSU que pueden ser reciclados como plástico, papel, cartón, metal y vidrio (51%). Los países de ingresos medianos y bajos generan 53% y 56% de residuos alimenticios y de jardinería, respectivamente, la fracción orgánica de los RSU aumenta conforme disminuye el nivel económico. En los países de ingresos bajos los materiales que podrían reciclarse representan solo el 16% de los RSU generados.

La recolección es una etapa crítica en el manejo de RSU y depende también del nivel de ingreso, los países de ingresos medianos altos y altos proveen servicios casi universales de recolección y los países de ingresos bajos recolectan alrededor del 48% de los RSU en las ciudades y únicamente el 26% fuera de las zonas urbanas (Kaza *et al.*, 2018).

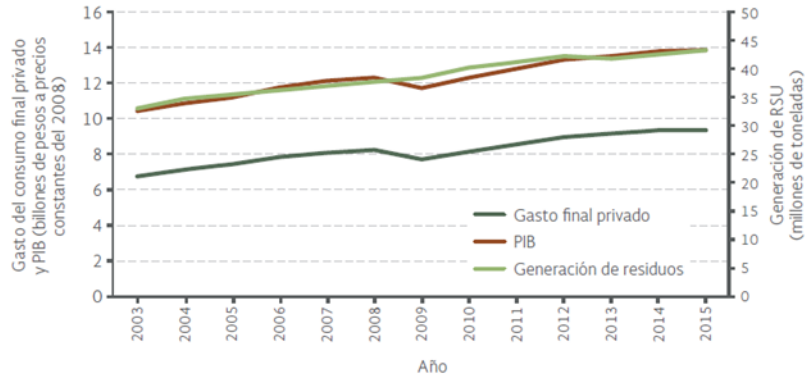
Globalmente, la mayoría de los RSU son dispuestos en SDF, 7% son dispuestos en RESA de los cuales el 8% son dispuestos en RESA con sistemas para el manejo de biogás, 33% son dispuestos en TCA, 19% son recuperados mediante reciclaje y compostaje y 11% son incinerados. La disposición final y el tratamiento adecuado de los RSU se realizan principalmente en países de ingresos altos y medianos altos, mientras que en los países de ingresos bajos la disposición generalmente se realiza en TCA. El 93% de los RSU generados en los países de ingresos bajos son enviados a disposición final mientras que en los países de ingresos altos únicamente es el 2%. Los países de ingresos medianos altos tienen 54% de RSU en RESA y éste porcentaje disminuye en los países de ingresos altos al 39%, además el 35% son aprovechados mediante reciclaje o compostaje y

el 22% por incineración, ésta última se utiliza principalmente en países de alta capacidad, ingresos altos y territorio limitado (Kaza *et al.*, 2018).

En este contexto, se han identificado características que propician la aplicación adecuada de sistemas GRSU en los países de ingresos altos y medios altos, como son la buena administración, visión, estabilidad, economía de escala, recursos económicos, legislación, opinión pública, control de todos los RSU y responsabilidad compartida (Mendes, 2013, Townsend, 2015, Parkes, 2015). Por el contrario, en los países de ingresos medianos bajos y bajos, la GRSU se desarrolla fundamentalmente mediante cooperación internacional, sin embargo muchos esfuerzos realizados para mejorarla se pierden debido a diversas causas, como: la dificultad de trascender los niveles científicos y académicos para llevar la educación a un lenguaje fácilmente entendible y transformable en cambios de conducta; los impuestos de incidencia ambiental responden más a criterios económicos; hay vacíos en la legislación ambiental y complica la situación su desconocimiento e incumplimiento por parte del sector privado, la ciudadanía y servidores públicos; así como la debilidad de mecanismos de concertación entre éstos para organizar una adecuada gestión ambiental (SEMARNAT, 2010, Sáez & Urdaneta, 2014, Hettiarachchi *et al.*, 2018).

### **1.1.2 Situación nacional**

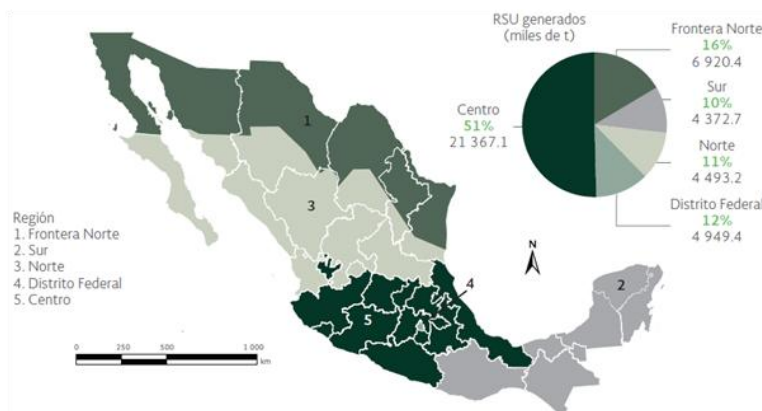
En México, según la cifra más reciente publicada en 2015, la generación de RSU alcanzó 53.1 millones de t, lo que representa un aumento del 61.2% respecto a 2003 (10.24 millones de t más generadas en ese período) y la generación per cápita alcanzó 1.2 kg. La generación de RSU crece a la par del gasto del consumo final privado y el Producto Interno Bruto (PIB) nacional, como lo muestra lo reportado entre 2003 y 2015, donde el PIB y la generación de RSU incrementaron prácticamente a la misma tasa (alrededor de 2.77% anual) (Figura 1.3).



Fuente: INEGI, 2015c

Figura 1.3 Generación de RSU, producto interno bruto (PIB) y gasto del consumo final privado en México 2003-2015

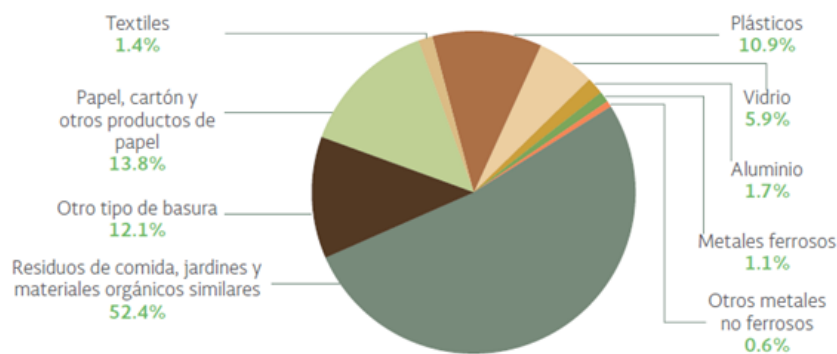
De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), en 2012 la región Centro generó el 51% de los RSU del país, la región Frontera Norte 16.4% y el Ciudad de México 11.8% (Figura 1.4). Ello significa que el 45.7% de los RSU del país fueron generados por cinco entidades federativas, las cuales son Estado de México (6.7 millones de t; 16.1% del total nacional), Ciudad de México (4.9 millones de t; 11.8%), Jalisco (3.1 millones de t; 7.2%), Veracruz (2.3 millones de t; 5.5%) y Nuevo León (2.2 millones de t; 5.1%); mientras que los estados que registraron los menores volúmenes fueron Nayarit (347 mil t; 0.82%), Tlaxcala (339 mil t; 0.81%), Campeche (272 mil t; 0.65%), Baja California Sur (259 mil t; 0.62%) y Colima (228 mil t; 0.5%) (SEDESOL, 2013).



Fuente: SEDESOL, 2013

Figura 1.4 Generación de RSU por región

Entre 1997 y 2012 el patrón de crecimiento en la generación de RSU ha sido heterogéneo: en la región Frontera Norte aumentó 214%, en la zona Centro 53%, en la Sur 49%, en la Ciudad de México aumentó 20%, mientras que en la región Norte mostró una reducción al pasar de 6 a 4.5 millones de t de RSU. Por otra parte, México está migrando hacia una composición con una menor predominancia de residuos orgánicos, pues en la década de los años 50 el porcentaje de residuos orgánicos oscilaba entre 65 y 70% de su volumen, mientras que en 2012 esta cifra se redujo a 52.4%. Componentes importantes de los RSU que se producen en el país son también el papel y sus derivados (13.8%) y los plásticos (10.9%) (Figura 1.5) (SEMARNAT, 2015).



Fuente: SEDESOL, 2013

Figura 1.5 Composición de los RSU en México en el año 2012.

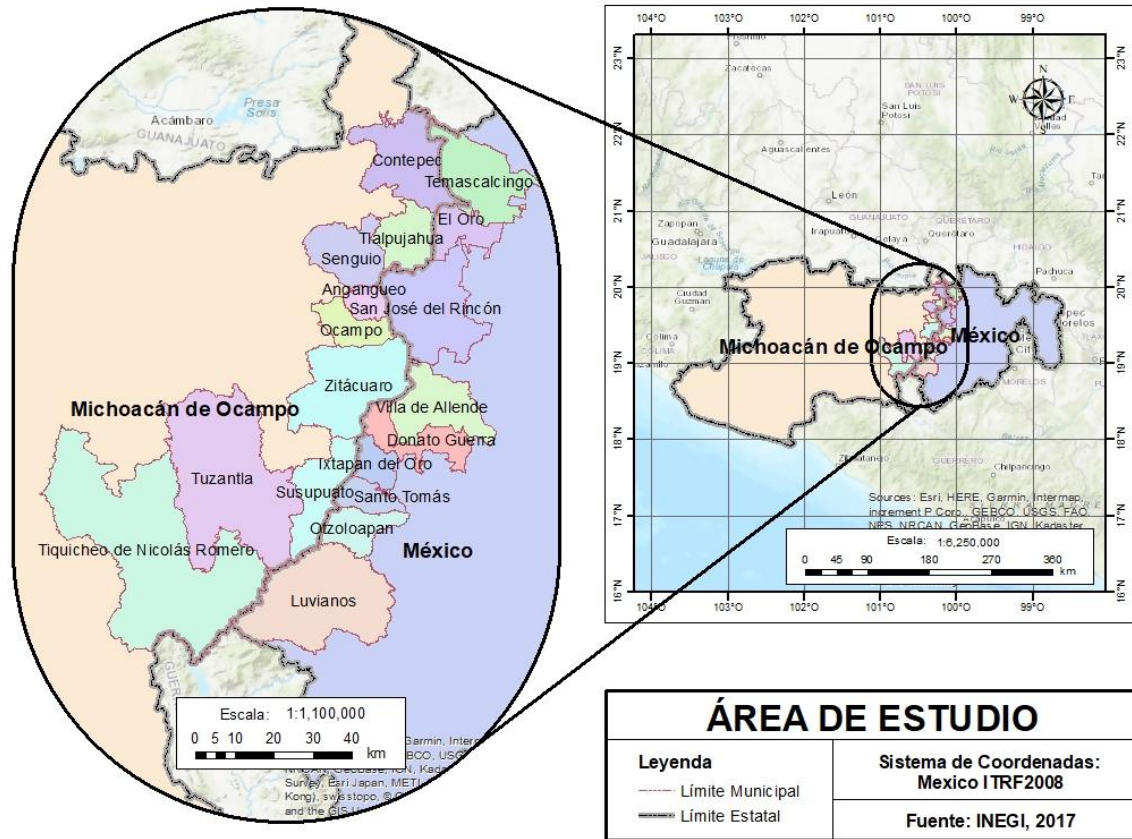
En 2012, la recolección en el país ascendió al 93.4% de los RSU generados, 8.8% más que en 1998. En las zonas metropolitanas del país la cobertura en la recolección de los RSU alcanzó el 90%, en las ciudades medias fue de 80%, en las pequeñas de 26% y en las localidades rurales o semiurbanas alcanzó 13%. Respecto a la cantidad de materiales reciclados, en 2012 alcanzó alrededor del 9.6% de los RSU generados (INECC, 2012), de los cuales el mayor porcentaje correspondió a papel, cartón y productos de papel (32%), seguido por el PET (15.8%), vidrio (13.8%), plásticos (9.2%), metales (7.6%) y los electrónicos y electrodomésticos (5.1%) (INEGI, 2013).

En 2013, la disposición final en RESA y SC alcanzó poco más del 74.5% del volumen de RSU generado, lo que representa un incremento de alrededor del 82.7% respecto al año 1997, el 21% se depositó en TCA y el 5% restante fue reciclado. Cuando se analiza la disposición adecuada de los RSU por tipo de localidad, en 2012 el 90% de las zonas metropolitanas disponían sus RSU en RESA y SC, mientras que tan solo el 4.5% de las localidades rurales o semiurbanas lo hacía del mismo modo. Las entidades federativas que tienen más RESA son: Estado de México (28), Jalisco (27), Veracruz y Chihuahua (con 18 cada uno) y Guanajuato (17); actualmente la única entidad que no cuenta con RESA es la Ciudad de México por lo que sus RSU se disponen en el RESA de Cuautla en el estado de Morelos y en cuatro ubicados en el Estado de México, los cuales son La Cañada, Cuautitlán, El Milagro y Tepoztlán (SEMARNAT, 2015).

### **1.1.3 Situación regional**

El análisis de la situación regional se limita al área de estudio del proyecto, la cual está conformada por los 18 municipios colindantes entre las entidades federativas de Michoacán y el Estado de México (Figura 1.6).

Se ha estimado que en esta región se generaron 238,312 t de RSU durante el año 2014, de los cuales se recolectaron únicamente el 30% y para su disposición final se contó con 11 TCA, un SC y ningún RESA o estaciones de valorización de RSU (INEGI, 2015a). Ésto representa una problemática debido a que la inadecuada disposición final de RSU podría afectar el área natural protegida “Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca” ubicada en la región (CONANP, 2017), así como sus principales fuentes de abastecimiento de agua, las cuencas de los ríos Lerma y Cutzamala (CONAGUA, 2017). Por lo tanto es necesario implementar acciones que trasciendan las administraciones y mejoren la GRSU en esta zona considerando factores económicos, ambientales y sociales, es decir incorporando la sustentabilidad.



Fuente: Adaptado de INEGI, 2017

Figura 1.6 Municipios colindantes Michoacán – Estado de México, Área de estudio.

## 1.2 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La Gestión de RSU (GRSU) puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, tratamiento y disposición de RSU de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, la economía, la ingeniería, la conservación, la estética y otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas. En este contexto, la GRSU puede ser definida como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos de GRSU (Tchobanoglous, 2002) y se compone de elementos transversales y funcionales.

### 1.2.1 Elementos transversales

Los elementos transversales de la GIRSU incluyen funciones administrativas, financieras, legales, de planificación y de ingeniería, las cuales se explican a continuación:

- a) Desarrollo y aplicación de la normatividad. Gran parte de la actividad actual en el campo de la GIRSU, especialmente respecto a la recuperación de recursos y a la calidad del agua subterránea, es consecuencia directa de la legislación reciente. Además, el fuerte empuje de la salud pública durante la última parte del siglo XX dio origen a la legislación sobre la construcción y operación de instalaciones basadas en los conceptos de ingeniería de RSU (DOF, 2004). En México, el marco legal incluye leyes, reglamentos y normas de los tres órdenes de gobierno e involucra a un número considerable de instituciones. En la figura 1.7 se presenta el marco actual de la legislación en el ámbito de los RSU, así como su jerarquía y especificidad, la jerarquía hace referencia a su orden de importancia y la especificidad a su nivel de adecuación (SEMARNAT, 2008).



Fuente: Adaptado de SEMARNAT, 2008

Figura 1.7 Marco actual de la legislación de RSU en México.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (DOF, 2016) reconoce la competencia de los estados y municipios para regular y prestar el servicio público de limpia y adicionalmente faculta al Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para expedir Normas Oficiales Mexicanas en las diferentes materias que estructuran el servicio público de limpia (artículos 5º fracción V, 7º fracción XIII y 8º fracción XII), mientras que la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Artículo 115, fracción III, inciso c) (DOF, 2018) establece que corresponde a los municipios la responsabilidad de prestar el servicio de limpia con el concurso del estado al que pertenecen, de tal forma que los estados a través de sus legislaturas, tienen encomendado legislar en dicha materia y, los municipios a través del ayuntamiento emiten reglamentos en la materia, bajo este contexto los Regidores fungen como supervisores de las actividades; contando además con instituciones administrativas que se encargan directamente de la prestación del servicio público que consta del barrido de calles, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de RSU (SEMARNAT, 2008).

- b) Marco Institucional y organizacional. Este elemento se refiere a la planeación, desarrollo, monitoreo, supervisión y evaluación de las distintas acciones que se realizan en materia de RSU (SEMARNAT, 2008).
- c) Instalaciones y equipamiento. Consiste en la construcción de unidades para la GIRSU como RESA y plantas de tratamiento, las cuales son difíciles de ubicar en un ambiente urbano porque deben identificarse terrenos ambientalmente aceptables y conservarlos para su uso futuro (Tchobanoglous, 2002).
- d) Educación y capacitación. Los administradores de la GIRSU deben ser entrenados y colocados en los puestos apropiados para desarrollar y controlar unidades de gestión aumentadas y mejoradas. Así mismo, la implementación



exitosa de programas de reducción, separación y reciclaje de RSU, entre otros, depende de la difusión y capacitación brindadas a la población (Davis, 2005).

e) Presupuesto. La GIRSU debe financiarse con recursos económicos del municipio y cualquier mejora requiere de recursos para llevarse a cabo, por lo tanto debe estudiarse con mucha precisión su estructura de costos (Solda, 2010).

### 1.2.2 Elementos funcionales

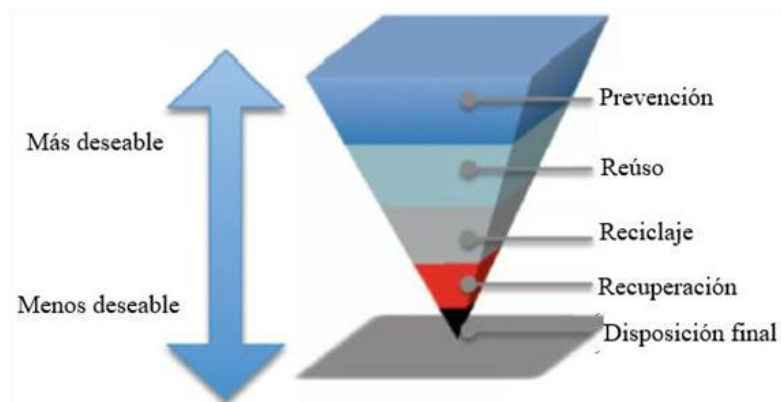
Las actividades asociadas a la GIRSU desde el punto de generación hasta la disposición final han sido agrupadas en elementos funcionales, los cuales tienen como propósito principal aumentar la valorización de RSU con eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social, lo cual se traduce en la protección de la salud de la población y del medio ambiente (DOF, 2015), estos elementos funcionales conforman el MIRSU (Figura 1.8) y son (SEMARNAT, 2008, Davis, 2005, DOF, 2004, Tchobanoglous, 2002):



Fuente: Adaptado de Ecocontenedores, 2018.

Figura 1.8 Manejo Integral de RSU

- a) Generación: Es la acción de producir RSU a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo, abarca actividades en las que no se reconoce algún valor adicional de los materiales y son tirados o recolectados para su disposición final; ésta actividad depende de cada individuo y actualmente está poco controlada.
- b) Separación, almacenamiento y procesamiento en el origen: Consiste en clasificar los RSU desde el lugar donde son originados para aprovecharlos y lograr que una menor cantidad lleguen a disposición final, mediante el principio de las “Tres Rs”: reducir, reusar y reciclar (Figura 1.9).



Fuente: Adaptado de Idiano, 2016.

Figura 1.9 Jerarquía del MIRSU

- c) Barrido: Es la limpieza de los RSU depositados en la vía pública, tiene como propósitos cuidar la salud humana, cuidar que los RSU no dañen los servicios públicos de la localidad y cuidar su imagen. Existen dos tipos: manual y mecánico.
- d) Recolección y transporte: Consiste en la colecta de los RSU en las casas y comercios para ser transportados y descargados en Estaciones de Transferencia (ET), plantas de tratamiento o SDF. La recolección depende de las actividades y ubicación del lugar donde se generan los RSU y los métodos utilizados para su almacenamiento.

- e) **Transferencia:** Cuando la generación de RSU es mucha o el tratamiento o disposición final se realiza en un sitio lejano, los costos de transporte pueden ser muy altos. Esto obliga a establecer ET que acortan las distancias para los vehículos de recolección y existen tres tipos: carga directa, carga indirecta (almacenamiento y carga) y mixta.
  
- f) **Valorización, aprovechamiento y tratamiento:** Son los procedimientos que pueden aplicarse a los RSU para cambiar sus características o reducir su volumen, esto permite reducir daños al ambiente, aumentar el tiempo de vida de los SDF y aprovecharlos para obtener un beneficio. Los tratamientos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de proceso: físico, biológico, térmico o termoquímico.
  
- g) **Disposición final:** Esta actividad consiste en colocar de manera definitiva en SDF los RSU que no pueden ser reciclados y no tienen ningún uso adicional y representa la forma menos deseada para tratar los RSU.

### **1.3 GESTIÓN INTERMUNICIPAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

En la mayoría de los países en desarrollo la GIRSU es un problema costoso e inquietante, la cobertura del servicio es baja, los recursos son insuficientes, los reglamentos de limpia municipal son incompletos (SEMARNAT, 2001) y, la disposición final sin control es generalizada, creando así problemas ambientales (Feire, 2001). Una solución propuesta es el manejo intermunicipal de este servicio, de tal forma que exista cooperación entre los municipios (Pacheco, 2014). El concepto de intermunicipalidad tiene dos dimensiones fundamentales, una espacial y geográfica y otra colaborativa e institucional:

- a) Dimensión espacial y geográfica. Esta dimensión se refiere a un arreglo intermunicipal que surge como resultado de la expansión de los municipios con probabilidades de colindancia en periodos relativamente cortos (Pacheco, 2014).
  
- b) Dimensión colaborativa e institucional. En esta dimensión el arreglo intermunicipal deriva del establecimiento de una serie de reglas formales e informales de cooperación entre los municipios y está relacionada con el concepto de gobernanza (Feiock, 2008); debido a que cada gobierno local cede cierto grado de control y, se constituyen reglas formales e informales que establecen de manera explícita los mecanismos de interacción entre los agentes gubernamentales, políticos, burócratas y el personal que tengan por objetivo una relación de colaboración con sus contrapartes en otros municipios (Hughes, 2001).

Algunos ejemplos en los que la GIRSU intermunicipal ha sido empleada de manera exitosa son la Gestión urbana de RSU en la Región Autónoma de Aragón en España, en la que se han reducido los costos en municipalidades con poblaciones pequeñas (Warner & Bel, 2008). En México el Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos Surestese (SIMAR Sureste) se basa en 12 principios rectores, algunos de ellos son la autosuficiencia, el desarrollo sustentable, la prevención y minimización, la participación social, el principio quien contamina paga y la valorización; involucra a nueve municipios del estado de Jalisco (Mazamitla, Quitupan, Valle de Juárez, La Manzanilla de la Paz, Concepción de Buenos Aires, Teocuitatlán de Corona, Tuxcueca, Tizapán el Alto y Santa María del Oro) y un municipio del estado de Michoacán (Marcos Castellanos) (SIMAR, 2018). Otra colaboración intermunicipal en México se lleva a cabo en el estado de Tamaulipas y es integrada por los municipios de Tampico, Cd. Madero y Altamira (ITVU, 2007).

## 1.4 SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL Y SUSTENTABILIDAD

La disposición final de RSU ha evolucionado desde la disposición incontrolada en la tierra y la quema indiscriminada, hasta sistemas integrados que incorporan su procesamiento, reciclaje y tratamiento (Townsend *et al.*, 2015). Este progreso es paralelo a la creciente conciencia de la sociedad sobre la necesidad de proteger la salud humana y el medio ambiente (ONU, 2015).

### 1.4.1 Tipos de sitios de disposición final

De acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004), un SDF es el lugar donde se depositan los RSU y los RME en forma definitiva y se clasifican en:

- a) Sitio no controlado. También llamado TCA, es un sitio inadecuado para la disposición final puesto que no se realizó un estudio previo para su ubicación, no cuentan con algún tipo de control y contaminan el aire, el agua y el suelo. Son comúnmente barrancas, ríos y orillas de carreteras (Figura 1.10).



Figura 1.10 Tiradero a cielo abierto

- b) SC. Es un sitio que cumple con especificaciones de infraestructura y operación de RESA, excepto con la impermeabilización del suelo, por lo que también genera problemas de contaminación del suelo y del agua subterránea (Figura 1.11).



Figura 1.11 Sitio controlado

c) RESA. Es una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de RSU y RME, con el fin de controlar los impactos ambientales (Figura 1.12) (Rojas & Sahagún, 2012).



Fuente: Rodríguez, 2016.

Figura 1.12 Relleno sanitario

d) Biorrelleno (BioRESA). The Solid Waste Association of North America define al biorelleno como un RESA donde las condiciones de líquido y gas son manejadas con el fin de acelerar o mejorar la bioestabilización de los RSU (SWANA, 2002). El biorelleno incrementa significativamente el grado de descomposición de residuos orgánicos, las velocidades de conversión y la eficacia del proceso sobre la forma en la que ocurriría normalmente en un RESA (Lobo *et al.*, 2015).

#### **1.4.2 Ubicación de rellenos sanitarios**

Los RESA han sido y continuarán siendo en el futuro próximo elementos esenciales de los sistemas de MIRSU, por lo tanto deben ubicarse en lugares apropiados, diseñarse, construirse y operarse de manera segura y ambientalmente adecuada (SEMARNAT, 2001).

Para la evaluación y selección de la ubicación de un RESA es necesario analizar las siguientes variables, para prevenir el impacto negativo al ambiente y a la salud pública, las cuales han sido propuestas por diversos organismos especializados:

- a) Vida útil. Debe tener una extensión tal, que se tenga un volumen que pueda recibir RSU para cuando menos 10 años de operación del RESA; es preferible arriba de los 15 años en donde la factibilidad financiera resulta más viable. Para el cálculo de este volumen se debe tomar en cuenta la proyección futura de la población y la tasa de incremento anual en la generación per-cápita de RSU (Giménez & Cardozo, 2012, DOF, 2004).
- b) Disponibilidad del material de cobertura. La cantidad disponible de material de cobertura debe ser al menos igual al 25% del volumen de RSU (DOF, 2004). Si el sitio no contara con tierra suficiente o no se pudiera excavar, deberán investigarse bancos de material para cobertura en lugares próximos y accesibles, preferentemente a menos de un km de distancia (Giménez & Cardozo, 2012), tomando en cuenta las formas de transporte, almacenamiento y los costos asociados (Jaramillo, 2002).
- c) Vías de acceso. Este aspecto afecta el costo global del sistema, retardando los viajes o dañando los vehículos, y la transportación los RSU puede afectar a los pobladores; por tal motivo es deseable que el acceso vial al RESA se realice por vías con baja densidad demográfica (Giménez & Cardozo, 2012) y transitables en toda época del año, además la zona inmediata a la entrada debe

diseñarse de manera que permita la concentración de gran número de vehículos (Jaramillo, 2002, DOF, 2004, Giménez & Cardozo, 2012).

d) Vientos dominantes. La ubicación del sitio debe seleccionarse de tal manera que los vientos dominantes soplen en sentido contrario a la mancha urbana con el fin de evitar posibles malos olores; aunque si el RESA opera correctamente, el factor “viento dominante” puede despreciarse.

e) Geología. Un contaminante puede penetrar al suelo y llegar al acuífero, contaminándolo y haciéndolo su vehículo (Jaramillo, 2002), por lo tanto, deben tomarse en cuenta condiciones del suelo que puedan causar asentamientos diferenciales, características geomorfológicas o geológicas locales y características especiales causadas por obras previas hechas por el hombre (Sharma, 1994) como los enlistados a continuación.

- Características del suelo (estratigrafía). El suelo debe ser impermeable (tener un coeficiente de permeabilidad  $<10^{-5}$  cm/s) y capaz de eliminar contaminantes (tasa de intercambio catiónico  $<30$  meq / 100 g de suelo). Los suelos sedimentarios con características areno-arcillosas son las más recomendables, ya que son suelos poco permeables, por lo cual la infiltración del líquido contaminante se reduce sustancialmente. Por otra parte, este tipo de suelo es suficientemente manejable como para realizar excavaciones, cortes y usarlo como material de cubierta. (Giménez & Cardozo, 2012, DOF, 2004).

- Topografía del sitio. Debe diseñarse y operarse de tal forma que se logre un mayor volumen aprovechable por hectárea, la pendiente media del terreno natural del sitio no debe ser mayor de 30% y deberá estar protegido de los procesos de erosión hídrica (Umaña, 2002, Giménez & Cardozo, 2012, DOF, 2004).



- Fracturas y fallas. Deberá ubicarse a una distancia de 500 m, como mínimo del límite de la zona de fracturación (Sharma, 1994, DOF, 2004).
  - Zonas sísmicas. En toda instalación que se localice en una “zona de impacto sísmico”, las estructuras incluyendo las membranas, taludes y sistema de control de aguas superficial y de lixiviados, deberán estar diseñados para resistir la aceleración local de material lítico (Sharma, 1994).
- f) Hidrogeología. Deben realizarse investigaciones hidrológicas completas del área de relleno y de sus alrededores para conocer la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, así como la dirección y velocidad del escurrimiento o flujo de la misma, con el fin de evitar la contaminación de los acuíferos. En algunos casos esta información puede obtenerse de estudios previos (Jaramillo, 2002).
- Profundidad del manto freático. Deberá estar ubicado a una distancia mayor de 10 m del nivel freático (Giménez & Cardozo, 2012, DOF, 2004).
  - Zona de recarga. Deberá estar ubicado a una distancia mayor de un km y aguas abajo de las zonas de recarga de acuíferos (DOF, 2004).
  - Distancia de pozos de abastecimiento de agua. Deberá estar ubicado a una distancia mayor de un km de fuentes de abastecimiento de agua potable (DOF, 2004).
- g) Hidrología. Deberá estar a una distancia mayor de un km de zonas de inundación, cuerpos de agua y cursos de agua natural, estar ubicado fuera de zonas pantanosas, marismas y similares y contar con una adecuada red de drenaje pluvial para evitar escurrimientos dentro del RESA (Sharma, 1994, DOF, 2004).

- h) Seguridad aeroportuaria. Como las aves pueden ser atraídas por las descargas de RSU, introduciendo así riesgos potenciales para la aeronavegación a baja altura, cuando se contemple la posibilidad de establecer un RESA en la proximidad de alguna terminal aérea, se deberá consultar a las autoridades respectivas y deben ubicarse por lo menos a 3 km de aeropuertos que sirven a aviones con motor de turbina y a 1.5 km con motor de pistón (Sharma, 1994, Jaramillo, 2002).
  
- i) Centros de población. Deben estar a una distancia de más de 500 m de las áreas urbanas previendo que al final de la vida útil se pueda usar como área verde. Cuando la población es menor a 5,000 habitantes se recomienda una distancia de 500 a 2,000 m a partir del perímetro urbano, para centros de población de 5,000 a 15,000 habitantes la distancia debe ser de 2,000 a 5,000 m y para poblaciones mayores a 50,000 habitantes debe ser de 5,000 a 10,000 m (Jaramillo, 2002, Giménez & Cardozo, 2012, DOF, 2004).
  
- j) Proximidad al área de recolección de los RSU. Encontrarse a una distancia que permita el uso económico de los vehículos recolectores; en caso contrario deberá tener capacidad suficiente para justificar las inversiones de capital y los costos de operación de una estación de transferencia en el área de recolección (Jaramillo, 2002).
  
- k) Drenaje. Deberá tener buen sistema de drenaje natural, independientemente de la red de drenaje pluvial con que se deberá equipar (DOF, 2004).
  
- l) Conservación del suelo. Las áreas con un valor ecológico o económico significativo no deben considerarse (por ejemplo, bosques templados, agricultura de riego, huertos), deben ubicarse a tres km de Áreas Naturales Protegidas y Zonas Arqueológicas y preferentemente, en una región donde el uso de suelo sea rural o industrial (DOF, 2004).

m) Obras de infraestructura. El RESA deberá ubicarse a una distancia mayor de 70 m de las vías de comunicación terrestre, a 20 m de las líneas de suministro eléctrico, ductos de petróleo, ductos petroquímicos y 150 m de plantas petroquímicas de almacenamiento (DOF, 2004).

### **1.4.3 Sustentabilidad**

El término en inglés “sustainable” traducido al español como “sustentable o sostenible” (WordReference, 2018) puede definirse como la habilidad de satisfacer las necesidades sociales actuales, sin comprometer las necesidades anticipadas de las futuras generaciones. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos señala sobre este tema “Todo aquello que necesitamos para nuestra supervivencia y bienestar depende, directa o indirectamente, de nuestro ambiente natural. La sustentabilidad crea y mantiene las condiciones bajo las cuales los humanos y la naturaleza pueden existir en armonía productiva, lo cual permite cumplir los requerimientos sociales, económicos y otros de las generaciones presentes y futuras” (USEPA, 2017). Las demandas ambientales, sociales y económicas presentes y futuras constituyen los tres pilares de la sustentabilidad (Townsend, 2015, Seoáñez, 2000, WCED, 1987), inicialmente la prioridad recaía en la economía y una vez garantizada, se acudía al diseño de productos, servicios e infraestructura con criterios sociales y ambientales. Esta estructura se ha ido modificando y actualmente el paradigma de la cuna a la cuna (C2C) ha introducido sinérgicamente los tres pilares de la sustentabilidad bajo una concepción triangular que crea valor a través del Ecodiseño (Figura 1.13) (McDonough&Braungart, 2002, McDonough&Braungart, 2004).



Fuente: Peralta *et al.*, 2011.

Figura 1.13 Sistema secuencial desde la industria insostenible hacia C2C

El ecodiseño consiste en balancear los requerimientos ambientales, sociales y económicos, al mismo tiempo que se lleva a cabo el desarrollo del producto, servicio o infraestructura; significa que “el ambiente” ayuda a definir la dirección de las decisiones que se toman en el diseño. En este proceso se le asigna al ambiente el mismo “status” que a los valores industriales más tradicionales: ganancias, funcionalidad, estética, ergonomía, imagen y, sobre todo, calidad. Un aspecto innovador del ecodiseño es su enfoque sobre todo el ciclo de vida del producto, teniendo como objetivo obtener productos que causen el menor impacto posible en el ecosistema y conduce hacia una producción sustentable y un consumo más racional de recursos (Rossi *et al.*, 2016, Aguayo *et al.*, 2013).

#### 1.4.4 Rellenos sanitarios sustentables

Tomando como referencia los conceptos de sustentabilidad y ecodiseño en años recientes se han generado avances considerables en los RESA, de tal forma que aún los más sofisticados pueden ofrecer bajos costos de tratamientos para RSU y son denominados RESA sustentables (Figura 1.14) (SEMARNAT, 2001).



Fuente: SEISA, 2017

Figura 1.14 Relleno sanitario sustentable

Los RESA sustentables establecen un mejor manejo posterior a las operaciones de disposición de RSU, para proveer protección ambiental a corto y largo plazo, incorporando las siguientes tecnologías:

- a) Control de fluidos para la estabilización de RSU. Las condiciones de líquido y gas son activamente manejadas para controlar y mejorar los procesos microbianos para estabilizar los RSU dentro de los 5 o 10 años siguientes a la clausura del RESA como en los biorellenos (Foth & Van Dyke, 2004). Sus ventajas son: descomposición y estabilización biológica en años o décadas en tumbas secas, reducción de costos de eliminación de lixiviados, generación de nutrientes, aumento del espacio vacío debido a la rápida estabilización de los RSU y el aumento de la generación de biogás en un período más corto, que ofrece oportunidades para aumentar la eficiencia de su recolección y reduce los problemas con el cuidado y el monitoreo de la instalación a largo plazo (Townsend *et al.*, 2015).
  
- b) Recuperación y aprovechamiento de biogás. El biogás es un subproducto de la descomposición de RSU usualmente en condiciones anaeróbicas y debe evitarse su emisión a la atmósfera; para su recuperación se utiliza un sistema activo conformado por pozos, un soplador para aplicar succión en los pozos y un dispositivo de control (por ejemplo: quemador, motor, turbina, etc.); una vez que el biogás ha sido recuperado puede ser utilizado para producir energía,

calor o ambos (Foth& Van Dyke, 2004). Las prácticas comunes incluyen la conversión de biogás a electricidad utilizando motores o turbinas y su uso directamente o como combustible de calidad gas natural después de un tratamiento apropiado (Townsend et al., 2015). Este aprovechamiento ofrece beneficios ambientales y económicos como: reducir las emisiones gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global, compensar el uso de fuentes de energía no renovables, mejorar la calidad del aire local, proporcionar ingresos para los RESA sustentables, reducir los costos de energía para los usuarios de energía de biogás, crear puestos de trabajo y promover la inversión en las empresas locales (EPA, 2016).

- c) Otras tecnologías: Otras prácticas son la minería en RESA estabilizados para recuperar algunos recursos y la incorporación de tecnologías para utilizar el espacio de RESA para fines adicionales, desde espacios recreativos hasta la recuperación de energía solar y eólica (Townsend *et al.*, 2015).

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Para ubicar adecuadamente un RESA sustentable deben considerarse las características ambientales, sociales y económicas asociadas al mismo, por lo tanto la metodología propuesta consta del análisis de las variables geográficas, poblacionales, económicas y de RSU del área de estudio, así como de su MIRSU para contar con elementos que permitan proponer ubicaciones factibles (Figura 2.1).

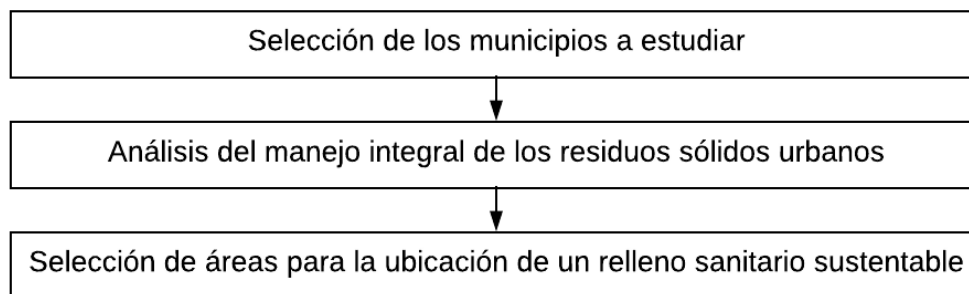


Figura 2.1 Esquema de etapas para la investigación

### 2.1 SELECCIÓN DE MUNICIPIOS A ESTUDIAR

Para desarrollar estrategias en el MIRSU es necesario llevar a cabo estudios de campo, los cuales requieren recursos económicos y humanos (Mañón *et al.*, 2017). Realizar dichos estudios en toda el área de estudio sería complejo debido a la cantidad de insumos y sus costos; por lo tanto con el fin de optimizar recursos, aumentar la calidad del estudio y reducir la heterogeneidad de la población (Fernández, 2001), se seleccionaron algunos municipios representativos mediante el análisis de conglomerados y la técnica de ponderación lineal.

### 2.1.1 Análisis de conglomerados

Debido a que la fiabilidad de los resultados obtenidos es crucial, se siguieron los pasos que se muestran en la figura 2.2, donde primeramente se realizó el análisis de las variables conforme al cumplimiento de los supuestos: ausencia de correlación entre las variables, número de variables significativo y normalizado respecto a las unidades de medida; y posteriormente se empleó el análisis de conglomerados para conocer los municipios que comparten características.

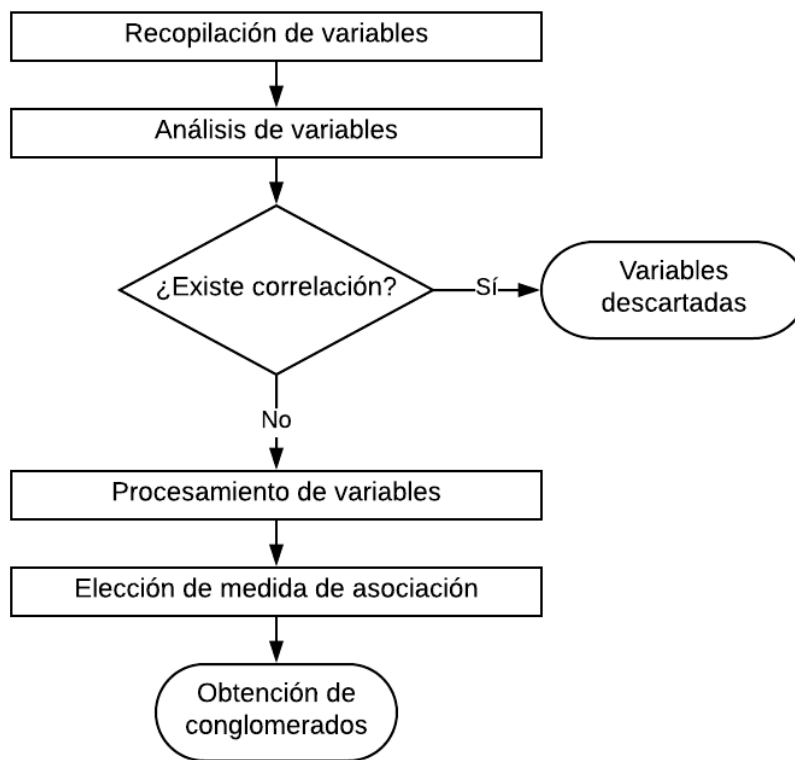


Figura 2.2 Análisis de conglomerados

a) Recopilación de variables. Debido a que la generación, composición y manejo de RSU depende de la población y de las actividades económicas del lugar (SEMARNAT, 2008), se recopilaron datos estadísticos de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Consejo Nacional de Población (CONAPO), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) de Variables



Poblacionales, Económicas y de RSU, que se especifican en la tabla 2.1. En la información correspondiente a RSU se consideraron los SDF dentro y fuera de los municipios, incluyendo la cantidad de RESA, TCA y SC.

Tabla 2.1 Variables para la selección de municipios

CLASIFICACIÓN DE VARIABLES	VARIABLES	SIGLAS	UNIDADES
Poblacionales	Población total por municipio	PTM	hab
	Población total municipios colindantes	PTMC	hab
	Densidad poblacional	DP	%
Económicas	Unidades económicas	UE	Número
	Población en situación de pobreza	PSP	%
RSU	Recolección de RSU	RRSU	T
	Cantidad de RESA dentro del municipio	RESAD	Número
	Cantidad de SC dentro del municipio	SCD	Número
	Cantidad de TCA dentro del municipio	TCAD	Número
	Cantidad de RESA fuera del municipio	RESAF	Número
	Cantidad de SC fuera del municipio	SCF	Número
	Cantidad de TCA fuera del municipio	TCAF	Número

b) Análisis de variables. Para evitar utilizar variables correlacionadas y no incluir información redundante en el análisis de conglomerados, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson ( $R^2$ ), si su valor es mayor a 0.75 las variables presentan una correlación alta y por lo tanto se descartaron del análisis (Sánchez, 2010).

c) Procesamiento de variables. Se obtuvo la estadística descriptiva (media, moda, mediana, varianza y desviación estándar) de las variables seleccionadas para determinar sus tendencias e identificar los casos atípicos, los cuales pueden alterar significativamente los resultados (Devore, 2005). Finalmente se realizó su normalización empleando la ecuación 2.1 con el fin de evitar diferencias en sus unidades de medida.

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Dónde:  $z_i$  = variable estandarizada,  $x_i$  = valor inicial de la variable,  $\bar{x}$  = media aritmética y  $\sigma$  = desviación estándar.

- d) Elección de medida de asociación. Se seleccionó la Distancia Euclídea, de tal forma que la distancia entre los datos que conformaron los grupos fuera la mínima. Esta medida es usada por la Técnica de Conglomerados Jerárquica (De la Fuente, 2011).
  
- e) Obtención de conglomerados. Para llevar a cabo este método jerárquico se empleó el software SPSS 13.0 y el resultado por grupos se representó mediante un dendograma, el cual es una representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación de conglomerados, donde los objetos cercanos se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud entre los objetos (De la Fuente, 2011).

### **2.1.2 Técnica de ponderación**

Para desarrollar la técnica de ponderación lineal, conocido como Score, se utilizaron las mismas variables del análisis de conglomerados: Población del municipio, Población de municipios colindantes, Densidad de población, Población en situación de pobreza, SC, TCA, RESA dentro y fuera del municipio. A cada variable se le asignó una ponderación con valores enteros de uno a cinco según su importancia conforme en los objetivos del proyecto, de tal forma que: 1=muy poco importante, 2=poco importante, 3=importancia media, 4=algo importante, 5=muy importante (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Ponderación asignada a las variables

VARIABLE	PONDERACIÓN
Población dentro del municipio	4
Población de municipios colindantes	3
Densidad de población	2
Población en situación de pobreza	1
SCD	5
SCF	5
TCAD	5
TCAF	5
RESAD	5
RESAF	5

Posteriormente, se evaluaron los municipios (alternativas) conforme a las variables de decisión; para ello fueron divididas en intervalos y a cada intervalo se le asignó un valor entero del uno al nueve para evaluar el grado de satisfacción de los municipios, donde: 1=extra bajo, 2=muy bajo, 3=bajo, 4=poco bajo, 5=medio, 6=poco alto, 7=alto, 8=muy alto, 9=extra alto (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Valor asignado a las variables de decisión para evaluar el grado de satisfacción de los municipios

CRITERIO	INTERVALO O VALOR ÚNICO	GRADO DE SATISFACCIÓN DE LA VARIABLE
Población del municipio	3872 - 12472	6
	12472 - 35711	7
	35711 - 164144	8
Población de municipios colindantes	89307 - 178785	4
	178785 - 306584	5
	306584 - 575361	6
Densidad de población	9.53 – 53.41	3
	53.41 – 163.12	4
	163.12 – 302.52	5

Tabla 2.3 Valor asignado a las variables de decisión para evaluar el grado de satisfacción de los municipios (Continuación)

CRITERIO	INTERVALO O VALOR ÚNICO	GRADO DE SATISFACCIÓN DE LA VARIABLE
SCD	0	8
	1	9
SCF	0 – 2	7
	2 – 4	8
TCAD	0	7
	1	8
	2	9
TCAF	0	6
	1	7
	2 - 7	8
RESAD	0	9
RESAF	0	9
	1	8
	2	7

Finalmente, se calculó la ponderación de los municipios utilizando la ecuación 2.2 y se seleccionaron los tres municipios con mayor ponderación de cada conglomerado.

$$S_j = \sum w_i r_{ij} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:  $S_j$  = Ponderación para el municipio j,  $w_i$  = Ponderación para cada variable i y  $r_{ij}$  = Grado de satisfacción para el municipio j en función de la variable i (Hurtado & Bruno, 2005).

Gracias al método Análisis de ponderación se seleccionaron los municipios con mayor puntaje, los cuales fueron los representativos de cada conglomerado para estudiar su MIRSU.

## **2.2 ANÁLISIS DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Esta etapa se subdivide en la recopilación de información documental y de campo, con lo que se realizó el cálculo de indicadores de desempeño (ID), como herramienta de evaluación de la información recopilada de los municipios seleccionados. Las actividades realizadas se describen a continuación:

- a) Recopilación de información documental. La información se recabó consultando los Bandos Municipales (BM) e información estadística de los municipios seleccionados del área de estudio (SEMARNAT, 2014; INEGI, 2014; INEGI, 2015b; INEGI, 2016).
  
- b) Recopilación de información de campo. Para recabar esta información de los municipios seleccionados, se aplicó a éstos una Cédula de Entrevista (CE) (Anexo A), la cual fue elaborada y aplicada por personal de la línea de investigación de “Tratamiento de Contaminantes y Gestión Ambiental” del Instituto Tecnológico de Toluca, de acuerdo con la “Guía para la Elaboración de Programas Municipales para la Prevención y GIRSU (PMPGIRSU)” (SEMARNAT & GTZ, 2006). Se describen a continuación las secciones que conforman la CE:
  - Introducción: Consta del instructivo de llenado de la CE, el listado de siglas y el glosario de términos utilizados.
  
  - Información general: Se solicita información del municipio como el número de localidades que lo conforman, el número de habitantes, su organigrama, etc.,

además de información transversal y económica del MIRSU, las etapas que lo componen y si se encuentran o no concesionadas.

- Etapas del MIRSU: Se estableció una sección para cada etapa del MIRSU (Recolección, Barrido, Transferencia y transporte, Tratamiento y Disposición), donde deben colocarse datos sobre la operación de cada etapa, la cantidad de RSU manejados, información económica, de los vehículos o maquinaria utilizados y del personal que realiza dichas actividades.

c) Estimación de indicadores de desempeño. Para esta actividad se utilizaron algunos ID para el monitoreo de Programas Municipales para la Prevención y GRSU propuestos por SEMARNAT & GTZ (2006) (Anexo B), los cuales están establecidos para cada etapa del MIRSU, con el fin ayudar a verificar la calidad de los servicios prestados.

### **2.3 SELECCIÓN DE ÁREAS PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO SUSTENTABLE**

Con el fin tener elementos para cumplir con lo indicado en la NOM-083-SEMARNAT-2003 sobre la ubicación de un RESA, se recopiló información cartográfica de distintas fuentes como: Mapa Digital de México (INEGI, 2017), Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas (CONAGUA, 2017), así como de Áreas naturales protegidas (CONANP, 2017). Entre los mapas recopilados destacan los de Topografía, Cuerpos de Agua, Comunidades, Zonas Protegidas, Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, Vulnerabilidad del Acuífero, Tipos de Suelo, Fallas Geológicas, Uso de Suelo y Vegetación, Zonas de Inundación, y Vías de Comunicación. Los mapas fueron analizados empleando las herramientas de análisis del Sistema de Información Geográfica ArcMap 10.4.1; siguiendo los pasos indicados en el diagrama de flujo de la figura 2.3 que se describen a continuación (Marín *et al.*, 2012):

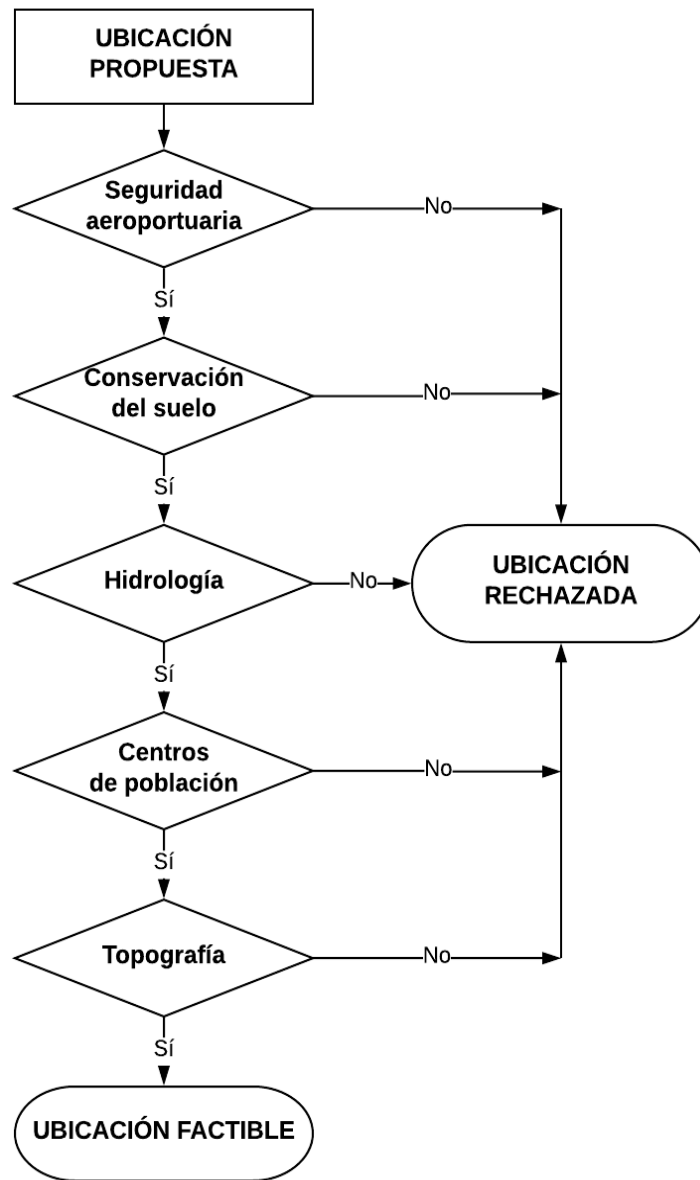


Figura 2.3 Diagrama de flujo para seleccionar ubicación del RESA Sustentable

Donde:

- a) Seguridad aeroportuaria. Algunos organismos han determinado que un RESA debe ubicarse por lo menos a 3 km de aeropuertos que sirven a aviones con motor de turbina y a 1.5 km con motor de pistón (Sharma, 1994, Jaramillo, 2002) y la normatividad mexicana establece que cuando un SDF se pretenda

ubicar a una distancia menor de 13 kilómetros del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario (DOF, 2004); por lo tanto para realizar el geoprocesamiento se consideraron como áreas Inaceptables las ubicadas entre 0 y 3 km de distancia de aeropuertos y aeródromos; Aceptables de 3 a 5 km; Adecuadas de 5 a 7 km; Muy adecuadas de 7 a 10 km y Óptimas las mayores a 10 km.

- b) Conservación del suelo. La NOM-083-SEMARNAT-2003 indica que deben evitarse áreas naturales protegidas para ubicar un RESA (DOF, 2004); por lo tanto se establecieron como áreas Inaceptables las ubicadas a una distancia de 0 a 0.5 km; Aceptables de 0.5 a 1 km; Adecuadas de 1 a 2 km; Muy adecuadas de 2 a 3 km y Óptimas aquellas establecidas a una distancias mayor de 3 km.
- c) Hidrología. Distancia mínima de un RESA respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas debe ser de 500 m respecto (DOF, 2004). Para realizar el geoprocesamiento se establecieron las zonas Inaceptables (0 – 0.5 km); Aceptables (0.5 – 1 km); Adecuadas (1 – 1.5 km); Muy adecuadas (1.5 – 2 km) y Óptimas (mayor a 2 km) a partir de ríos y lagos.
- d) Centros de población. Los RESAS deben ubicarse a una distancia mínima de 0.5 km del límite de la traza urbana en localidades mayores de 2500 habitantes (DOF, 2004); por lo que las zonas ubicadas de 0 a 0.5 km de alguna localidad se consideraron Inaceptables; las ubicadas a distancias de 0.5 a 1 km se consideraron Adecuadas; de 1 a 2 km fueron óptimas, de 2 a 5 km fueron muy Adecuadas y las ubicadas a una distancia mayor de 5 km fueron Aceptables.
- e) Topografía del sitio. Para evaluar esta restricción se consideró que los RESA no pueden ubicarse en terrenos cuya pendiente sea mayor a 30% (DOF, 2004). De tal forma que las zonas Inaceptables fueron aquéllas con pendientes mayores a



30%, las zonas Aceptables poseen pendientes de 20 a 30%, las Adecuadas de 10 a 20%, las Muy adecuadas de 5 a 10% y las Óptimas de 0 a 5%.

Una vez que se obtuvieron las ubicaciones Óptimas para el RESA sustentable, se compararon con las ubicaciones de los SDF que actualmente tienen los municipios, para determinar si su ubicación cumplía con la NOM-083-SEMARNAT-2003 y evaluar la factibilidad para ubicar en ellos un RESA sustentable intermunicipal con el fin optimizar su operación.

Finalmente, puesto que las zonas Óptimas para la ubicación del RESA son aquéllas que se localizan de 1 a 2 km de centros de población, se determinaron los municipios que cuentan con este tipo de zonas cerca de sus cabeceras municipales y se midieron las distancias de éstas a las cabeceras de municipios aledaños, de tal forma que si la distancia entre ambas era menor a 100 km, sería posible proponer una administración intermunicipal del RESA entre ellos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestran los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la metodología.

#### 3.1 SELECCIÓN DE MUNICIPIOS A ESTUDIAR

Los resultados de las etapas que comprenden la selección de municipios a estudiar se muestran a continuación.

##### 3.1.1 Análisis de conglomerados

La primera etapa del análisis de conglomerados consistió en descartar de la información recopilada las variables con correlación alta, para ello se calculó el factor de correlación de Pearson  $R^2$  (Anexo C). Las Variables poblacionales, económicas y de RSU seleccionadas se muestran en la tabla 3.1 y 3.2.

Tabla 3.1 Variables Poblacionales y Económicas seleccionadas

NOMBRE MUNICIPIO	PTM (hab)	PTMC (hab)	DP (hab/km <sup>2</sup> )	PSP (%)
Donato Guerra	34000	313948	172.79	80.7
Ixtapan del Oro	6791	282333	66.43	82.06
El Oro	37343	519689	249.66	66.67
Otzoloapan	3872	116186	30.89	72.87
Santo Tomás	9682	89307	87.44	54.35
Temascalcingo	63721	364795	172.52	73.5
Villa de Allende	52641	421303	154.37	74.39
Luvianos	27860	134668	39.42	81.91
San José del Rincón	93878	575361	186.62	83.62
Angangueo	11120	140666	139.72	57.95
Contepec	34193	234009	86.33	74.54
Ocampo	24424	299731	154.05	74.37
Senguio	19146	261882	71.49	63.32

Tabla 3.1 Variables Poblacionales y Económicas seleccionadas (Continuación)

NOMBRE MUNICIPIO	PTM (hab)	PTMC (hab)	DP (hab/km <sup>2</sup> )	PSP (%)
Susupuato	8804	214259	32.38	86.60
Tiquicheo de Nicolás Romero	13731	107665	9.53	79.95
Tlalpujahuá	27788	273095	144.37	58.8
Tuzantla	15383	217915	15.97	79.2
Zitácuaro	164144	283844	302.52	57.97

PTM: Población Total por Municipio, PMC: Población Total Municipios Colindantes, DP: Densidad Poblacional, PSP: Población en Situación de Pobreza.

Tabla 3.2 Variables de RSU seleccionadas

NOMBRE MUNICIPIO	SCD	SCF	TCAD	TCAF	RESAD	RESAF
Donato Guerra	0	0	0	2	0	0
Ixtapan del Oro	0	0	1	2	0	0
El Oro	0	1	1	1	0	0
Otzoloapan	0	0	2	2	0	0
Santo Tomás	0	0	0	4	0	0
Temascalcingo	0	4	0	2	0	2
Villa de Allende	0	0	1	0	0	0
Luvianos	0	0	1	7	0	0
San José del Rincón	0	1	1	0	0	0
Angangueo	0	0	1	1	0	0
Contepec	0	1	0	1	0	0
Ocampo	0	0	0	1	0	0
Senguio	0	0	0	2	0	0
Susupuato	0	0	1	2	0	0
Tiquicheo de Nicolás Romero	0	0	1	0	0	0
Tlalpujahuá	1	0	0	2	0	0
Tuzantla	0	0	1	3	0	0
Zitácuaro	0	0	0	1	0	0

SCD: Sitios Controlados Dentro del municipio, SCF: Sitios Controlados Fuera del municipio, TCAD: Tiraderos a Cielo Abierto Dentro del municipio, TCAF: Tiraderos a Cielo Abierto Fuera del Municipio, RESAD: Rellenos Sanitarios Dentro del municipio, RESAF: Rellenos Sanitarios Fuera del municipio.

Posteriormente se realizaron cálculos estadísticos descriptivos de dichas variables (Anexo C) para determinar los casos atípicos, los cuales corresponden a variables con datos extremos, es decir, muy dispersos de la media (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Variables con valores extremos

MUNICIPIO	VARIABLE	VALOR
Zitácuaro	Población dentro del municipio (PDM)	164144
Tlalpujahuá	Sitios controlados dentro del municipio	1
Temascalcingo	Sitios controlados fuera del municipio	4

Del análisis de conglomerados se obtuvo el dendograma de la figura 3.1, en el que se muestra un conglomerado conformado por los municipios de Ixtapan del Oro, Susupuato, Tuzantla, Tiquicheo de Nicolás Romero, Otzoloapan, Donato Guerra, Ocampo, Contepec, Senguio, Santo Tomás, El Oro, Villa de Allende, San José del Rincón, Angangueo y Luvianos; lo que indica que estos municipios son similares respecto a las variables consideradas en el análisis. El dendograma también indica que los municipios de Zitácuaro, Tlalpujahuá y Temascalcingo no forman parte de algún conglomerado, debido a que difieren de manera significativa en algunas de las variables utilizadas.

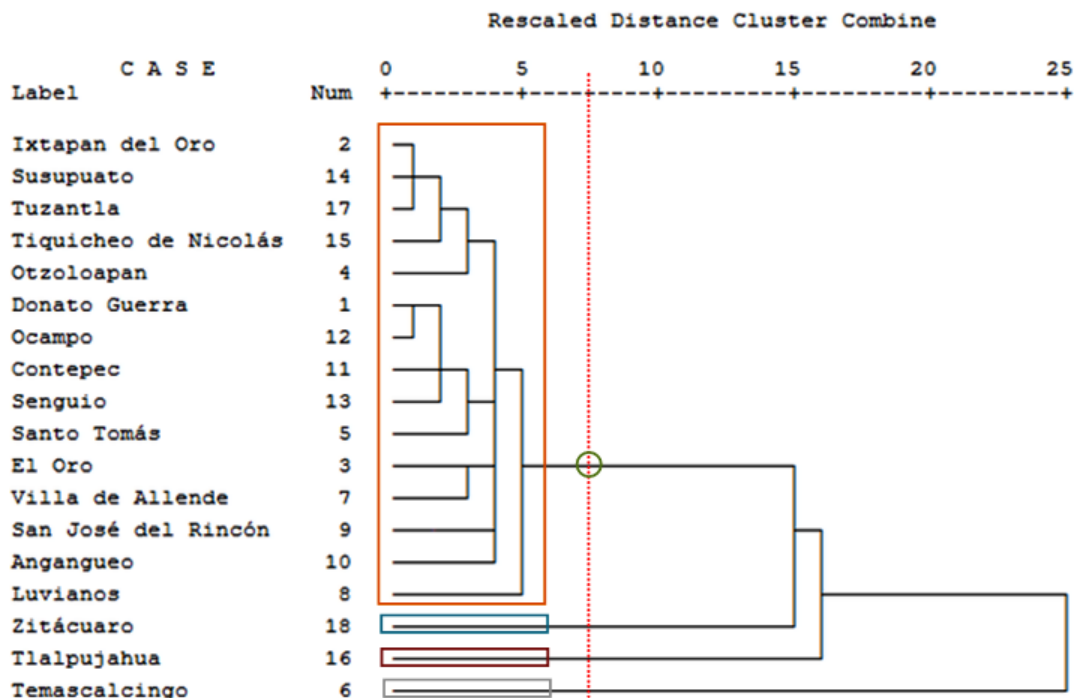


Figura 3.1 Dendograma del análisis de conglomerados

### 3.1.2 Técnica de ponderación

El análisis de ponderación se realizó considerando únicamente a los municipios que forman parte del conglomerado, debido a que se buscó estudiar aquellos representativos de la zona de estudio. En la tabla 3.4, se muestra la evaluación del grado de satisfacción de cada municipio en función de las variables de selección; empleando esta información, los datos reportados en la tabla 2.2 y la ecuación 2.2 se obtuvo la ponderación final de cada municipio para cada una de sus variables, así como su ponderación final (Tabla 3.5).

Tabla 3.4 Grado de satisfacción de cada municipio en función de las variables de selección

MUNICIPIO	PTM	PTMC	DP	PSP	SC D	SC F	TCA D	TCA F	RESA D	RESA F
Donato Guerra	7	6	5	4	8	7	7	8	9	9
Ixtapan del Oro	6	5	4	4	8	7	8	8	9	9
El Oro	8	6	5	3	8	8	8	7	9	9
Otzoloapan	6	4	3	3	8	7	9	8	9	9
Santo Tomás	6	4	4	2	8	7	7	8	9	9
Temascalcingo	8	6	5	3	8	8	7	8	9	7
Villa de Allende	8	6	4	3	8	7	8	6	9	9
Luvianos	7	4	3	4	8	7	8	8	9	9
San José del Rincón	8	6	5	4	8	8	8	6	9	9
Angangueo	6	4	4	2	8	7	8	7	9	9
Contepec	7	5	4	3	8	8	7	7	9	9
Ocampo	7	5	4	3	8	7	7	7	9	9
Senguio	7	5	4	2	8	7	7	8	9	9
Susupuato	6	5	3	4	8	7	8	8	9	9
Tiquicheo de Nicolás Romero	7	4	3	4	8	7	8	6	9	9

PM: Población del municipio, PMC: Población de municipios colindantes, DP: Densidad de población, PSP: Población en situación de pobreza, SCD: Sitios Controlados Dentro del municipio, SCF: Sitios Controlados Fuera del municipio, TCAD: Tiraderos a Cielo Abierto Dentro del municipio, TCAF: Tiraderos a Cielo Abierto Fuera del Municipio, RESAD: Rellenos Sanitarios Dentro del municipio, RESAF: Rellenos Sanitarios Fuera del municipio.

Tabla 3.5 Ponderación final de los municipios

MUNICIPIO	PM	PMC	DP	PSP	SCD	SCF	TCAD	TCAF	RESAD	RESAF	PONDERACIÓN
El Oro	32	18	10	3	40	40	40	35	45	45	308
San José del Rincón	32	18	10	4	40	40	40	30	45	45	304
Donato Guerra	28	18	10	4	40	35	35	40	45	45	300
Tuzantla	28	15	6	3	40	35	40	40	45	45	297
Ixtapan del Oro	24	15	8	4	40	35	40	40	45	45	296
Villa de Allende	32	18	8	3	40	35	40	30	45	45	296
Otzoloapan	24	12	6	3	40	35	45	40	45	45	295
Luvianos	28	12	6	4	40	35	40	40	45	45	295
Contepec	28	15	8	3	40	40	35	35	45	45	294
Susupuato	24	15	6	4	40	35	40	40	45	45	294
Senguio	28	15	8	2	40	35	35	40	45	45	293
Ocampo	28	15	8	3	40	35	35	35	45	45	289
Santo Tomás	24	12	8	2	40	35	35	40	45	45	286
Angangueo	24	12	8	2	40	35	40	35	45	45	286
Tiquicheo de Nicolás Romero	28	12	6	4	40	35	40	30	45	45	285

PM: Población del municipio, PMC: Población de municipios colindantes, DP: Densidad de población, PSP: Población en situación de pobreza, SCD: Sitios Controlados Dentro del municipio, SCF: Sitios Controlados Fuera del municipio, TCAD: Tiraderos a Cielo Abierto Dentro del municipio, TCAF: Tiraderos a Cielo Abierto Fuera del Municipio, RESAD: Rellenos Sanitarios Dentro del municipio, RESAF: Rellenos Sanitarios Fuera del municipio.

Finalmente, se seleccionaron los tres municipios con la ponderación más alta del conglomerado y donde sus autoridades mostraron mayor interés en colaborar en el proyecto, los cuales se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Municipios seleccionados

MUNICIPIO	SCORE
El Oro	308
San José del Rincón	304
Donato Guerra	300

### 3.2 ANÁLISIS DEL MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

En este apartado se muestra el análisis del MIRSU de los municipios seleccionados de acuerdo con la información documental y de campo, así como el cálculo e interpretación de algunos ID del MIRSU.

#### 3.2.1 Recopilación de información documental

Los BM de El Oro y San José del Rincón indican que los municipios cuentan con siete de las ocho etapas que integran el MIRSU, las cuales están establecidas en la LGPGIR, omitiendo la transferencia, mientras que el BM de Donato Guerra menciona que su MIRSU está compuesto por las ocho etapas (Tabla 3.7).

Tabla 3.7 Etapas del manejo integral de residuos sólidos urbanos respecto a bandos municipales

ETAPAS MIRSU ESTABLECIDAS EN LGPGIR	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Generación	Si	Si	Si
Barrido	Si	Si	Si
Recolección	Si	Si	Si
Recolección separada	Si	Si	Si
Transferencia	No	No	Si

Tabla 3.7 Etapas del manejo integral de residuos sólidos urbanos respecto a bandos municipales (Continuación)

ETAPAS MIRSU ESTABLECIDAS EN LGPGIR	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Transporte	Si	Si	Si
Tratamiento	Si	Si	Si
Disposición final	Si	Si	Si

En la tabla 3.8 se muestran los datos reportados en la bibliografía para calcular la generación per-cápita de RSU en el Estado de México, la cual fue utilizada para calcular la generación de RSU en cada uno de los municipios estudiados para el año 2014 (Tabla 3.9), el municipio con mayor generación fue San José del Rincón mientras que El Oro fue el municipio con una mayor recolección.

Tabla 3.8 Generación per-cápita del Estado de México

ESTADO DE MÉXICO	
Población (hab)	16,618,932
Generación (t/año)	7,067,293
Generación per-cápita (kg/hab.d)	1.17

Tabla 3.9 Generación y recopilación de residuos sólidos urbanos estimadas

	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Población (hab)	37,314	100,223	36,639
Generación (t/hab.d)	1.17	1.17	1.17
Generación (t/año)	15,868	42,620	15,581
Recolección (t/año)	6,935	4,380	2,737

### 3.2.2 Recopilación de información de campo

Con los datos obtenidos de la aplicación de la CE se determinaron las etapas del MIRSU con las que realmente cuentan los municipios, los tres municipios estudiados cuentan con Generación, Barrido, Recolección, Transporte y



Disposición Final, San José del Rincón y Donato Guerra realizan además con transferencia y ningún municipio cuenta con recolección separada y tratamiento de sus RSU (Tabla 3.10).

Tabla 3.10 Etapas del MIRSU respecto a cédula de entrevista

ETAPAS MIRSU ESTABLECIDAS EN LGPGIR	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Generación	Si	Si	Si
Barrido	Si	Si	Si
Recolección	Si	Si	Si
Recolección separada	No	No	No
Transferencia	No	Si	Si
Transporte	Si	Si	Si
Tratamiento	No	No	No
Disposición final	Si	Si	Si

a) Barrido: Según lo reportado por el personal del municipio, el barrido en todos los municipios es manual y es responsabilidad de los ayuntamientos; se realiza 6 o 7 días a la semana y en un turno. Donato Guerra es el municipio con la menor cantidad de empleados (6) y San José del Rincón posee la mayor cantidad (12), en todos los municipios los empleados son formales y Donato Guerra reportó que su grado máximo de estudios es educación básica y reciben un salario mensual de \$4,000.00 (Tabla 3.11).

Tabla 3.11 Características del barrido

	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Tipo de barrido	Manual	Manual	Manual
Responsable	Municipio	Municipio	Municipio
Días laborales	7	6	6
Turnos de barrido	1	1	NC
Horario de barrido	6:00 - 14:00	6:00 - 15:00	NC
Cantidad de empleados	11	12	6
Situación	Formal	Formal	Formal
Seguridad social	Si	Si	Si

NC: No contestado

Tabla 3.11 Características del barrido (Continuación)

	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Reciben capacitación	NC	No	No
Grado promedio de estudios	NC	NC	Educación Básica
Salario del personal (\$/mes)	NC	NC	4,000

NC: No contestado

b) Recolección. Como se muestra en la tabla 3.12, en El Oro y Donato Guerra la recolección la realiza el municipio en un 100% y en San José del Rincón el sector informal realiza el 80% y el municipio el 20% restante; los tres municipios únicamente poseen un turno de recolección y los tipos de recolección que emplean son puerta a puerta y acera, no tienen una cuota asignada por el servicio y tampoco recuperan valorizables. El municipio con la menor cantidad de empleados es Donato Guerra y el que cuenta con más es San José del Rincón, en todos los municipios los empleados son formales y cuentan con seguro y Donato Guerra reportó que reciben un salario mensual de \$5,000.00.

Tabla 3.12 Características de la recolección

	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Responsable	Municipio	20% Municipio 80% Sector Informal	Municipio
Rutas de recolección	NC	5	11
Turnos de recolección	1	1	1
Tipo de recolección	Puerta a Puerta Acera	Puerta a Puerta Acera	Puerta a Puerta
Cuota de recolección	No	No	NC
Recuperación de valorizables	No	No	NC
Cantidad de empleados	15	16	3
Situación	Formal	Formal	Formal
Seguridad social	Si	Si	Si
Reciben capacitación	NC	NC	No
Salario del personal (\$/mes)	NC	NC	5000

NC: No contestado

En la tabla 3.13 se muestran los vehículos recolectores y la capacidad de recolección total expresada en toneladas. Donato Guerra posee la mayor capacidad de recolección y El Oro la menor.

Tabla 3.13 Vehículos recolectores

	CANTIDAD Y TIPO	CAPACIDAD DEL VEHÍCULO (t)	CAPACIDAD TOTAL (t)
El Oro	1 Compactador	6	6
San José del Rincón	3 Minicompactadores	3.5	20.5
	2 Volteos	5	
Donato Guerra	2 Compactadores	6	25.8
	3 Volteo	4.6	

c) Transferencia. Las características de las Plantas de transferencia (PT) de San José del Rincón (Figura 3.2) y Donato Guerra (Figuras 3.3), la información sobre los vehículos empleados para realizar la transferencia y de los empleados que laboran en ellas se muestran en la tabla 3.14, en ésta puede apreciarse que la PT de San José del Rincón tiene una superficie y una capacidad de transferencia mayor que la de Donato Guerra.



Figura 3.2 Estación de transferencia de San José del Rincón



Figura 3.3 Estación de transferencia de Donato Guerra

Tabla 3.14 Características de la transferencia

	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Cantidad de RSU transferida (t/semana)	52	10
Tipo de ET	Carga directa	Carga indirecta
Costo de la transferencia (\$/t)	227.76	800
Propiedad	Municipio	Municipio
Área (m <sup>2</sup> )	5,000	20
Cantidad y tipo de vehículo	1 Tractocamión	1 Torton
Capacidad (t)	40	5
Propietario del vehículo	Municipio	Particular (Lo renta el municipio)
Cantidad de empleados	2	1
Situación	Formal	NC
Seguridad social	Si	NC
Reciben capacitación	Si	NC
Salario del personal (\$/mes)	5,000	NC

NC: No contestado

d) Disposición final. El Oro realiza la disposición final de RSU en el RESA de Atlacomulco, mientras que San José del Rincón y Donato Guerra los transfieren al RESA de Zinacantepec, Estado de México. En la tabla 3.15 se muestran las características de cada RESA.

Tabla 3.15 Características de la disposición final

	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Cantidad de RSU dispuesto (t/d)	1	7	1
Lugar de disposición	RESA de Atlacomulco	RESA de Zinacantepec	
Responsable	Municipio de Atlacomulco	Municipio de Zinacantepec	
Clasificación del SDF	A	A	
Antigüedad del SDF (Años)	NC	28	
Vida útil estimada (Años)	NC	38	
Tipo de operación	Mecánica	Mecánica	
Frecuencia de compactación	Diaria	Diaria	

NC: No contestado

### 3.2.3 Estimación de indicadores de desempeño

Con la información recopilada se estimaron dos indicadores de El Oro, 32 de San José del Rincón y 14 de Donato Guerra correspondientes al año 2017 de los 41 propuestos por SEMARNAT & GTZ (2006)

Los ID de la etapa de generación muestran que la porción de localidades servidas en los municipios estudiados y por lo tanto en el área de estudio es menor del 50%, mientras que la generación per-cápita fue 1.17 kg/hab.d (Tabla 3.16)

Tabla 3.16 Indicadores de desempeño de información general

INDICADOR	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Porción de localidades servidas (%)	SD	20	45
Generación per-cápita de RSU (kg/hab.d)	1.18	1.18	1.18

SD: Sin Datos

Respecto a los indicadores de Barrido (Tabla 3.17), únicamente fue posible calcular dos ID para San José del Rincón, correspondientes a la Eficiencia del personal en barrido de vías por día y la Eficiencia del personal en barrido de plazas por día; mientras que para Donato Guerra se calculó únicamente el costo por empleado de barrido manual por día.

Tabla 3.17 Indicadores de desempeño de barrido

INDICADOR	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Eficiencia del personal en barrido de vías por día (km/empleado.d)	SD	3.85	SD
Eficiencia del personal en barrido de plazas por día (m <sup>2</sup> /empleado.d)	SD	615.38	SD
Costo por empleado de barrido manual por día (\$/empleado.d)	SD	SD	131.51

SD: Sin Datos

Los ID de recolección (Tabla 3.18) muestran que el Porcentaje de recolección en relación con las comunidades servidas es menor a 50% y en cuanto a la capacidad de los vehículos, El Oro cuenta con la menor capacidad total de las cajas de recolección y Donato Guerra mayor.

Tabla 3.18 Indicadores de desempeño de recolección

INDICADOR	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Cobertura en relación con la generación (%)	SD	4	SD
Cobertura en relación con las comunidades servidas (%)	SD	20	45
Capacidad total de las cajas de recolección (t)	6	20.50	25.8
Capacidad real total de las cajas de recolección (t/d)	SD	5.52	1.5
Eficiencia del personal de recolección (t/empleado)	SD	0.22	SD
Eficiencia del equipo de recolección (%)	SD	27	SD
Costo diario de recolección(\$/d)	SD	9,336.99	SD
Costo diario de mantenimiento (\$/d)	SD	131.51	SD
Fracción del costo destinada a mantenimiento (%)	SD	1	SD
Costo por tonelada recolectada (\$/t)	SD	1,690.48	SD
Costo por kilómetro recorrido (\$/km)	SD	74.70	SD
Costo por vehículo recolector (\$/vehículo)	SD	1,867.40	SD

SD: Sin Datos

Los indicadores de Transferencia (Tabla 3.19) muestran una baja Cobertura del servicio respecto a la Generación para San José del Rincón y Donato Guerra y la cobertura respecto a la recolección es del 100%. Puesto que Donato Guerra renta el vehículo para la Transferencia de RSU, los indicadores de Costo por caja de transferencia y Costo por kilómetro recorrido no aplican.

Tabla 3.19 Indicadores de Desempeño de transferencia

INDICADOR	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Cobertura en relación con la generación (%)	4	3
Cobertura en relación con la recolección (%)	100	100
Capacidad real total de las cajas de transferencia (t/d)	5.5	1.5
Eficiencia del personal de transferencia (t/empleador)	1.84	SD
Costo diario de transferencia (\$/d)	2,084.74	SD
Costo diario del mantenimiento (\$/d)	164.38	SD
Fracción del costo destinado a mantenimiento (%)	8	SD
Costo por tonelada transferida (\$/ton)	377.4	SD
Costo por caja de transferencia (\$/caja)	2084.74	NA
Costo por kilómetro recorrido (\$/Km)	24.32	NA

SD: Sin Datos, NA: No Aplica

En la tabla 3.20 se presentan los indicadores de la disposición final de RSU, el porcentaje de cobertura respecto a la generación es de 4% en San José del Rincón y 3% en Donato Guerra a 25% en Tlalpujahua; la cobertura respecto a la recolección y a la transferencia para San José del Rincón y Donato Guerra es del 100%

Tabla 3.20 Indicadores de desempeño de disposición

INDICADOR	EL ORO	SAN JOSÉ DEL RINCÓN	DONATO GUERRA
Cobertura en relación con la generación (%)	SD	4	3
Cobertura en relación con la recolección (%)	SD	100	100
Cobertura en relación con la transferencia (%)	NA	100	100
Costo diario de la disposición final (\$/d)	SD	1,257.98	341.64
Costo por tonelada ingresada (\$/ton)	SD	227.76	227.26

SD: Sin Datos, NA: No Aplica

### 3.3 SELECCIÓN DE ÁREAS PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO SUSTENTABLE

En este apartado se muestran los mapas obtenidos del geoprocesamiento en ArcMap una vez que se asignaron las ponderaciones para cada una de las variables que condicionaron la ubicación del RESA.

- a) Seguridad aeroportuaria. En el municipio de Zitácuaro se ubica un aeródromo y a partir de éste se determinaron las áreas Inaceptables, Aceptables, Adecuadas, Muy Adecuadas y Óptimas (Figura 3.4).

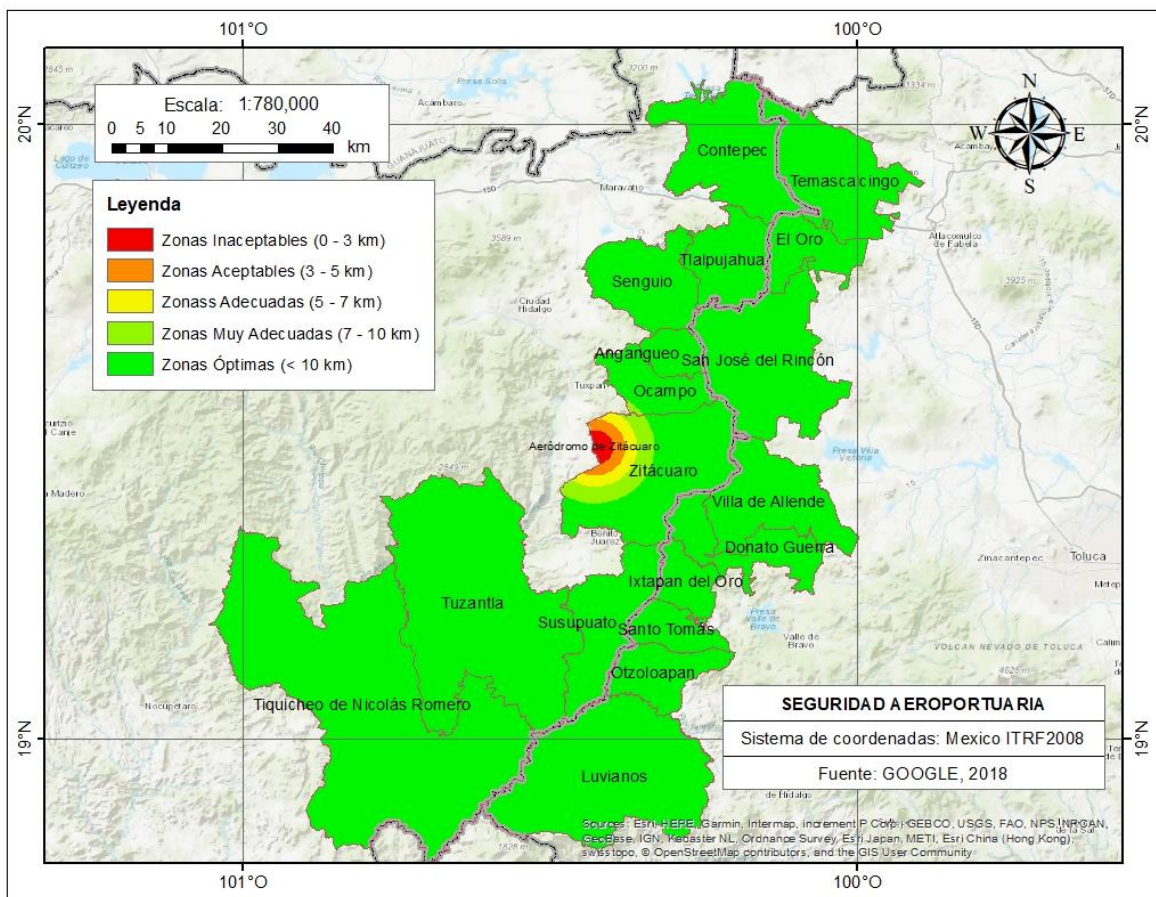


Figura 3.4 Evaluación de ubicación de RESA respecto a seguridad aeroportuaria



b) Conservación del suelo. Los municipios de Angangueo, Villa de Allende, Donato Guerra e Ixtapan del Oro forman parte del área natural protegida “Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca” (CONANP, 2017), por lo tanto no son factibles para la ubicación de un RESA (Figura 3.5).

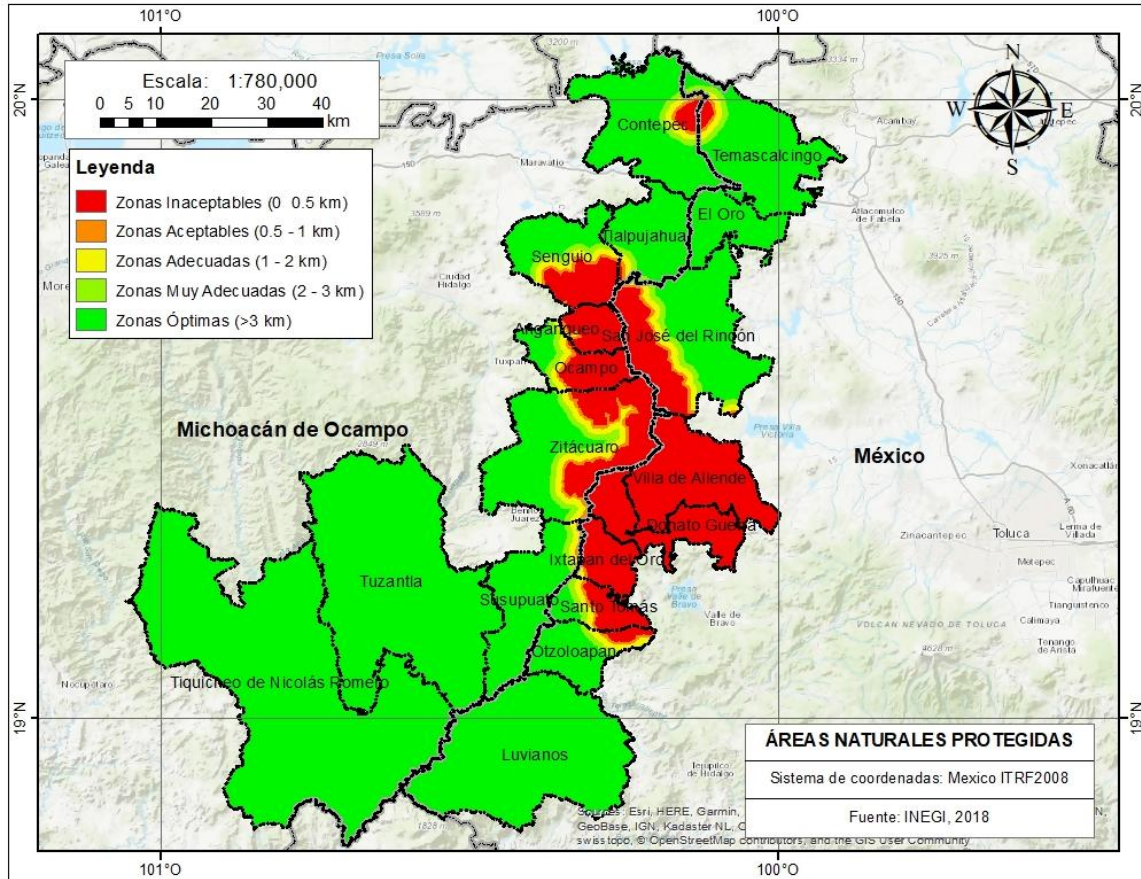


Figura 3.5 Evaluación de ubicación de RESA respecto a Áreas Naturales Protegidas

c) Hidrología. Como se muestra en la figura 3.6 los municipios de San José del Rincón y Senguio poseen una cantidad significativa de ríos por lo que tampoco sería recomendable establecer un RESA en éstos.

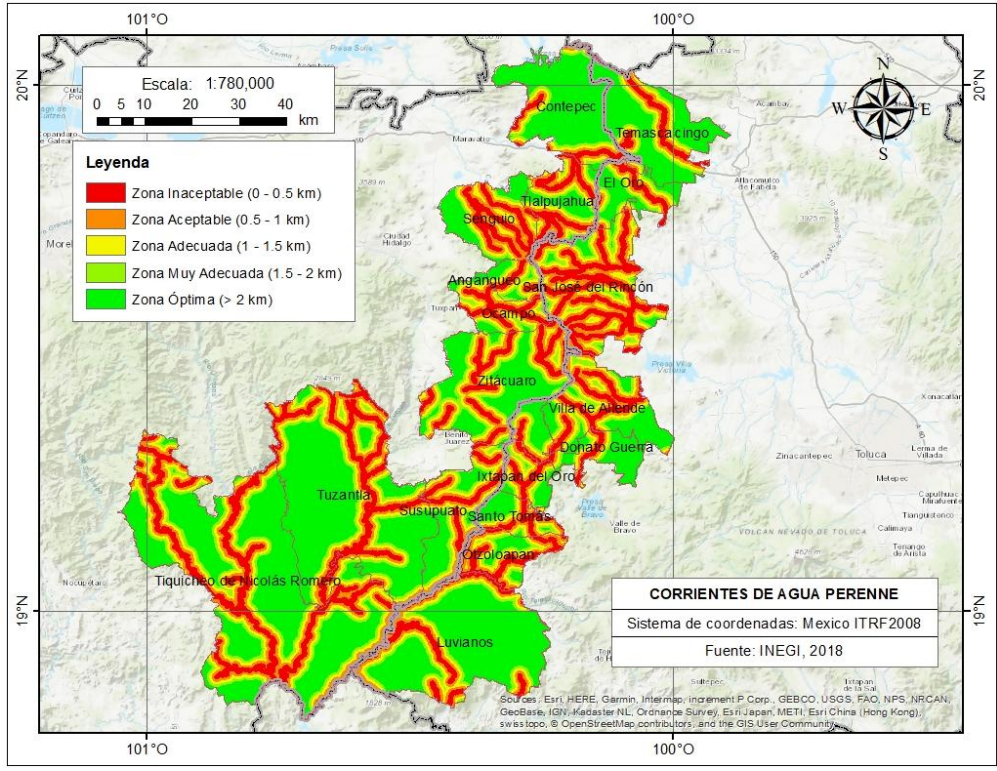


Figura 3.6 Evaluación de ubicación de RESA respecto a ríos

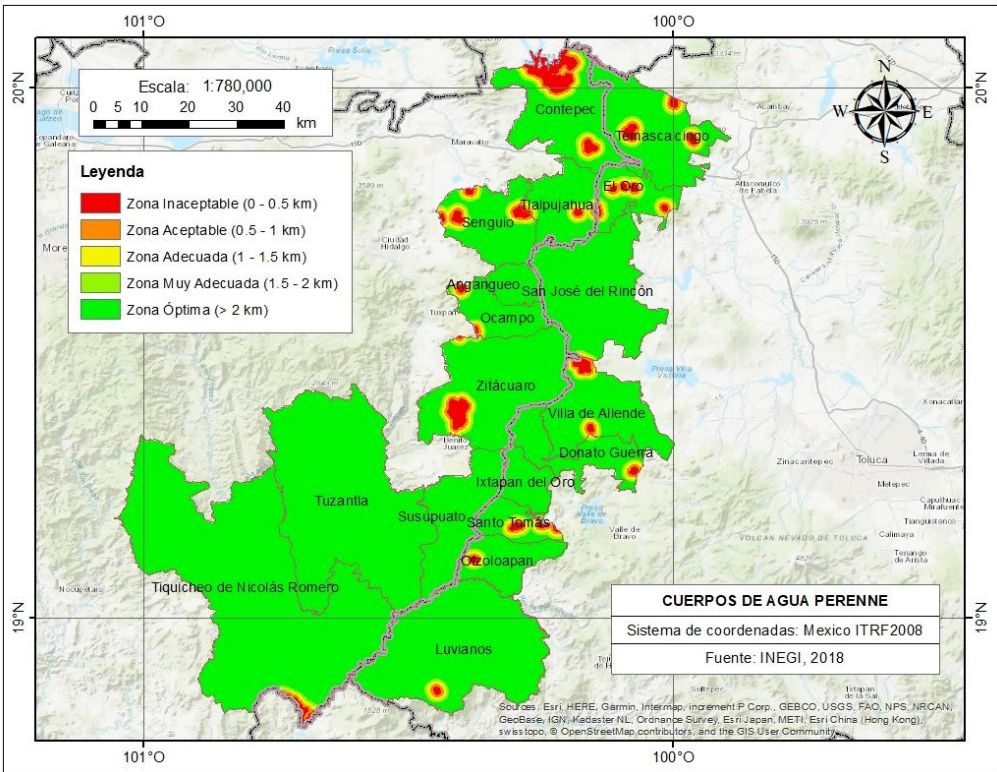


Figura 3.7 Evaluación de ubicación de RESA respecto a lagos

d) Centros de población. Como se muestra en la figura 3.8 los municipios de Tlalpujahua, El Oro, San José del Rincón, Villa de Allende y Donato Guerra cuentan con la mayor cantidad de zonas Inaceptables de acuerdo con esta restricción, sin embargo sería recomendable ubicar un RESA cerca de éstos para atender a una mayor cantidad de localidades (INEGI, 2018).

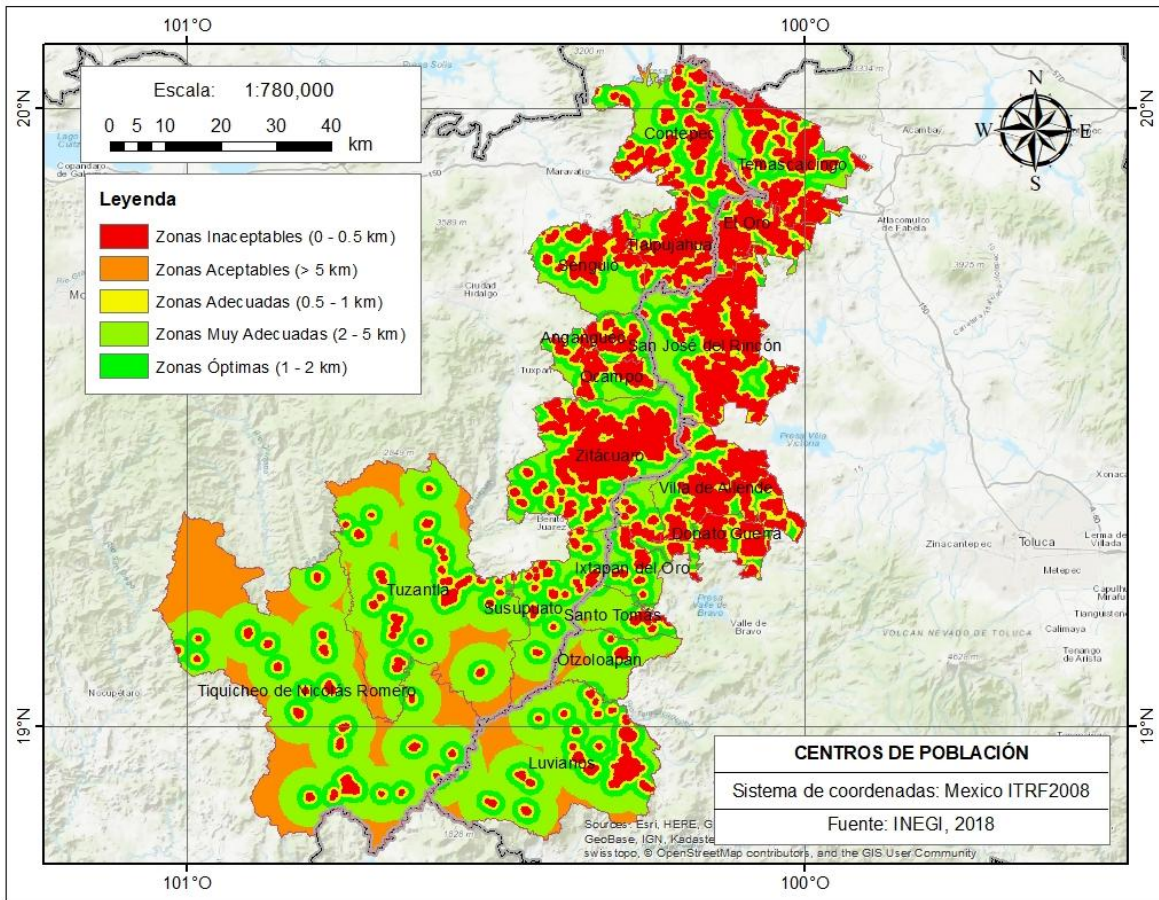


Figura 3.8 Evaluación de ubicación de RESA respecto a centros de población

e) Topografía del sitio. Como se muestra en la figura 3.9, en el área de estudio existe una cantidad significativa de zonas con pendientes mayores a 30%, debido a que la altitud de los municipios que la integran va de 500 a 3,700 m y forman parte del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur (INEGI, 2018)

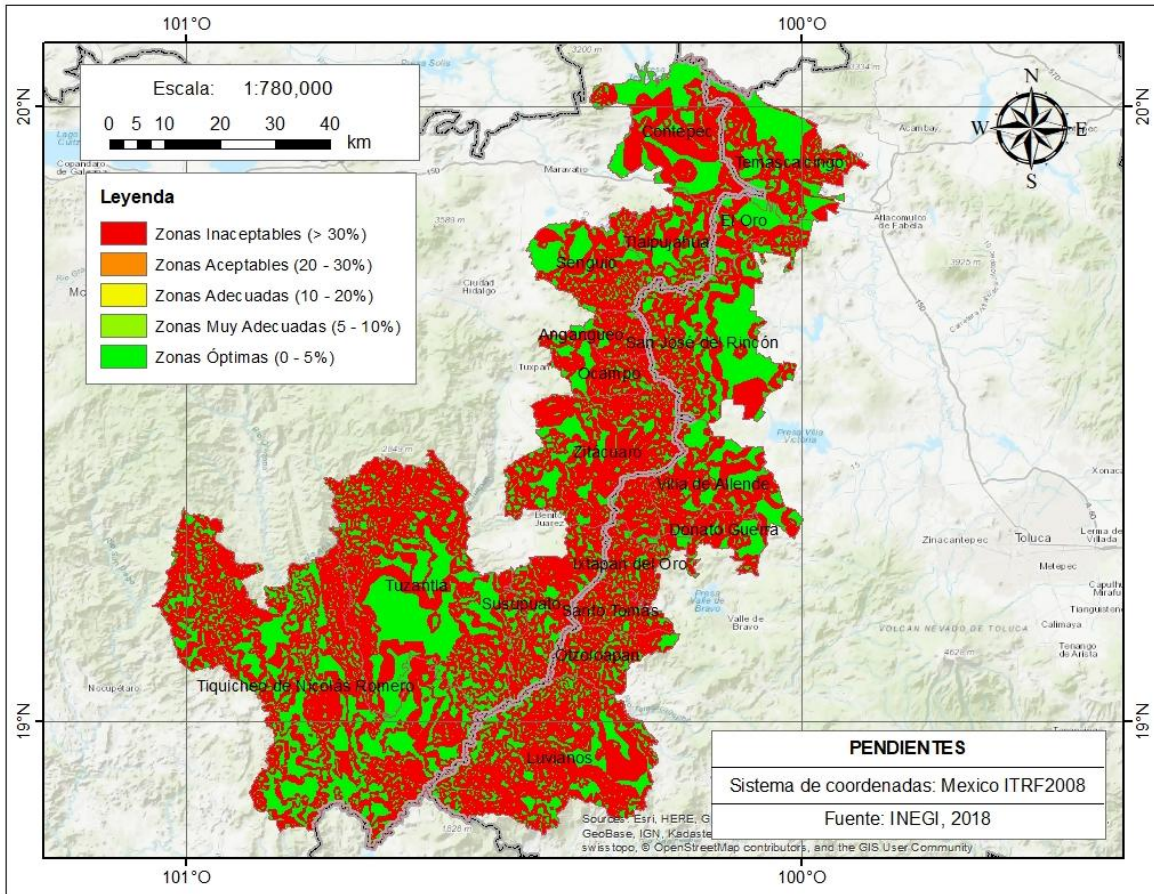


Figura 3.9 Evaluación de ubicación de RESA respecto a la topografía

Considerando las restricciones de Seguridad aeroportuaria, Conservación del suelo, Hidrología, Centros de población y Topografía, los municipios que cuentan con zonas Óptimas para ubicar un RESA son: Temascalcingo, Contepec, El Oro, Tlalpujahua, San José del Rincón, Senguio, Ocampo, Zitácuaro, Susupuato, Ixtapan del Oro, Santo Tomás, Oztoloapan, Tuzantla, Luvianos y Tiquicheo (Figura 3.10).

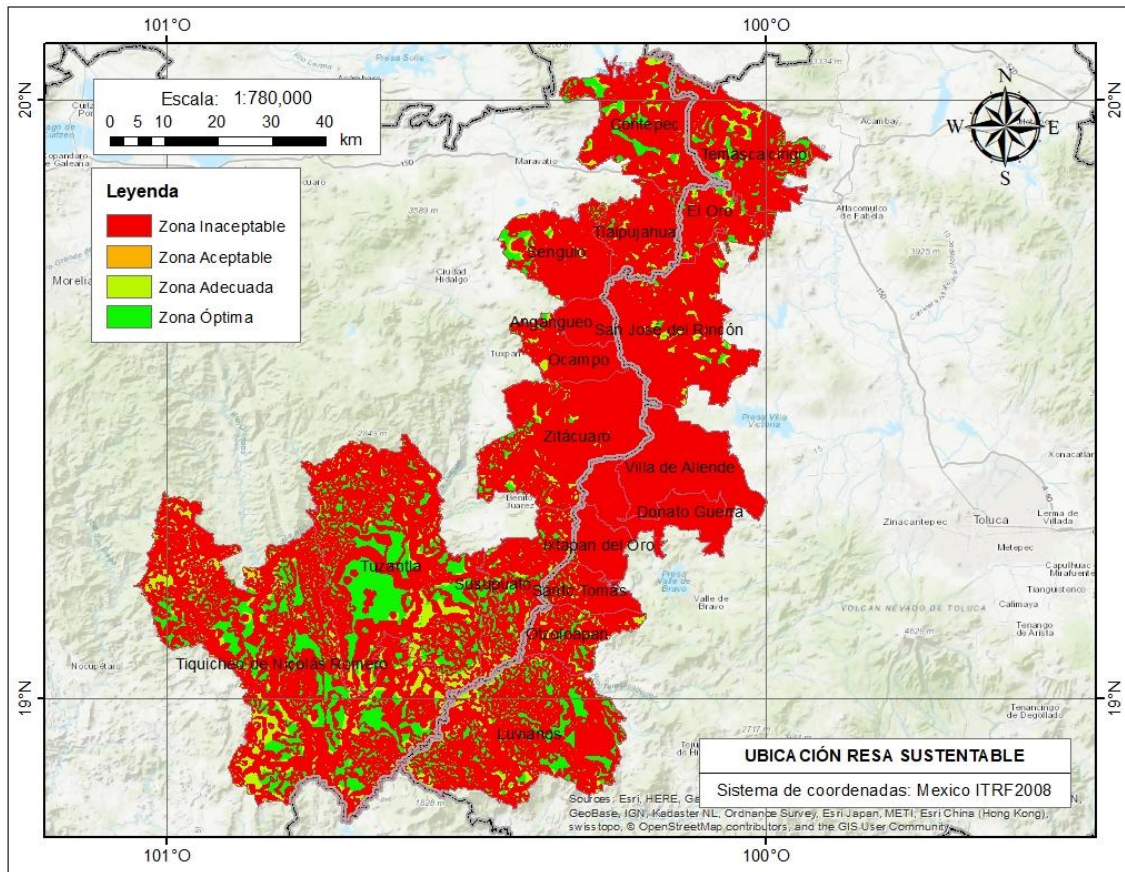


Figura 3.10 Ubicación de Rellenos Sanitarios Sustentables

Se compararon las zonas Óptimas obtenidas con las ubicaciones de los SDF con los que cuentan actualmente los municipios (Figuras 3.11 a 3.18) para evaluar si es adecuado continuar la disposición final en ellos. De acuerdo con este análisis se determinó que los SDF de El Oro, Tlalpujahua, Angangueo, Villa de Allende, Ixtapan del Oro, Oztolapan, Susupuato y Tuzantla no poseen una ubicación Óptima o Adecuada, por lo tanto no es factible utilizarlos para construir un RESA sustentable intermunicipal. Por otra parte, los SDF de Zitácuaro, Tiquicheo y Luvianos están ubicados en zonas Óptimas por lo que pueden proponerse como ubicaciones factibles de un RESA sustentable con uso intermunicipal, sin embargo deben realizarse más estudios en los mismos para garantizar que el impacto ambiental en el área sea el mínimo posible y cumplan al 100% con la NOM-083-SEMARNAT-2003.

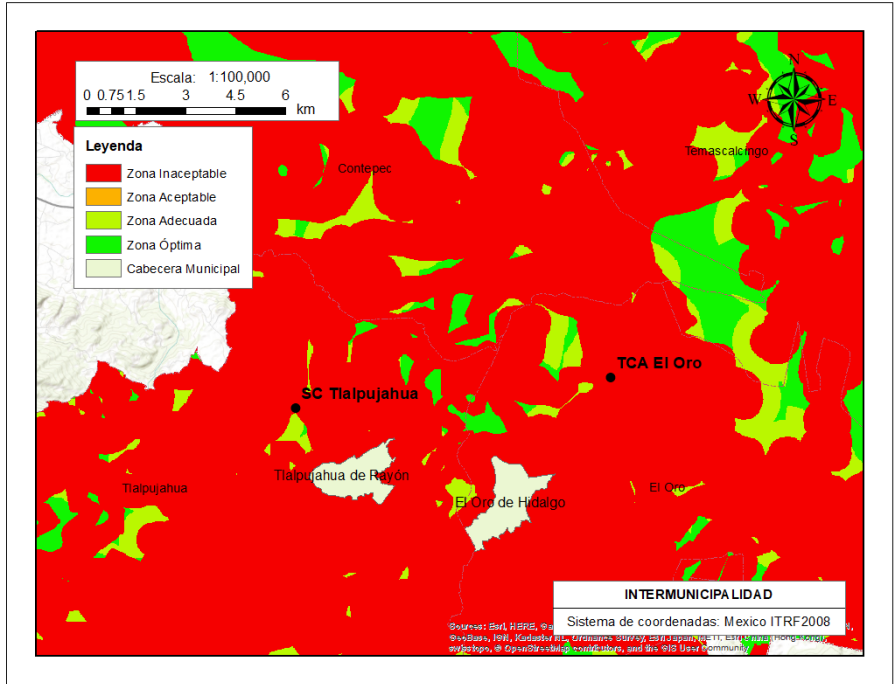


Figura 3.11 Comparación del SC de Tlajpujahuah y el TCA de El Oro con las Zonas Óptimas

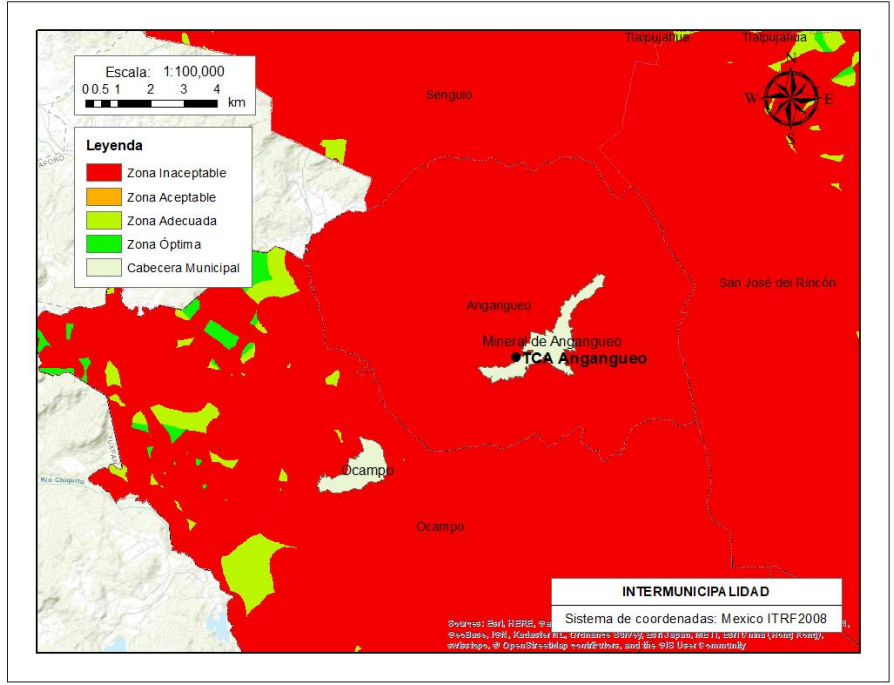


Figura 3.12 Comparación del TCA de Angangueo con las Zonas Óptimas

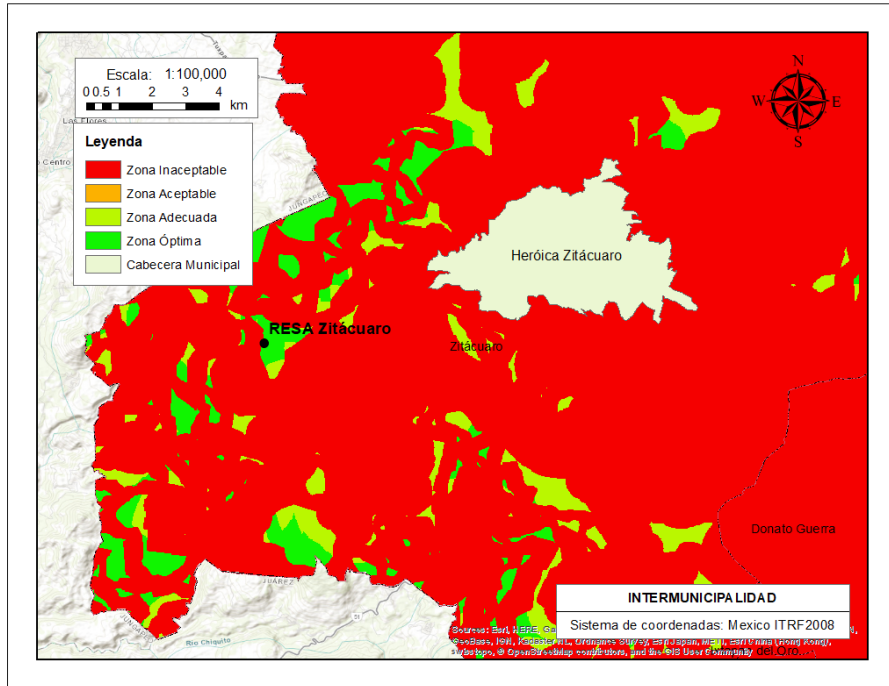


Figura 3.13 Comparación del RESA de Zitácuaro con las Zonas Óptimas

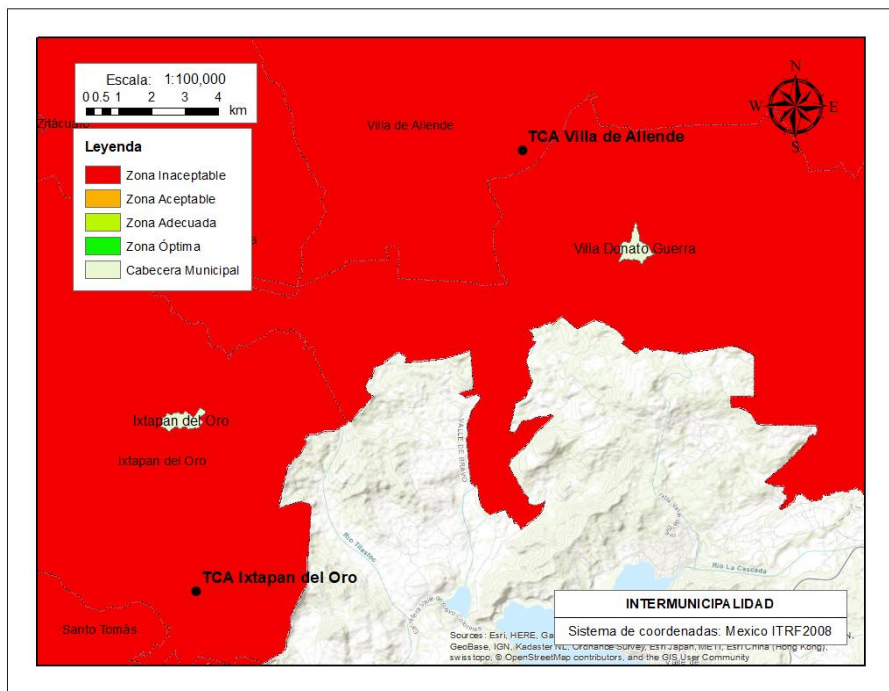


Figura 3.14 Comparación de los TCA de Ixtapan del Oro y Villa de Allende con las Zonas Óptimas

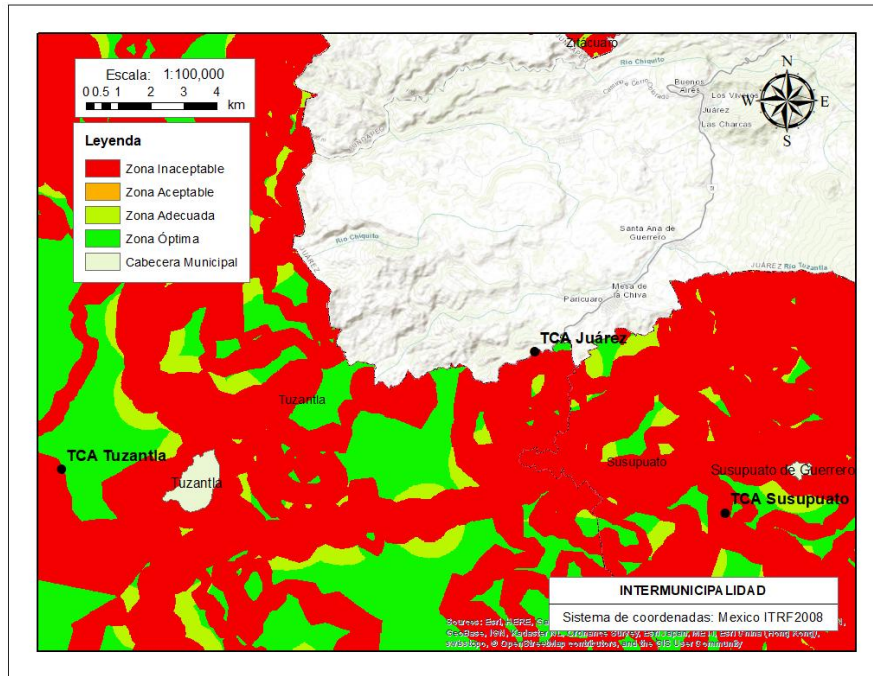


Figura 3.15 Comparación de los TCA de Tuzantla y Susupuato con las Zonas Óptimas

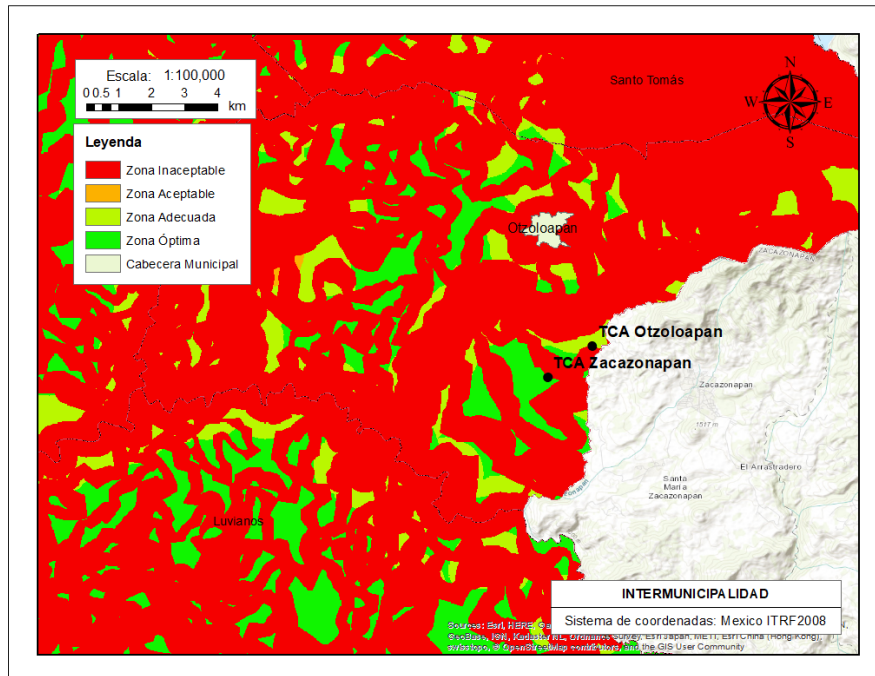


Figura 3.16 Comparación de los TCA de Otzoloapan con las Zonas Óptimas



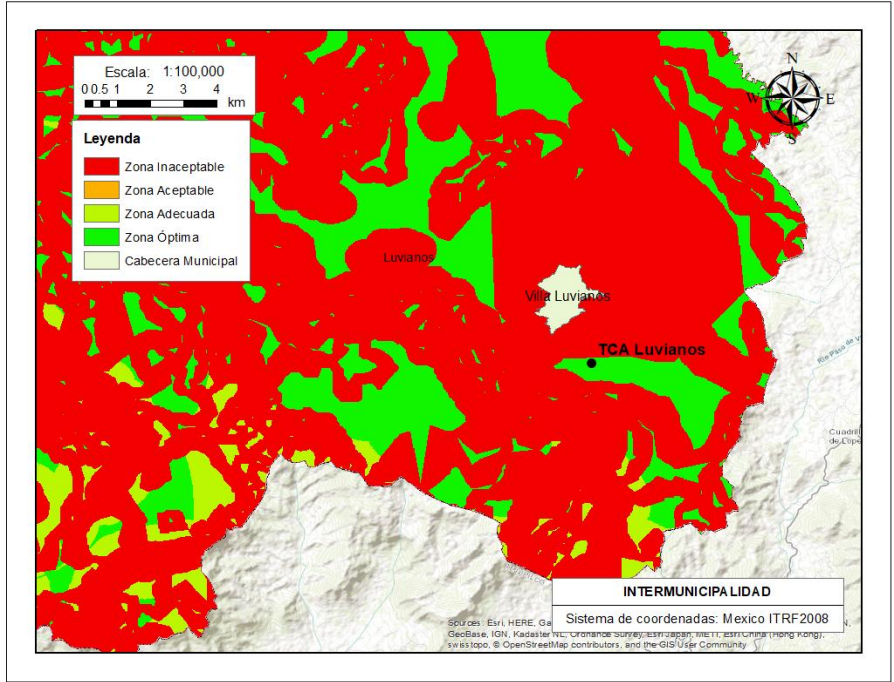


Figura 3.17 Comparación de los TCA de Luvianos con las Zonas Óptimas

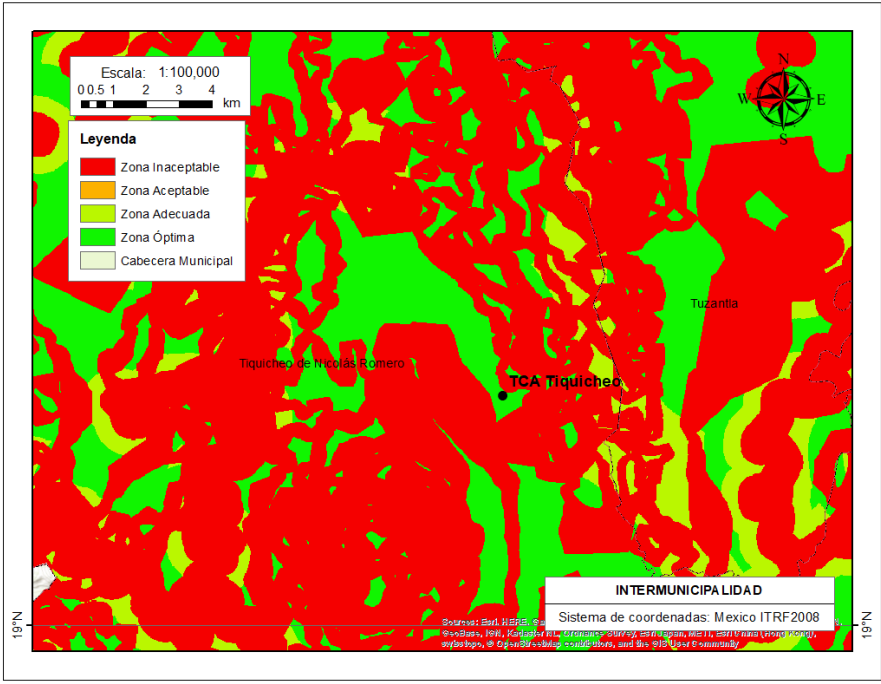


Figura 3.18 Comparación de los TCA de Tiquicheo con las Zonas Óptimas

Se propuso la ubicación de los Sitios de Disposición Intermunicipales Sustentables (SDIS) en los municipios de Tlalpujahua, Zitácuaro y Susupuato, puesto que poseen zonas Óptimas a distancias menores de 5 km de sus cabeceras municipales donde poseen mayor densidad de población (Figuras 3.19 a 3.21).

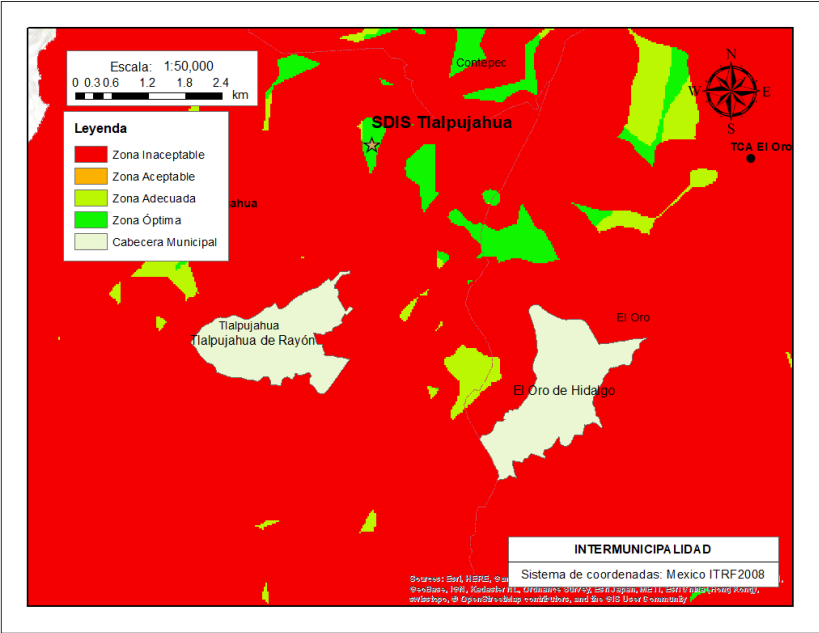


Figura 3.19 Sitio de Disposición Intermunicipal Sustentable de Tlalpujahua

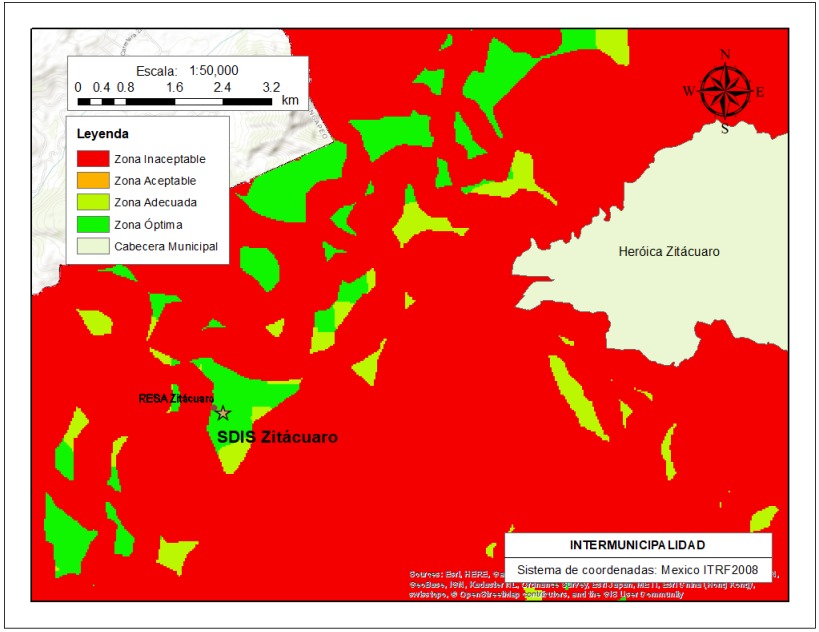


Figura 3.20 Sitio de Disposición Intermunicipal Sustentable de Zitácuaro

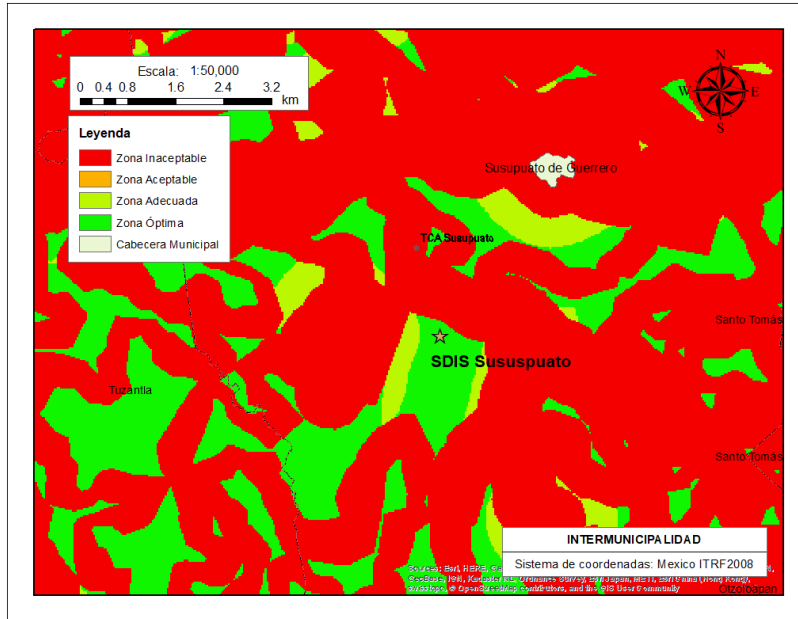


Figura 3.21 Sitio de Disposición Intermunicipal Sustentable de Susupuato

En la tabla 3.21 se muestran las distancias entre las cabeceras de cada municipio y el SDF que utilizan actualmente y se comparan con las distancias que se recorrerían de éstas a los RESA propuestos, además se incluyó la distancia entre las cabeceras de los municipios de los SDIS propuestos y las cabeceras de los municipios aledaños, de tal forma que si ésta era menor a 100 km se proponía intermunicipalidad. Con base en esta tabla, se puede determinar que la distancia que se recorrería para ir de las cabeceras municipales de Talpujahua, Contepec, El Oro y San José del Rincón al SDIS propuesto en Talpujahua sería menor que la que se recorre para llegar al SDF donde actualmente realizan la disposición final de sus RSU, mientras que la distancia que se recorrería de Senguio a éste sería 10 km mayor; con respecto a los municipios que dispondrían sus RSU en el SDIS propuesto en Zitácuaro, únicamente se recorrería una distancia menor de Ocampo y Donato Guerra y se evitaría continuar la disposición final en el SC de Villa de Allende; mientras que el principal beneficio del SDIS propuesto en Susupuato sería evitar la disposición final en los TCA de Susupuato, Otzoloapan, Luvianos, Tuzantla y Tiquicheo, además se recorrería una distancia menor para llegar al SDIS propuesto de Ixtapan del Oro que donde realiza actualmente la disposición final.

Tabla 3.21 Comparación de distancias entre SDF actuales y RESA intermunicipales propuestos para cada municipio

MUNICIPIO	SDF ACTUAL	DISTANCIA A SDF ACTUAL (km)	RESA PROPUESTO	DISTANCIA CABECERA A SDIS PROPUESTO (km)	DISTANCIA CABECERA A CABECERA (km)
Tlalpujahuá, Mich.	SC Tlalpujahuá	9.0	Tlalpujahuá	4.3	NA
Contepec, Mich.	RESA Cd. Hidalgo	70.4	Tlalpujahuá	18.5	20.8
Temascalcingo, EdoMéx.	ET	Ubicación no especificada	Tlalpujahuá	32.9	36.8
El oro, EdoMéx.	RESA Atlacomulco	30.1	Tlalpujahuá	11.7	8.4
Senguio, Mich.	RESA Cd. Hidalgo	26.6	Tlalpujahuá	36.1	30.0
San José del Rincón, EdoMéx.	RESA Zinacantepec	79.4	Tlalpujahuá	37.0	33.7
Zitácuaro, Mich.	RESA Zitácuaro	11.9	Zitácuaro	11.9	NA
Angangueo, Mich.	RESA Cd. Hidalgo	37.5	Zitácuaro	46.3	34.2
Ocampo, Mich.	RESA Cd. Hidalgo	37.2	Zitácuaro	36.5	24.5
Villa de Allende, EdoMéx.	SC Villa de Allende	6.9	Zitácuaro	50.4	39.2
Donato Guerra, EdoMéx.	RESA Zinacantepec	67.5	Zitácuaro	53.4	46.0
Susupuato, EdoMéx.	TCA Susupuato	4.1	Susupuato	9.9	NA
Otzoloapan, EdoMéx.	TCA Otzoloapan	5.9	Susupuato	49.1	39.0
Santo Tomás, EdoMéx.	ET	Ubicación no especificada	Susupuato	41.9	32.0
Luvianos, EdoMéx.	TCA Luvianos	3.0	Susupuato	83.7	74.0
Ixtapan del Oro, EdoMéx.	RESA de Zinacantepec	85.8	Susupuato	35.1	35.0
Tuzantla, Mich.	TCA Tuzantla	4.9	Susupuato	33.9	32.0
Tiquicheo, Mich.	TCA Tiquicheo	22.2	Susupuato	92.6	83.0

Como puede apreciarse en la tabla 3.21, algunos de los SDF que actualmente se utilizan no son RESA, mientras que en los sitios que se proponen salvo en Zitácuaro, tendría que realizarse el diseño, construcción y operación de un RESA intermunicipal sustentable, para que se cumpliera con el objetivo de evitar la afectación a la salud humana, preservar el ambiente, contribuir a la mejora de calidad de vida y ser rentable evitando que TCA y SC continúen operando.

Finalmente en la tabla 3.22 se muestran los RSU que se dispondrían por día durante el primer año en los SDIS propuestos y la clasificación de los mismos respecto a la NOM-083-SEMARNAT-2003, si se llevaran a cabo los arreglos entre los municipios sugeridos para cada intermunicipalidad.

Tabla 3.22 Residuos a disponer por día en los RESA propuestos el primer año

MUNICIPIOS	RESIDUOS GENERADOS (t/d)	UBICACIÓN DEL RESA PROPUESTO	RESIDUOS DISPUESTOS EN EL RESA PROPUESTO (t/d)	TIPO DE RESA PROPUESTO
Tlalpujahua	24			
Contepec	28			
Temascalcingo	84			
El oro	46	Tlalpujahua	322	A
Senguio	16			
San José del Rincón	125			
Zitácuaro	137			
Angangueo	9			
Ocampo	10	Zitácuaro	276	A
Villa de Allende	65			
Donato Guerra	45			
Otzoloapan	6			
Santo Tomás	12			
Luvianos	35			
Susupuato	8	Susupuato	96	B
Ixtapan del Oro	9			
Tuzantla	14			
Tiquicheo	12			

Con base al análisis realizado en este trabajo fue posible proponer, desde el punto de vista geográfico y espacial, tres conjuntos de municipios que tendrían la posibilidad de trabajar de forma intermunicipal (Figura 3.22). No se sugiere la ubicación de un solo RESA intermunicipal debido a las distancias entre las municipalidades, lo cual incrementaría los costos de traslado de los RSU (combustible, mantenimiento, horas-hombre, etc.) e implicaría una mayor cantidad de emisiones a la atmósfera.

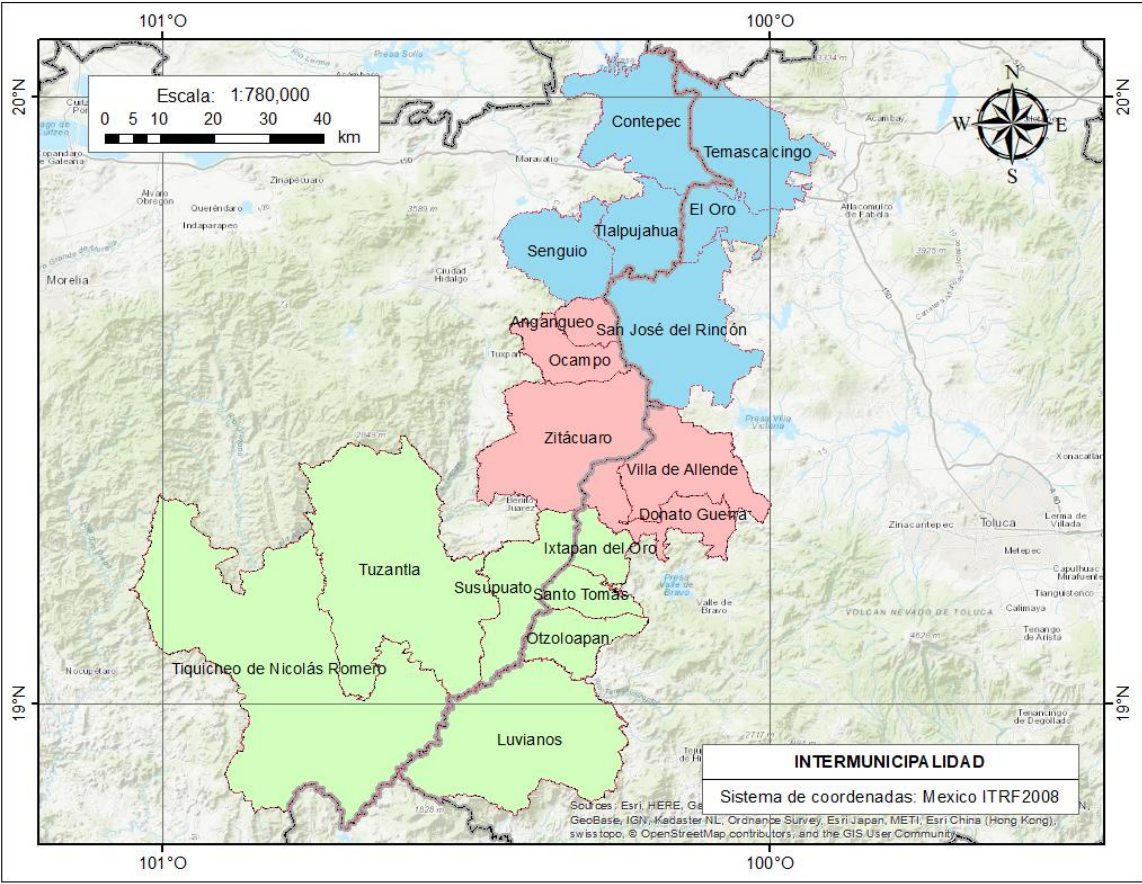


Figura 3.22 Opciones de relación intermunicipal geográfica y espacial en el área de estudio

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Deben estudiarse las características físicas, económicas y poblacionales del área en la que se pretende mejorar el MIRSU con el fin de generar las alternativas que mejor se adapten para minimizar los impactos ambientales y sociales de sus RSU.

La agrupación de los municipios en conglomerados de acuerdo a las variables denominadas Poblacional, Económica y de RSU, permitió seleccionar los municipios más representativos para su estudio, sin perder de vista aquellos con TCA y SC.

En ninguno de los municipios estudiados se realiza recolección separada y tratamiento de RSU, lo que de realizarse representa un área de oportunidad tanto para el aprovechamiento de valorizables como para reducir la cantidad de RSU que depositan y por ende los costos de operación en los SDF.

Fue posible calcular dos ID de El Oro, 32 de San José del Rincón y 14 de Donato Guerra correspondientes al año 2017 de los 41 propuestos por SEMARNAT & GTZ (2006), ésto nos indica que los municipios no cuentan con una herramienta adecuada que les permita llevar un registro de la información asociada al MIRSU que les permita controlarlo y mejorarlo.

Se propusieron tres ubicaciones de RESA sustentables intermunicipales que cumplen con las restricciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003, los cuales contribuirían a disminuir la operación de TCA y SC en el área de estudio.

La propuesta de la intermunicipalidad elaborada en este trabajo consideró el punto de vista geográfico, el cual requiere del estudio de las distancias que existen entre

la ubicación propuesta para el RESA y los municipios más cercanos, sin embargo para lograr implementar una administración intermunicipal, deben estudiarse otros factores; como las gestiones actuales del municipio, el presupuesto asignado al rubro de interés, así como los programas que fomenten este tipo de administraciones.

Para seleccionar la mejor ubicación de un RESA deben considerarse la mayor cantidad de restricciones establecidas en la normatividad, además de la posibilidad de la adquisición del terreno en el lugar propuesto, lo cual involucra aspectos económicos y legales que no forman parte de este estudio.



## REFERENCIAS

- Aguayo, F., Peralta, M., Lama, J., Sotelo, V. (2013). *Ecodiseño: Ingeniería Sostenible de la Cuna a la Cuna C2C*. Madrid, España: RC Libros.
- Ángeles, D. (2015). Generación de energía eléctrica relleno sanitario municipal. En Diálogos por un futuro sustentable. Conferencia llevada a cabo en el foro internacional 2015 valorización energética de residuos sólidos urbanos experiencias y estrategias globales.
- CONAGUA (2017). Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas. Ciudad de México, México: Comisión Nacional del Agua.  
Recuperado de: <http://sigagis.conagua.gob.mx/aprovechamientos/>
- CONANP (2017). Reserva Biosfera Mariposa Monarca. Comisión Nacional de Ciudad de México, México: Áreas Naturales Protegidas.  
Recuperado de <http://mariposamonarca.conanp.gob.mx/>
- De la fuente, S. (2011). Análisis de conglomerados. Universidad Autónoma de Madrid. España (Documento Web, último acceso: 03/mayo/2017)  
<http://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/SEGMENTACION/CONGLOMERADOS/conglomerados.pdf>.
- Davis, M., Maten, S. (2005). *Ingeniería y ciencias Ambientales*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill
- Devore, J. (2005). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencia*. Ciudad de México, México: International Thomson Editores.
- DOF (2004). NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación,

monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 20 de octubre de 2004.

DOF (2015). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 22 de mayo de 2015.

DOF (2016). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 13 de mayo de 2016.

DOF (2018). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 27 de agosto de 2018.

Ecocontenedores (2018). Gestión y valorización de residuos. [Figura] Santiago, Chile: Ecocontenedores. Recuperado de: <https://www.ecocontenedores.cl/logistica/>

EPA (2016). *LFG Energy Project Development Handbook*. Environmental Protection Agency. USA. (Documento Web, último acceso: 15/enero/2017) [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/pdh\\_full.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/pdh_full.pdf).

Feiock, R. C. (2008). Metropolitan Governance and Institutional Collective Action. *Urban Affairs Review*, 44 (3), 356-377.

Feire, M., Stren, R. (2001). *Los retos del gobierno urbano*. Washington, USA: Alfaomega.

Fernández, P. (2001). Estadística descriptiva de datos. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña. Coruña. (Documento Web, último acceso: 30/diciembre/2017). <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/10descriptiva/10descriptiva.asp>

Foth& Van Dyke and Associates, Inc. (2004). Updated Research Report on Bioreactor Landfills, Landfill Leachate Recirculation and Landfills with Methane Recovery. Minnesota. (Documento Web, último acceso: 15/enero/2017) [http://static1.squarespace.com/static/55118948e4b06b1b4f71b1f4/t/5613fb7fe4b0982e4b9b3118/1444150143764/PC\\_Research\\_Report\\_on\\_Bioreactor\\_Landfills.pdf](http://static1.squarespace.com/static/55118948e4b06b1b4f71b1f4/t/5613fb7fe4b0982e4b9b3118/1444150143764/PC_Research_Report_on_Bioreactor_Landfills.pdf).

Giménez, M., Cardozo, C. (2012). Localización de un relleno sanitario aplicando técnicas multicriterio en Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el área metropolitana del alto Paraná. 7mo. Congreso de Medio Ambiente. La Palta, Argentina.

Hettiarachchi, H., Ryu, S., Caucci, S., Silva, R. (2018). Municipal Solid Waste Management in Latin America and the Caribbean: Issues and Potential Solutions from the Governance Perspective. *Recycling*, 3 (2018), 3 – 15.

Hughes, S. (2012). Authority Structures and Service Reform in Multilevel Urban Governance: The Case of Wastewater Recycling in California and Australia. *Urban Affairs Review*, 49 (3), 381-407.

Hurtado, T., Bruno G. (2005). El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. Perú. (Documento Web, último acceso: 03/mayo/2017) [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano\\_hg/cap2.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/cap2.pdf).

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van, F. (2018). What a waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. International Bank for Reconstruction and Development. Washington, USA: World Bank Group.

INECC (2012). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

INEGI (2013). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2011. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2014). Instituto Nacional de Estadística y Geografía: Medio ambiente. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de:  
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb1354&s=est&c=35721>

INEGI (2015a). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2015. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de:  
<http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/censosgobierno/municipal/cngmd/2015/>

INEGI (2015b). Cuéntame. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de:  
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/default.aspx?tema=me>

INEGI (2015c) Sistema de Cuentas Nacionales de México. Banco de Información Económica. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de: [www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/)

INEGI (2016). *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2016*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (Documento Web, último acceso: 10/Enero/2017).  
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825087340>.

INEGI (2017). Mapa digital de México. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de:  
<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>

ITVU (2007). Programa metropolitano de ordenamiento territorial de Altamira, Ciudad Madero y Tampico. Tamaulipas, México: Instituto Tamaulipeco de Vivienda y Urbanismo.

Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

Lara, E. (2017). Conoce como opera el relleno sanitario. Netnoticias.mx. Chihuahua. México. (Documento web, último acceso: 18/diciembre/2017)  
<http://netnoticias.mx/2017-08-17-a66cc45f/conoce-como-opera-el-relleno-sanitario/>

Lobo A., Hernández M. C., Mañón M. C. (2015). “Biorrellenos: Perspectivas tras dos décadas de experiencias en el mundo” *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*.

Mañón, M. C., Hernández-Berriel, M. C., Olay, E., Carreño, M. C., de la Rosa, I. (2017). Comparación de técnicas multicriterio para seleccionar sitios de disposición del norte del Estado de México. Instituto Tecnológico de Toluca, Metepec. México

Marín, L., Torres, V., Bolongaro, A., Reyna, J., Pohle, A., Hernández, A., Chavarría, J., García, R., Parra, H. (2012). Identifying suitable sanitary landfill locations in the state of Morelos, México, using a Geographic Information System. *Physics and Chemistry of the Earth*, 37–39 (2012), 2–9.

- McDonough, W., Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle (de la cuna a la cuna): rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Madrid, España: McGraw-Hill / Interamericana de España S. A.
- McDonough, W., Braungart, M., Anastas, P. (2004). Applying the Principles Engineering of Green to Cradle to Cradle Design. *Environmental Science & Technology*, 37, 434 - 441.
- Mendes, P., Santos, A. C., Nunes, L. M., Ribau, M. (2013). Evaluating municipal solid waste management performance in regions with strong seasonal variability. *Ecological Indicators*, 30 (2013), 170–177.
- ONU (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. New York, USA: Organización Mundial de la Naciones Unidas. (Documento Web, último acceso: 20/diciembre/2016)  
[http://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares70d1\\_es.pdf](http://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ares70d1_es.pdf).
- Pacheco, R. (2014). Intermunicipalidad como un arreglo institucional emergente: el caso del suministro de agua en la zona metropolitana de Aguascalientes, México. *Revista Gestión Pública*, 3(2), 207 – 234.
- Parkes, O., Lettieri, P., Bogle, I. (2015). Life cycle assessment of integrated waste management systems for alternative legacy scenarios of the London Olympic Park. *Waste Management*, 40 (2015), 157 – 166.
- Peralta, M. E, Aguayo, F., Lama J. R. (2011). Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna: una arquitectura de referencia abierta para el diseño C2C (Sustainable engineering based on cradle to cradle model. An open architectural reference for C2C design). *Dyna Ingeniería e Industria*, 86 (2), 199-211.

- Rojas, M., Sahagún, C. (2012). *Tiraderos a cielo abierto. Ciencia y desarrollo*. Mayo – Junio (Documento Web, último acceso: 15/enero/2017)  
<http://www.cyd.conacyt.gob.mx/259/articulos/tiraderos-a-cielo-abierto.html>.
- Rodríguez, O. (2016). Construirán relleno sanitario para acopio de basura en la ciudad de Oaxaca. [Figura].  
<http://www.diariomarca.com.mx/2016/02/construiran-relleno-sanitario-para-acopio-de-basura-en-la-ciudad-de-oaxaca/>.
- Rossi, M., Germani, M., Zamagni, A. (2016). Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies. *Journal of Cleaner Production*, 129 (2016), 361 – 373.
- Sáez, A., Urdaneta, G. (2014). Manejo de los residuos sólidos en América Latina y el Caribe, *Omnia*, 3 (2014), 121 – 135.
- Sánchez, O. (2010). *Probabilidad y estadística*. México: McGraw Hill.
- SEDESOL (2013). Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. Ciudad de México, México: Secretaría de Social Desarrollo.
- SEISA (2017). Social Commitment For A Better World. Nuevo León, México: SEISA. Recuperado de: <http://www.seisa.com.mx>
- SEMARNAT (2001). Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. Ciudad de México, México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SEMARNAT (2008). Curso gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Ciudad de México, México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Documento Web, último acceso 28/Diciembre/2016)  
[http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/residuos/login.php?going\\_to=index.php](http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/residuos/login.php?going_to=index.php).

SEMARNAT (2010). Guía para la presentación de riesgo modalidad análisis de riesgos. Ciudad de México, México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Documento Web, último acceso 19/diciembre/2017).  
[http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGIRA/Guia/MIAParticularRiesgo/GuiasEstudioRiesgo/g\\_vias\\_generales.pdf](http://tramites.semarnat.gob.mx/Doctos/DGIRA/Guia/MIAParticularRiesgo/GuiasEstudioRiesgo/g_vias_generales.pdf)).

SEMARNAT (2014). Compendio de Estadísticas Ambientales. Residuos Sólidos Urbanos. Ciudad de México, México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Documento Web, último acceso 15/Enero/2017).  
[http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen14/07\\_residuos/7\\_1\\_2.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_2.html).

SEMARNAT (2015). Informe de la situación medio ambiente en México 2015. Ciudad de México, México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Documento Web, Último acceso: 15/enero/2017)  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/161446/Cap\\_CC\\_completo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/161446/Cap_CC_completo.pdf)

SEMARNAT & GTZ (2006). Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Ciudad de México, México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. México. (Documento Web, último acceso: 11/diciembre/2017)  
[http://www.medioambiente.oaxaca.gob.mx/wpcontent/uploads/2016/02/Guía\\_PMPGIRSU](http://www.medioambiente.oaxaca.gob.mx/wpcontent/uploads/2016/02/Guía_PMPGIRSU)



- Seoáñez, M. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Sharma, H., Lewis, S. (1994). *Waste containment systems, waste stabilization and landfills. Design and evaluation*. New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- SIMAR (2018). Sistema Intermunicipal de Manejo de Residuos Sureste. Jalisco, México: simarsureste. Recuperado de: <http://simarsureste.org/>
- SWANA. (2002). Request for comment on bioreactor definition. Washington, USA: Solid Waste Association of North America.
- Solda, S. (2010). Manual para el cálculo de la gestión integral de residuos sólidos urbanos y para el uso de la matriz de costo GIRSU. Buenos Aires, Argentina: Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Tchobanoglous, G., Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Townsend, G., Powell, J., Jain, P., Xu, O., Tolaymat, T., Reinhart, D. (2015). *Sustainable Practices for Landfill Design and Operation*. New York, USA: Springer.
- Umaña, J. (2002). Métodos para la evaluación y selección de sitios para relleno sanitario. San Salvador, El Salvador. (Documento Web, último acceso: 15/diciembre/2018).  
[http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_rsm/e/fulltext/metevasit.pdf](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/fulltext/metevasit.pdf)
- USEPA (2017). Learn About Sustainability. Washington, USA: United States Environmental Protection Agency. Recuperado de:  
<https://www.epa.gov/sustainability/learn-about-sustainability#what>

Warner, M. E. & Bel, G. (2008). Competition or Monopoly? Comparing Privatization of Local Public Services in the Us and Spain. *Public Administration*, 86 (3), 723-735.

WCED (1987). Our Common Future. World Commission on Environment and Development. New York, USA: Oxford University Press.

WordReference (2018). Sustainable. Florida, USA: WordReference.com  
Recuperado de:  
<http://www.wordreference.com/es/translation.asp?tranword=sustainable>.

# ANEXOS

## Anexo A. Cédula de Entrevista



PROYECTO  
\* UBICACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS INTERMUNICIPALES FUTUROS EN EL ESTADO DE MÉXICO Y ESTADOS ALEDAÑOS \*

---

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

---

**INDICE**

[Color de las celdas](#)  
[Unidades de Medida](#)  
[Abreviaturas utilizadas](#)

En la Cédula de Entrevista se deberá registrar la información real relacionada con la gestión de sus residuos sólidos. Los tipos de datos que se capturan principalmente en la Cédula de Entrevista son números, texto y lista desplegable. En las lista, solo debe seleccionar la opción que responda la pregunta (celda verde). En los campos numéricos (color azul), si no tiene información dejar en blanco y desplazarse con la tecla tabular, para que no le muestre el mensaje de error de captura, preferentemente evite colocar cero.

Tenga presente la siguiente nomenclatura :

a) Color de las celdas

Colocar datos de tipo numérico	
Colocar texto	
Seleccionar dato de una lista	
Valor capturado por el entrevistador	
Título de las celdas	

b) Unidades de Medida del SI (Sistema Internacional de unidades y medidas)

Magnitud	Nombre	Símbolo	Equivalencias
Longitud	Metro	m	100 cm
	Kilómetro	km	1000 m
Area, superficie	Metro cuadrado	m <sup>2</sup>	
	Hectárea	ha	10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
Masa	Kilogramo	kg	
Densidad superficial	Kilogramo por metro cuadrado	kg/m <sup>2</sup>	
Concentración másica	Kilogramo por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>	
Volumen específico	Metro cúbico por kilogramo	m <sup>3</sup> /kg	
Volumen	Metro cúbico	m <sup>3</sup>	
Densidad, masa en volumen	Kilogramo por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>	
Tiempo	Segundo	s	
	minuto	min	60 s
	hora	h	3600 s
	día	d	86400 s
Volumen	litro	L	1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Masa	Tonelada	Ton	10 <sup>3</sup> kg

**c) Abreviaturas utilizadas**

ET	Estación de Transferencia
GIRSU	Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (Cooperación Técnica Alemana)
IND	Información no disponible en ese momento, requiere recabación
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LPGGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos
ND	No disponible
NMX	Norma Mexicana
No.	Número
NOM	Norma Oficial Mexicana
NOM-083-SEMARNAT-2003	Norma Oficial Mexicana que contiene las
PMPGIRSU	Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
RD	Residuo domiciliario
RESA	Relleno sanitario
RME	Residuos de Manejo Especial
RP	Residuos Peligrosos
RSU	Residuos Sólidos Urbanos antes llamados residuos sólidos municipales y comunmente conocidos como "basura"
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
STC	Sitio de Tierra Controlado
TCA	Tiradero a Cielo Abierto, técnicamente denominado "Relleno de tierra no controlado" y comunmente conocido como "basurero"

Generación de residuos. Acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo.

Limpeza pública. Sinónimo de aseo urbano.

Lixiviado. Líquido que percola a través de los RSU, compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, escorrentías, humedad de la basura y descomposición de la materia orgánica. El lixiviado arrastra materiales disueltos y suspendidos. Sinónimo de percolado.

Manejo Integral de RSU (MIRSU). El MIRSU se desprende de la GIRSU. El MIRSU consiste en el conjunto de operaciones dirigidas a dar a los RSU el destino más adecuado de acuerdo con sus características, con la finalidad de prevenir daños o riesgos para la salud pública. Se denomina plaza a aquel espacio público que forma parte de un centro urbano y que se caracteriza por estar a cielo abierto, generalmente rodeado de árboles o de edificios a cierta distancia. Puede estar localizado en el centro de la ciudad o pueblo. Puede ser utilizado para la realización de diversas actividades económicas (tianguis, mercado, kermes, etc.), políticas, administrativas, culturales o de recreación (descanso en bancas, hacer gimnasia, para que los niños se entretengan en juegos o corriendo, etc.).

Reciclaje. Proceso mediante el cual ciertos materiales de la basura se separan, escogen, clasifican, empaquetan, almacenan y comercializan para reincorporarlos como materia prima al ciclo productivo.

Recolección. Acción de tomar los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos en el equipo destinado o conducirlos a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento o sitios de disposición final.

Recuperación. Actividad relacionada con la obtención de materiales secundarios, bien sea por separación, desempaque, recogida o cualquier otra forma de retirar de los residuos sólidos alguno de sus componentes para su reciclaje o reutilización.

Relleno de tierra controlado (RTC). Sitio destinado para la disposición final de residuos sólidos urbanos, que cuenta parcialmente con inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas.

Relleno de tierra no controlado. Sitio en donde son vertidos y mezclados diversos tipos de residuos sólidos urbanos sin ningún control o protección al ambiente. Comunmente conocido como "basurero" o "Tiradero a Cielo Abierto".

Relleno sanitario. Obra de ingeniería para el adecuado confinamiento de los RSU y RME. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente, el control de los gases y lixiviados, así como la proliferación de vectores, a fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.

Residuo de Manejo Especial (RME). Residuos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuo sólido urbano, o que es producido por grandes generadores de residuos sólidos urbanos. Incluyen residuos de materiales de construcción, de servicios de salud (medicina humana, veterinarias y de centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos); de actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas y ganaderas; de los servicios de transporte (aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias); del tratamiento de aguas residuales (lodos o biosólidos); y otros como los neumáticos usados, pilas (que contengan litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc, o cualquier otro elemento en los niveles que no sean considerados como RP) y los residuos tecnológicos de las industrias de la informática, de comunicaciones, entretenimiento o de vehículos automotores.

Residuo domiciliario (RD). Residuo que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen, es generado en las actividades realizadas en viviendas o casas hogar.

Residuo Peligroso (RP). Un residuo es considerado como peligroso si aparece en los listados contenidos en la Norma Oficial Mexicana: NOM-052-SEMARNAT-2005 y si tiene alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contiene agentes biológico infecciosos que le confiere peligrosidad. Puede estar o ser parte de envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfirieran a otro sitio.

Residuos sólidos. Cualquier material incluido dentro de un gran rango de materiales sólidos, pueden contener también algunos líquidos, que se tiran o rechazan por estar gastados, ser inútiles, excesivos o considerarse sin valor.

Residuo sólido urbano (RSU). Residuo sólido o semisólido proveniente de las actividades urbanas en general. Puede tener origen residencial o doméstico, comercial, institucional, de la pequeña industria o del barrio y limpieza de calles, mercados, áreas públicas y otros. Su gestión en México es responsabilidad de la municipalidad. Sinónimo de residuo sólido municipal, basura y desecho sólido

Datos del municipio										
Fecha:	10-05-17		Encuestado:	Encuestador:		Cargo:	EOR		Hora Inicio:	
Municipio:	Entidad Federativa		Municipio:							
Información general del municipio										
Población total del municipio (No. Personas)	No. Localidades	No. Pueblos	No. Colonias	Organigrama del Municipal (Especificar Organigrama SAU)						
Habitantes con el servicio	Generación total de RME (Ton / Mes)	Generación total de RSU (Ton/Mes)	Longitud calles pavimentadas (Km)							
Autoridades Municipales										
Cargo	Nombre		Profesión	Partido político		Experiencia en el manejo de RS (Años)				
Presidente Municipal										
Responsable Manejo RS										
Responsable de Ecología										
Información Transversal y Económica										
	(Indicar con SI, NO, INDI)	¿Año de publicación? (Año)	¿Última Revisión? (Año)	¿Se cumple? (SI, NO, Parcialmente, INDI)	Realizado por:		Nombre del documento		Monto aplicado (\$)	
¿El Ayuntamiento cuenta con Reglamento de limpieza municipal?										
¿Cuenta con Programa de MIRSU (Prevención y Gestión Integral de RSU)?										
¿Cuenta con una Ley para el MIRSU (Prevención y Gestión Integral de RSU)?										
¿Cuenta con un Plan Marco (Nacional, Estatal o Municipal)?										
¿Cuenta con un Programa Marco (Nacional, Estatal o Municipal)?										
¿Cuentan con contabilidad separada?		Presupuesto Anual para el municipio (\$/Año)			Presupuesto Anual asignado para MIRSU					
¿Cuenta con presupuesto anual para RSU?		Población (SI, NO, INDI)		Monto (\$/Ton)	Privado (SI, NO, INDI)	Monto (\$/Ton)	Otro	Monto (\$/Ton)		
¿Tienen ingresos por el manejo de RSU?										
En caso sí ¿en qué etapa(s) ?										
¿Cuenta con estudios sobre gestión integral o manejo de residuos sólidos en el municipio?		Tipo Estudio	Fecha	Etapa MIRSU	Tipo Estudio	Fecha	Etapa MIRSU	Tipo Estudio	Fecha	Etapa MIRSU
Componentes del Sistema										
ETAPA	MUNICIPIO (SI, NO, INDI)	PARCIAL (%)	CONCESIONADO (SI, NO, INDI)	PARCIAL (%)	INFORMAL (SI, NO, INDI)	PARCIAL (%)	OBSERVACIONES / DATOS			
Barrido manual										
Barrido mecánico										
Recolección										
Tratamiento										
Transferencia y Transporte										
Disposición final										
Centros de acopio										
¿Cuenta con áreas para recibir quejas?		Cantidad de quejas que se reciben al Mes		Etapa en la que se reciben mayor No. Quejas		Quejas a las que se da Solución		Quejas a las que se NO se da Solución		



BARRIDO MANUAL													
NOMINA													
				Prestaciones empleados formales									
	Total	No. de Hombres	No. de mujeres	Puesto	Salario promedio de empleados (\$mes, rengiones, prestaciones)	No. de días laborales por semana (diariamente)	Horas trabajadas en barrio (No. de horas empleadas)	Seguro medico	Aguinaldo	Fondo de ahorro	Vacaciones	Grato promedio de estudios (formales e informales)	
No. de empleados				Supervisor									
No. de empleados formales en plazas				Barrideros									
No. de empleados informales en plazas				Infumal									
No. de empleados voluntarios en plazas				Voluntario									
No. de voluntarios en programas en plazas				V. programas									
No. de empleados formales en vías (salles)													
No. de empleados informales en vías													
No. de voluntarios en vías (salles)													
No. de voluntarios en programa en vías													
GENERALIDADES DE BARRIDO MANUAL													
Superficie total de plazas barridas (M2/ha)		Longitud de vías barridas (km/ha)		Turnos trabajados		Costo mensual de barrio de plazas (\$mes)		Tarifa manual de seguridad (\$1, NO, NI)		Si se tiene conectado el barrio, costo por días servicio (\$mes)		Frecuencia de barrido	
Eficiencia real del personal de barrio de plazas (M2/Empleado)		Eficiencia relativa del personal de barrio de vías (salles)		Número de días trabajados por empleado		Frecuencia de barrido en vías (diariamente)		Cantidad de residuos resultantes de barrio de vías (Tonm2, Tonvía, Tonvía)		Referente a la limpieza de alcantarillas, cantidad de agua utilizada		Cuentas son capacitación continua al personal (\$MO, NI)	
Eficiencia relativa del personal de barrio de plazas (M2/Empleado)		Eficiencia real del personal de barrio de vías (salles)		Costo de equipos utilizados (\$anual)		Frecuencia de barrido en plazas (diariamente)		Cantidad de residuos resultantes de barrio de plazas (Tonm2, Tonvía, Tonvía)		Costo mensual global de barrio (\$mes)		Cantidad de personas	
BARRIDO MECANICO													
¿Cumple con barrio mecanico? (Si/No)													
NOMINA													
				Prestaciones empleados formales									
	Total	No. de Hombres	No. Mujeres	Puesto	Salario promedio de empleados (\$mes, rengiones, prestaciones)	No. de días laborales por semana (diariamente)	Horas trabajadas en barrio (No. de horas empleadas)	Seguro medico	Aguinaldo	Fondo de ahorro	Vacaciones	Grato promedio de estudios	
No. de empleados				Supervisor									
No. de empleados formales en plazas				Barrideros para barridos									
No. de empleados informales en plazas				Eventual									
No. de empleados voluntarios en plazas				Voluntario									
No. de voluntarios en programas en plazas				V. programas									
No. de empleados formales en vías (salles)													
No. de empleados informales en vías													
No. de empleados voluntarios en vías													
No. de empleados voluntarios en programas para vías													
GENERALIDADES													
Superficie total de plazas barridas (M2/ha)		Longitud total de vías barridas (km/ha)		Turnos trabajados		Frecuencia de barrido en plazas (diariamente)		Costo mantenimiento correctivo (\$barridos)		Costo mensual de barrio de plazas (\$mes)		Si se tiene conectado el barrio, costo por días servicio (\$mes)	
No. de barrideros por plaza		No. de barrideros por vía		Número de días trabajados por empleado		Cantidad de residuos resultantes de barrio de vías (Tonm2, Tonvía, Tonvía)		Costo de inversión (\$)		Costo mensual de barrio de vías (\$mes)		Cantidad de agua utilizada en el barrio (servicio de barridos, agua en equipo)	
Eficiencia de la barridore plaza (M2/Barridore)		Eficiencia de la barridore vía (M2/Barridore)		Frecuencia de barrido en vías (diariamente)		Cantidad de residuos resultantes de barrio de plazas (Tonm2, Tonvía, Tonvía)		Costo mensual global de barrio (\$mes)		Tarifa manual de seguridad (\$1, NO, NI)			
EQUIPOS													
Equipo/Maquina	Tipo	Equipo (marca)	Etiqueta	Marca	Modelo	Año	Capacidad (M2/ha, km/ha)	Horas de trabajo	Tipo combustible	Litro	Costo (\$/litro)	Frecuencia de renta	Reemplazable

GENERALIDADES																
Realiza transferencia (S/NO/NB/NC)				Dirección de la ET												
Cuenta con estación de transferencia (ET) (S/NO/NB/NC)				Cantidad de RSU transferidos (Ton/día)						Costo de la transferencia		\$/mes				
Esta concesionada (S/NO/NB/NC)				Operación de la ET (días/semana)								\$/Ton				
Datos del concesionario		Nombre:		Jornada de funcionamiento de la ET (h/día)						Costo de mantenimiento (\$/mes)						
		Teléfono:		Antigüedad de la ET (años)												
Tipo de ET (Carga directa/Carga indirecta/Carga combinada)				Vida útil de la ET (años)						Distancia de la ET al SDF (km)						
				Superficie de la ET (m²)												
MAQUINARIA																
Maquina	Tipo	Cantidad	Propiedad Mpio. (\$)	Renta (\$/mes)	Marca	Modelo	Año	Capacidad		Operación			Costo de mantenimiento (\$/mes)	Tipo de combustible (Gas/Diesel/Gasolina)	Consumo de combustible (L/día)	Costo de combustible (\$/día)
								Ton	m³	días / semana	h / día	Ton / h				
VEHÍCULOS																
Vehículo	Tipo	Cantidad	Propiedad Mpio. (\$)	Renta (\$/mes)	Marca	Modelo	Año	Capacidad		Operación		Recorridos al SDF por turno	Costo de mantenimiento (\$/mes)	Tipo de combustible (Gas/Diesel/Gasolina)	Consumo de combustible (L/día)	Costo de combustible (\$/día)
								Ton	m³	Densidad (kg/m3)	días / semana					
EMPLEADOS EN ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA																
Puesto	Hombres (No.)	Mujeres (No.)	Empleados Formales (No.)	Empleados Informales (No.)	Voluntarios (No.)	Voluntarios en programas (No.)	Nivel académico	Capacitación (S/NO)	Jornada laboral		Seguro Médico	Aguinaldo (S/NO)	Vacaciones (S/NO)	Salario Promedio (\$/mes)		
									días / semana	h/día						
EMPLEADOS EN TRANSPORTE																
Puesto	Hombres (No.)	Mujeres (No.)	Empleados Formales (No.)	Empleados Informales (No.)	Voluntarios (No.)	Voluntarios en programas (No.)	Nivel académico	Capacitación (S/NO)	Jornada laboral		Seguro Médico	Aguinaldo (S/NO)	Vacaciones (S/NO)	Salario (\$/mes)		
									días / semana	h/día						



GENERALIDADES														
Realiza tratamiento (SI/NO/IND)		Tipo de tratamiento (Compostaje/Separación/Otro)												
SEPARACIÓN														
Concesionario (SI/NO)	Datos del concesionario (Nombre y teléfono)		Ubicación		Capacidad de diseño	Superficie Asignada	Cantidad de RSU recibidos (Ton/día)			Cantidad de RSU tratados (Ton/día)		Costo del tratamiento		
												\$/mes	\$/Ton	
Producto obtenido	Vidrio	Plástico PET	Plástico de Película	Plástico HDPE	Textil	Cartón	Papel	Aluminio	Fierro/Metal	Varios	Otros			
Cantidad (kg/día)														
Precio de venta (\$/kg)														
EMPLEADOS DE SEPARACIÓN														
Puesto	Hombres (No.)	Mujeres (No.)	Empleados Formales (No.)	Empleados Informales (No.)	Voluntarios (No.)	Voluntarios en programas (No.)	Nivel académico	Capacitación (SI/NO)	Jornada laboral		Seguro Médico	Aguinaldo (SI/NO)	Vacaciones (SI/NO)	Salario (\$/mes)
									días / semana	h/día				
COMPOSTAJE														
Concesionario (SI/NO)	Datos del concesionario (Nombre y teléfono)		Ubicación					Costo del tratamiento						
								\$/mes	\$/Ton					
Cantidad de RSU recibidos (Ton/día)	Cantidad de RSU tratados (Ton/día)		Capacidad de la planta de compostaje (Ton/día)			Producto obtenido		Composta		Otro				
						Cantidad (kg/día)								
						Costo (\$/kg)								
EMPLEADOS DE COMPOSTAJE														
Puesto	Hombres (No.)	Mujeres (No.)	Empleados Formales (No.)	Empleados Informales (No.)	Voluntarios (No.)	Voluntarios en programas (No.)	Nivel académico	Capacitación (SI/NO)	Jornada laboral		Seguro Médico	Aguinaldo (SI/NO)	Vacaciones (SI/NO)	Salario (\$/mes)
									( días / Semana)	(h / día)				

SITIO																				
SDF Dentro/Fuera del Mpio.	RSU que ingresan (Ton/día)	RME que ingresan (Ton/día)	Categoría de SDF A > 100, B 50 a 100, C 10 a 50, D < 10	Tipo (RESA/ STC / TCA)	Tornos / día	Horas turno	Propio / privado	Ubicación (Latitud-Longitud- Altitud)	Dirección	Superficie disponible	Superficie ocupada	Capacidad de diseño	Capacidad Ocupada	Densidad de compactación	Vida útil (años)	Alive servicio	Municipios servidos	Renta (\$/mes)	Costo por Disponibilidad (\$/Ton)	Operación
1																				
2																				
3																				
PERSONAL																				
Cargo		Grado académico		Hombres (No.)	Mujeres (No.)	Empleados (Formales (No.)	Empleados Informales (No.)	Voluntarios (No.)	Voluntarios en programas (No.)	Jornada (h/día)	Jornada (días/semana)	Seguro Médico	Vacaciones	Aguijudo	Salario (\$/mes)	Observaciones				
Administradora																				
Supervisor																				
Mantenimiento																				
Vigilante																				
Chofer																				
Operador																				
Registrator																				
MAQUINARIA																				
Equipo	No.	Tipo	Marca	Modelo	Año	Propio (\$)	Renta (\$/mes)	Capacidad (Ton o m3)	Operación (h/día)	Reconido (h/día)	Superficie (m2/día)	Combustible	Costo combustible (\$/día)	Costo combustible (\$/mes)	Uso	Frecuencia (días/mes)	Costo de mantenimiento (\$/mes)	Mantenimiento (días/mes)	Costo de mantenimiento (\$/mes)	
Compactora																				
Tractor																				
Escavadora																				
Cargadores																				
IMPACTO AMBIENTAL																				
Escriba si cuenta con Plan de Regulación Vigente para el SDF, su vigencia y dependencia que lo autoriza																				
Escriba si se ha presentado algún accidente en el SDF, como incendios o derrames de los materiales de RSU																				
Escriba si cuenta con pozos para biogas, cuantos, de que material y a que distancia se localizan																				
Escriba si tiene drenes para lavado, fosa y tratamiento de los residuos																				

## Anexo B. Indicadores de desempeño

ETAPA	INDICADOR
DATOS GENERALES	Proporción de habitantes servidos (%)
	Generación de RSU (kg/hab d)
BARRIDO MANUAL	Cobertura de barrido en vías (%)
	Cobertura de barrido en plazas (%)
	Eficiencia del personal en barrido de vías (Km/empleado)
	Eficiencia del personal en barrido de plazas (m <sup>2</sup> /empleado)
	Costo diario del barrido de vías (\$/d)
	Costo diario del barrido de plazas (\$/d)
	Costo por kilómetro de vías barridas (\$/Km)
	Costo por m <sup>2</sup> de plazas barridas (\$/m <sup>2</sup> )
RECOLECCIÓN	Costo por empleado de barrido manual (\$/empleado)
	Cobertura en relación con la recolección (%)
	Cobertura en relación con habitantes servidos (%)
	Capacidad total de las cajas de recolección (m <sup>3</sup> )
	Capacidad real total de las cajas de recolección (t/d)
	Eficiencia del personal de recolección (t/empleado)
	Eficiencia del equipo de recolección (%)
	Costo diario de recolección(\$/d)
	Costo diario de mantenimiento (\$/d)
	Fracción del costo destinada a mantenimiento (%)
	Costo por tonelada recolectada (\$/t)
	Costo por kilómetro recorrido (\$/Km)
TRANSFERENCIA	Costo por vehículo recolector (\$/vehículo)
	Cobertura en relación con la generación (%)
	Cobertura en relación con la recolección (%)
	Capacidad real total de las cajas de transferencia (t/d)
	Eficiencia del personal de transferencia (t/empleado)
	Costo diario de transferencia (\$/d)
	Costo diario del mantenimiento (\$/d)
	Fracción del costo destinado a mantenimiento (%)
	Costo por tonelada transferida (\$/t)
	Costo por caja de transferencia (\$/caja)
Costo por kilómetro recorrido (\$/Km)	

Fuente: SEMARNAT & GTZ, 2006.

ETAPA	INDICADOR
DISPOSICIÓN FINAL	Eficiencia del uso de maquinaria (%)
	Cobertura en relación con la generación (%)
	Cobertura en relación con la recolección (%)
	Cobertura en relación con la transferencia (%)
	Costo diario de la disposición final (\$/d)
	Costo diario del mantenimiento (\$/d)
	Fracción del costo destinado a mantenimiento (%)
Costo por tonelada ingresada (\$/t)	

Fuente: SEMARNAT & GTZ, 2006.

## Anexo C. Análisis de conglomerados

### a) Análisis de correlación

**Correlations**

		Poblacion	PobFuer	DensPob	PSP	UE	RSURec	SCD	SCF	TCAD	TCAF	RESAD	RESAF
Poblacion	Pearson Correlation	1	.489*	.763**	-.171	.872**	.885**	-.052	.257	-.298	-.280	.a	.176
	Sig. (2-tailed)		.039	.000	.497	.000	.000	.837	.303	.229	.260	.	.485
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
PobFuer	Pearson Correlation	.489*	1	.659**	.175	.113	.233	.007	.398	-.084	-.472*	.a	.175
	Sig. (2-tailed)	.039		.003	.488	.655	.351	.979	.102	.741	.048	.	.488
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
DensPob	Pearson Correlation	.763**	.659**	1	-.406	.631**	.705**	.081	.284	-.396	-.385	.a	.166
	Sig. (2-tailed)	.000	.003		.094	.005	.001	.749	.254	.104	.115	.	.510
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
PSP	Pearson Correlation	-.171	.175	-.406	1	-.338	-.376	-.335	.072	.401	.025	.a	.028
	Sig. (2-tailed)	.497	.488	.094		.171	.124	.174	.775	.099	.921	.	.913
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
UE	Pearson Correlation	.872**	.113	.631**	-.338	1	.973**	-.055	.120	-.309	-.112	.a	.158
	Sig. (2-tailed)	.000	.655	.005	.171		.000	.827	.635	.212	.659	.	.530
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
RSURec	Pearson Correlation	.885**	.233	.705**	-.376	.973**	1	-.018	.076	-.297	-.178	.a	.074
	Sig. (2-tailed)	.000	.351	.001	.124	.000		.944	.763	.231	.480	.	.770
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
SCD	Pearson Correlation	-.052	.007	.081	-.335	-.055	-.018	1	-.099	-.251	.025	.a	-.059
	Sig. (2-tailed)	.837	.979	.749	.174	.827	.944		.695	.315	.921	.	.817
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
SCF	Pearson Correlation	.257	.398	.284	.072	.120	.076	-.099	1	-.225	-.103	.a	.921**
	Sig. (2-tailed)	.303	.102	.254	.775	.635	.763	.695		.369	.684	.	.000
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
TCAD	Pearson Correlation	-.298	-.084	-.396	.401	-.309	-.297	-.251	-.225	1	-.010	.a	-.251
	Sig. (2-tailed)	.229	.741	.104	.099	.212	.231	.315	.369		.969	.	.315
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
TCAF	Pearson Correlation	-.280	-.472*	-.385	.025	-.112	-.178	.025	-.103	-.010	1	.a	.025
	Sig. (2-tailed)	.260	.048	.115	.921	.659	.480	.921	.684	.969		.	.921
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
RESAD	Pearson Correlation	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a
	Sig. (2-tailed)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
RESAF	Pearson Correlation	.176	.175	.166	.028	.158	.074	-.059	.921**	-.251	.025	.a	1
	Sig. (2-tailed)	.485	.488	.510	.913	.530	.770	.817	.000	.315	.921	.	
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

\*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

a. Cannot be computed because at least one of the variables is constant.

Poblacion: Población del municipio, PobFuer: Población de municipios colindantes, DensPob: Densidad de población, PSP: Población en situación de pobreza, UE: Unidades Económicas, SCD: Sitios Controlados Dentro del municipio, SCF: Sitios Controlados Fuera del municipio, TCAD: Tiraderos a Cielo Abierto Dentro del municipio, TCAF: Tiraderos a Cielo Abierto Fuera del Municipio, RESAD: Rellenos Sanitarios Dentro del municipio, RESAF: Rellenos Sanitarios Fuera del municipio.

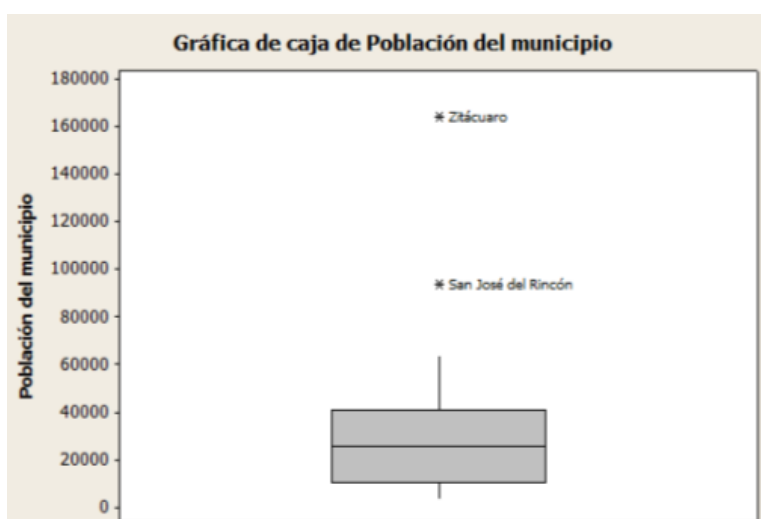
## b) Estadística descriptiva

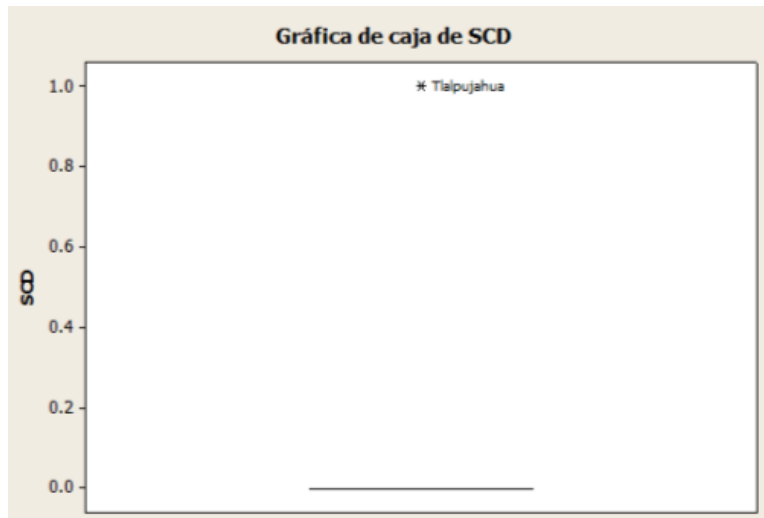
	POBLACIÓN DEL MUNICIPIO	POBLACIÓN DE MUNICIPIOS COLINDANTES	DENSIDAD DE POBLACIÓN (Habitantes/Km2)	POBLACIÓN EN SITUACIÓN DE POBREZA (%)
Rango	160272	486054	292.99	32.25
Mínimo	3872	89307	9.53	54.35
Máximo	164144	575361	302.52	86.60
Media	36029	269481	117.58	72.38
Mediana	26106	267489	113.60	74.38
Desviación Estándar	39284	136234	82.56	10.12
Varianza	1543208991	18559825105	6816.51	102.37

	SCD	SCF	TCAD	TCAF	RESAD	RESAF
Rango	1	4	2	7	0	2
Mínimo	0	0	0	0	0	0
Máximo	1	4	2	7	0	2
Media	0	0	1	2	0	0
Mediana	0	0	1	2	0	0
Desviación Estándar	0.24	0.98	0.61	1.65	0	0.47
Varianza	0.06	0.96	0.37	2.74	0	0.22

SCD: Sitios Controlados Dentro del municipio, SCF: Sitios Controlados Fuera del municipio, TCAD: Tiraderos a Cielo Abierto Dentro del municipio, TCAF: Tiraderos a Cielo Abierto Fuera del Municipio, RESAD: Rellenos Sanitarios Dentro del municipio, RESAF: Rellenos Sanitarios Fuera del municipio.

## Datos atípicos





c) Estandarización de variables

NOMBRE MUNICIPIO	POBLACIÓN DEL MUNICIPIO	POBLACIÓN DE MUNICIPIOS COLINDANTES	DENSIDAD DE POBLACIÓN (Habitantes/Km <sup>2</sup> )	POBLACIÓN EN SITUACIÓN DE POBREZA (%)
Donato Guerra	-0.05165	0.32640	0.66867	0.82269
Ixtapan del Oro	-0.74428	0.09434	-0.61957	0.95710
El Oro	0.03345	1.83660	1.59972	-0.56396
Otzoloapan	-0.81858	-1.12523	-1.05004	0.04881
Santo Tomás	-0.67068	-1.32253	-0.36510	-1.78160
Temascalcingo	0.70492	0.69963	0.66540	0.11108
Villa de Allende	0.42287	1.11442	0.44556	0.19904
Luvianos	-0.20795	-0.98957	-0.94672	0.94228
San José del Rincón	1.47260	2.24525	0.83618	1.11129
Angangueo	-0.63408	-0.94554	0.26812	-1.42580
Contepec	-0.04674	-0.26037	-0.37854	0.21387
Ocampo	-0.29541	0.22204	0.44169	0.19707
Senguio	-0.42977	-0.05578	-0.55829	-0.89506
Susupuato	-0.69303	-0.40534	-1.03199	1.40581
Tiquicheo de Nicolás Romero	-0.56761	-1.18778	-1.30875	0.74856
Tlalpujahuá	-0.20978	0.02653	0.32444	-1.34179
Tuzantla	-0.52556	-0.37851	-1.23075	0.67444
Zitácuaro	3.26128	0.10543	2.23997	-1.42382

NOMBRE MUNICIPIO	SCD	SCF	TCAD	TCAF	RESAD	RESAF
Donato Guerra	-0.235702	-0.39742	-1.00564	0.10077	0	-0.23570
Ixtapan del Oro	-0.235702	-0.39742	0.63995	0.10077	0	-0.23570
El Oro	-0.235702	0.62452	0.63995	-0.50387	0	-0.23570
Otzoloapan	-0.235702	-0.39742	2.28554	0.10077	0	-0.23570
Santo Tomás	-0.235702	-0.39742	-1.00564	1.31006	0	-0.23570
Temascalcingo	-0.235702	3.69035	-1.00564	0.10077	0	4.00694
Villa de Allende	-0.235702	-0.39742	0.63995	-1.10851	0	-0.23570
Luvianos	-0.235702	-0.39742	0.63995	3.12398	0	-0.23570
San José del Rincón	-0.235702	0.62452	0.63995	-1.10851	0	-0.23570

SCD: Sitios Controlados Dentro del municipio, SCF: Sitios Controlados Fuera del municipio, TCAD: Tiraderos a Cielo Abierto Dentro del municipio, TCAF: Tiraderos a Cielo Abierto Fuera del Municipio, RESAD: Rellenos Sanitarios Dentro del municipio, RESAF: Rellenos Sanitarios Fuera del municipio.



NOMBRE MUNICIPIO	SCD	SCF	TCAD	TCAF	RESAD	RESAF
Angangueo	-0.23570	-0.397422	0.63995	-0.50387	0	-0.235702
Contepec	-0.23570	0.624521	-1.00564	-0.50387	0	-0.235702
Ocampo	-0.23570	-0.397422	-1.00564	-0.50387	0	-0.235702
Senguio	-0.23570	-0.397422	-1.00564	0.10077	0	-0.235702
Susupuato	-0.23570	-0.397422	0.63995	0.10077	0	-0.235702
Tiquicheo de Nicolás Romero	-0.23570	-0.397422	0.63995	-1.10851	0	-0.235702
Tlalpujagua	4.00694	-0.397422	-1.00564	0.10077	0	-0.235702
Tuzantla	-0.23570	-0.397422	0.63995	0.70542	0	-0.235702
Zitácuaro	-0.23570	-0.397422	-1.00564	-0.50387	0	-0.235702

SCD: Sitios Controlados Dentro del municipio, SCF: Sitios Controlados Fuera del municipio, TCAD: Tiraderos a Cielo Abierto Dentro del municipio, TCAF: Tiraderos a Cielo Abierto Fuera del Municipio, RESAD: Rellenos Sanitarios Dentro del municipio, RESAF: Rellenos Sanitarios Fuera del municipio.