



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR
LA CLAUSURA O LA REHABILITACIÓN DE SITIOS
DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR
EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTA:
SERGIO OMAR LÓPEZ GASCA
No. CONTROL:
DD21280003**

**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. MARÍA DEL CONSUELO HERNÁNDEZ BERRIEL**

Vo. Bo.

Vo. Bo.

**CO-DIRECTORA DE TESIS:
DRA. AMAYA GARCÍA LOBO DE CORTÁZAR**



Instituto Tecnológico de Toluca
Comunicación y Difusión

Metepec, Edo. de México, **19/Noviembre/2025**
DEPI-3200-640/2025

SERGIO OMAR LÓPEZ GASCA
CANDIDATO AL GRADO DE DOCTOR
EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTE

De acuerdo con los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México y las disposiciones en este Instituto, habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora realizó con respecto a su Trabajo de Tesis Titulado: **"PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR LA CLAUSURA O REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS "**, la División de Estudios de Posgrado e Investigación de este Instituto, concede la Autorización para que proceda al envío del trabajo final vía correo Institucional.

Sin más por el momento, quedo de usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica

"Educación, integridad y ciencia"

JORGE SÁNCHEZ JAIME
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



ccp. Archivo
JSJ/mccl



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México,
C.P. 52149, Tels. Dirección: 7222087205, Conmut.: 7222087200
e-mail: info@toluca.tecnm.mx | tecnm.mx | toluca.tecnm.mx





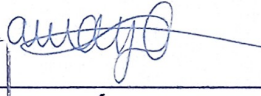
Metepec, Edo. de México, **13/Noviembre/2025**
DEPI-3200-619/2025

DR. JORGE SÁNCHEZ JAIME
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 **"PROPUESTA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR LA CLAUSURA O REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS"**, que como parte de los requisitos para obtener el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales presenta el **C. SERGIO OMAR LÓPEZ GASCA** con número de control **D21280003** para sustentar el acto de Recepción Profesional, ha dictaminado que dicho trabajo reúne las características de contenido y calidad para proceder a la impresión del mismo.

A T E N T A M E N T E

 DRA. MARÍA DEL CONSUELO HERNÁNDEZ SERPELL DIRECTORA DE TESIS	 DRA. AMAYA GARCÍA LOBO DE CORTÁZAR CODIRECTORA DE TESIS
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN	
 DRA. MARÍA DEL CONSUELO MAÑÓN SALAS REVISORA DE TESIS	 DR. FRANCISCO JOSÉ COLOMER MENDOZA REVISOR DE TESIS
 DRA. MARÍA DEL CARMEN CARREÑO DE LEÓN REVISORA DE TESIS	 DR. NICOLÁS FLORES ÁLAMO REVISOR DE TESIS

ccp. Archivo
JSJ/mccl



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, Metepec, Edo. de México,
C.P. 52149, Tels. Dirección: 7222087205, Conmut.: 7222087200
e-mail: info@toluca.tecnm.mx tecnm.mx | toluca.tecnm.mx



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Tecnológico de Toluca por abrirme las puertas de sus instalaciones y brindarme la oportunidad formarme profesionalmente.

Agradezco al CONACYT y al COMECYT por brindarme los apoyos necesarios para lograr los objetivos planteados en este proyecto.

A mi directora y co-Directora de tesis, Dra. María del Consuelo Hernández Berriel y Dra Amaya Lobo García de Cortázar, por todo el apoyo, paciencia, confianza y enseñanzas que me dieron a lo largo de estos años.

A la Dra. Mañón, así como a mis revisores Dra. Carmen, Dr. Francisco, y Dr. Nicolas por los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de este proyecto, por su tolerancia y su completa disposición.

A la empresa empresa “Constructora y Operadora de Rellenos Sanitarios S.A. de C.V.”, en especial al C.P. Jesús Herrera por brindarme el apoyo tanto en la recopilación de la información como en el ingreso a sus instalaciones.

A todas aquellas personas que me apoyaron durante el desarrollo del presente proyecto y con las que compartí experiencias, bromas, risas y laboratorio.

A mi familia por aguantarme, apoyarme y no dejarme solo a lo largo de la realización de este trabajo.

A mis amados padres, Zeferino y Mireya, mi primer y más importante equipo. Las palabras son insuficientes para expresar la profundidad de mi gratitud. Desde el primer día, me inculcaron el valor del esfuerzo, la disciplina y, sobre todo, la curiosidad insaciable, que sembró la semilla de esta aventura académica. Sus incontables sacrificios y su fe inquebrantable en mis capacidades fueron la luz que guio mi camino en los momentos de mayor oscuridad. Gracias por la vida que me dieron y por enseñarme a vivirla con integridad. Este título es el resultado de su amor incondicional.

A mi maravillosa esposa, Areli, compañera de vida y cómplice incondicional. Eres el

ancla que me mantuvo firme y el viento que impulsó mis velas. Sé que este camino nos exigió a ambos, y tu paciencia, tu apoyo emocional y tu capacidad para mantener el equilibrio en nuestro hogar fueron vitales. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por cada consejo, por cada aliento y por transformar nuestro hogar en el oasis de paz que necesité para concentrarme en mis estudios. Tu amor es mi mayor recompensa.

A mis preciosas hijas, Vale e Iva. Ustedes son la razón más hermosa de mi lucha. Su alegría y sus abrazos fueron el recordatorio constante de que existía un mundo maravilloso fuera de los libros y los artículos. Gracias por su paciencia cuando papá estaba ocupado y por cada sonrisa que disipó el estrés de los plazos de entrega. Espero que este logro les inspire a perseguir sus propios sueños con la misma pasión y determinación. Las amo profundamente.

Quiero extender un agradecimiento especial y profundo a Juanita. Ella ha desempeñado un doble papel crucial en este proceso, ofreciéndome una guía invaluable como mi jefa y un apoyo incondicional como mi gran amiga. Profesionalmente, le agradezco su confianza, por creer en mi potencial y por brindarme la flexibilidad y el ambiente necesarios para poder conciliar las exigencias laborales con el rigor académico. Personalmente, agradezco su amistad genuina. Fue el oído atento en los momentos de frustración, la voz de aliento oportuna y un recordatorio constante de la importancia del equilibrio y la perspectiva, tu apoyo ha sido un pilar fundamental en este camino.

RESUMEN

La generación y gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) representan uno de los desafíos ambientales más críticos del siglo XXI. A nivel mundial, se estima que la producción anual de residuos supera los 2.1 mil millones de toneladas, con un crecimiento proyectado de más del 50 % para el año 2050. Esta tendencia, impulsada por el aumento demográfico, la urbanización acelerada y los patrones de consumo desmedidos, plantea una amenaza significativa para la salud pública y los ecosistemas, especialmente en los países en desarrollo donde las capacidades institucionales y técnicas para la gestión de residuos son limitadas.

En este contexto, el objetivo fue elaborar una metodología ágil que permita evaluar de manera integral la viabilidad técnica, ambiental, económica y social para clausurar o rehabilitar los sitios de disposición final (SDF) en México, con el potencial de aplicación en otros países.

Este estudio integra métodos multicriterio de decisión (AHP) y Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de priorizar intervenciones en SDF. Se seleccionaron los SDF de los municipios de Zacualpan y Polotitlán, Estado de México, a los que se les analizó utilizando el Sistema de Información Geográfica para el Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos (SIGMIRSU) y la Tabla de Verificación, así como la evaluación ambiental y socioeconómica mediante la Matriz de Leopold. Sus resultados demostraron respectivamente un bajo cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (28.60 % y 15.62 %) y niveles severos de impacto ambiental (5.7 y 4.9). Estos hallazgos reflejan la urgencia de fortalecer la planeación territorial y de operación municipal incorporando criterios sociales y ambientales a nivel local y regional.

Asimismo, la integración de los costos sociales y ambientales dentro del análisis económico, corroboró que la conversión de los sitios no controlados en rellenos sanitarios no solo reduce los impactos negativos en el ambiente y la salud, sino que

además representa la alternativa más económica a largo plazo al considerar las externalidades y beneficios sociales, coadyuvando a la gestión sostenible de los RSU.

Como resultado, se desarrolló una “Metodología Ágil” que pretende apoyar a los gobiernos locales y regionales con recursos limitados, a decidir bajo los criterios de sostenibilidad, si un sitio debe ser clausurado o rehabilitado. Dicha metodología consta de dos tipos de evaluaciones. Una evaluación técnica que incluye el uso de SIG para el análisis de la idoneidad de la ubicación del SDF y la identificación de infraestructura y operatividad faltante, que va a depender de observar la normatividad del país donde se encuentre el SDF bajo estudio. Además de una evaluación ambiental y socioeconómica mediante la Matriz de Leopold, incorporando costos sociales y ambientales

Esta propuesta se sustenta en el equilibrio entre la eficiencia técnica, la viabilidad económica y la responsabilidad ambiental y social, contribuyendo directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, particularmente con el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 13 (Acción por el clima).

En conclusión, la investigación aporta una base metodológica replicable para la toma de decisiones sobre los SDF de residuos en países con contextos socioeconómicos similares a México, promoviendo la transición hacia una gestión más sostenible de los RSU en América Latina y otras regiones del mundo.

ABSTRACT

The generation and management of municipal solid waste (MSW) represent one of the most critical environmental challenges of the 21st century. Globally, it is estimated that annual waste production exceeds 2.1 billion tons, with a projected increase of more than 50% by 2050. This trend, driven by population growth, accelerated urbanization, and excessive consumption patterns, poses a significant threat to public health and ecosystems, particularly in developing countries where institutional and technical capacities for waste management are limited.

In this context, the objective of this research was to develop an agile methodology that allows for a comprehensive evaluation of the technical, environmental, economic, and social feasibility of closing or rehabilitating final disposal sites (FDS) in Mexico, with potential applicability in other countries.

This study integrates multi-criteria decision-making methods (AHP) and Geographic Information Systems (GIS) to prioritize interventions in FDS. The FDS located in the municipalities of Zacualpan and Polotitlán, in the Estado de México, were analyzed using the Geographic Information System for the Integrated Management of Municipal Solid Waste (SIGMIRSU) and the Verification Table, along with environmental and socioeconomic assessments based on the Leopold Matrix. The results revealed low compliance with NOM-083-SEMARNAT-2003 (28.60% and 15.62%, respectively) and severe levels of environmental impact (5.7 and 4.9). These findings highlight the urgency of strengthening territorial and municipal planning processes by incorporating social and environmental criteria at the local and regional levels.

Furthermore, the integration of social and environmental costs within the economic analysis confirmed that converting uncontrolled dumps into sanitary landfills not only reduces negative impacts on the environment and public health but also represents the most cost-effective long-term alternative, as it considers externalities and social benefits, thereby contributing to sustainable MSW management.

As a result, an “Agile Methodology” was developed to support local and regional governments with limited resources in deciding, under sustainability criteria, whether a site should be closed or rehabilitated. This methodology consists of two types of evaluations: a technical evaluation, which includes the use of GIS for analyzing the suitability of the FDS location and identifying missing infrastructure and operational elements based on national regulations; and an environmental and socioeconomic evaluation using the Leopold Matrix, incorporating social and environmental costs.

This proposal is based on a balance between technical efficiency, economic feasibility, and environmental and social responsibility, directly contributing to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda, particularly SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), SDG 12 (Responsible Consumption and Production), and SDG 13 (Climate Action).

In conclusion, this research provides a replicable methodological framework for decision-making regarding final disposal sites in countries with socioeconomic contexts similar to Mexico, promoting the transition toward more sustainable management of municipal solid waste in Latin America and other regions of the world.

CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
CONTENIDO	i
RELACIÓN DE TABLAS	v
RELACIÓN DE FIGURAS	vii
ACRÓNIMOS	x
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1 RESIDUOS SÓLIDOS.....	1
1.1.1 Generación de residuos sólidos urbanos.....	2
1.1.2 Composición de residuos sólidos urbanos.....	5
1.2 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS	8
1.2.1 Aspectos de gobernanza	9
1.2.2 Aspectos técnicos	11
1.3 SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS..	14
1.4 IMPACTOS AL AMBIENTE POR TIRADEROS A CIELO ABIERTO.....	18
1.5 CLAUSURA Y REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL ..	20
1.5.1 Clausura y Saneamiento.....	20
1.5.2 Rehabilitación	23
1.6 SIMULACIÓN PARA SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL	25
1.6.1 Tipos de simuladores.....	25
1.6.2 Aplicaciones en el área de residuos	26
1.7 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA GESTIÓN DE RESIDUOS	29
1.7.1 Funcionamiento de un Sistema de Información Geográfica	29

1.7.2 Sistemas de información geográfica para residuos sólidos urbanos .	30
1.8 ANÁLISIS MULTICRITERIO	32
1.9 ESTUDIO DEL ARTE	35
2. MÉTODO.....	39
2.1. ELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIOS QUE REQUIEREN UN RELLENO SANITARIO BAJO LOS CRITERIOS DE LA SUSTENTABILIDAD	39
2.1.1 Selección de municipios por método AHP	39
2.1.2 Análisis del manejo de residuos sólidos urbanos	41
2.2 ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EXISTENTES	42
2.2.1 Análisis de la ubicación del sitio de disposición final con el SIGMIRSU	42
2.2.2 Caracterización fisicoquímica del sitio de disposición final de los municipios seleccionados.....	43
2.3 ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ENTRE CLAUSURA O REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN.....	45
2.4 ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ÁGIL PARA CLAUSURA VERSUS REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL	47
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
3.1. ELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIOS QUE REQUIEREN UN RELLENO SANITARIO BAJO LOS CRITERIOS DE LA SUSTENTABILIDAD	48
3.1.1 Selección de municipios por método AHP	48
3.1.2 Análisis del manejo de residuos sólidos urbanos	55
3.2 ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EXISTENTES	56
3.2.1 Análisis de la ubicación del sitio de disposición final con el SIGMIRSU	56

3.2.2 Caracterización fisicoquímica del sitio de disposición final de los municipios seleccionados	64
3.3 ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ENTRE CLAUSURA O REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN.....	73
3.3.1 Evaluación técnica	73
3.3.2 Evaluación ambiental	79
3.3.3 Evaluación Económica.....	82
3.3.4 Informe Técnico de Evaluación de Impacto Ambiental	88
3.4 ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ÁGIL PARA CLAUSURA VERSUS REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL	88
3.4.1 Evaluación técnica	90
3.4.2 Evaluación ambiental y socioeconómica	95
CONCLUSIONES	100
4. REFERENCIAS	102
ANEXOS	123
ANEXO A. INFORMACIÓN GENERAL PARA VERIFICACIÓN	123
ANEXO B. TABLA DE VERIFICACIÓN	124
ANEXO C. INFORMACIÓN GENERAL PARA VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN	132
ANEXO D. TABLA DE VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN	133
ANEXO E. INFORMACIÓN GENERAL PARA VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN	141
ANEXO F. TABLA DE VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN.....	142
ANEXO G. MATRIZ DE LEOPOLD DEL SDF DE ZACUALPAN	150
ANEXO H. MATRIZ DE LEOPOLD DEL SDF DE POLOTITLÁN.....	151
ANEXO I. ESTANCIA EN EL RESA DE TENANGO DEL VALLE	152

ANEXO J. INFORME TÉCNICO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE ZACUALPAN, ESTADO DE MÉXICO	159
ANEXO K. INFORME TÉCNICO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE POLOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO	160

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación de los residuos según la LGPGIR	2
Tabla 1.2 Composición porcentual promedio de los residuos sólidos urbanos	6
Tabla 1.3 Cronología de la gestión de residuos	8
Tabla 1.4 Clasificación de RESA.....	16
Tabla 1.5 Trabajos en los que se usa los SIG en temas de RSU.....	31
Tabla 1.6 Documentos que tienen los lineamientos requeridos para la clausura o rehabilitación	36
Tabla 1.7 Trabajos sobre saneamiento y clausura o rehabilitación SDF	36
Tabla 2.1 Técnicas analíticas de RSU.....	43
Tabla 2.2 Parámetros analíticos utilizados para caracterizar lixiviados.....	44
Tabla 2.3 Rangos de valor del Nivel de significancia	46
Tabla 3.1 Variables utilizadas en el método AHP.....	49
Tabla 3.2 Información del DBGIR.....	49
Tabla 3.3 Matriz de comparación por pares de los criterios	51
Tabla 3.4 Ponderación de subcriterios	52
Tabla 3.5 Ponderación final.....	54
Tabla 3.6 Municipios con ponderación más alta.....	55
Tabla 3.7 Información del MIRSU de los municipios	55
Tabla 3.8. Caracterización fisicoquímica de residuos del SDF de Zacualpan	67
Tabla 3.9 Resultados de la caracterización de lixiviados del SDF de Polotitlán, EdoMéx.	70
Tabla 3.10 Cumplimiento de NOM-083-SEMARNAT-2003 y áreas de oportunidad según la Tabla de Verificación para Zacualpan en época de lluvias.....	75
Tabla 3.11 Cumplimiento de NOM-083-SEMARNAT-2003 y áreas	

de oportunidad según la Tabla de Verificación en la primera visita a Polotitlán.....	77
Tabla 3.12 Cumplimiento de NOM-083-SEMARNAT-2003 y áreas de oportunidad según la Tabla de Verificación en la segunda visita a Polotitlán.....	78
Tabla 3.13 Trabajos clasificados de acuerdo con el tipo de costo mencionado	83
Tabla 3.14 Costos propuestos para el análisis económico.....	83
Tabla 3.15 Consideraciones para el estudio	84
Tabla 3.16 Capacidad del sitio de Zacualpan.....	85
Tabla 3.17 Comparación de las opciones de tratamiento del sitio de Zacualpan..	85
Tabla 3.18 Costos social, técnico y ambiental de la celda de Zacualpan.....	85
Tabla 3.19 Capacidad del sitio de Polotitlán.....	87
Tabla 3.20 Comparación de las opciones de tratamiento del sitio de Polotitlán....	87
Tabla 3.21 Costos social, técnico y ambiental de la celda de Polotitlán.....	87
Tabla 3.22 Estudios y análisis previos requeridos para la construcción.....	93
de sitios de disposición final	93
Tabla 3.23 Diferencias entre sitios tipo D y los tipos A, B y C, NOM-083-SEMARNAT-2003	94
Tabla 3.24 Normas para caracterizar residuos sólidos y suelo	95
Tabla 3.25 Normas para caracterizar cuerpos de agua y lixiviados	96
Tabla 3.26 Generación de lixiviados de acuerdo con el sitio de disposición final..	98
Tabla AI.1 Toneladas recibidas en el RESA de Tenango del Valle	153
Tabla AI.2 Consumo de Compactadora modelo CAT 826 C	153
Tabla AI.3 Resultados de la caracterización de la laguna de lixiviados del RESA de Tenango del Valle, EdoMéx.....	155
Tabla AI.4 Resultado de caracterización de biogás	156

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.1 Generación Total y per cápita por regiones del mundo	3
Figura 1.2 Generación Total y per cápita de RSU en México.....	4
Figura 1.3 Generación estimada de RSU por entidad federativa	4
Figura 1.4 Composición de RSU en el mundo y regiones	5
Figura 1.5 Composición promedio de residuos sólidos urbanos	7
Figura 1.6 Generación de RSU por tipo de residuo.....	7
Figura 1.7 Instrumentos legales para la GIRSU	10
Figura 1.8 Distribución del apoyo a programas asociados a la gestión de integral de residuos sólidos urbanos.....	11
Figura 1.9 Manejo Integral de RSU	12
Figura 1.10 Jerarquía del MIRSU.....	13
Figura 1.11 Tiradero a cielo abierto.....	15
Figura 1.12 Sitio de Tierra Controlado.....	15
Figura 1.13 Relleno Sanitario	16
Figura 1.14 Disposición Final de RSU 2013.....	18
Figura 1.15 Rellenos sanitarios por entidad federativa, 2012.....	18
Figura 2.1 Esquema de actividades del estudio propuesto	39
Figura 2.2 Cedula de entrevista	42
Figura 2.3 Triangulo de texturas.....	45
Figura 2.4 Matriz de Leopold.....	46
Figura 3.1 Municipios delimitados del área de estudio	48
Figura 3.2 Grafica de cajas con valores extremos	50
Figura 3.3 Árbol jerárquico	51
Figura 3.4 Matriz normalizada	53

Figura 3.5 Restricción por aeropuertos	56
Figura 3.6 Restricción por áreas naturales protegidas	57
Figura 3.7 Restricción por cuerpos de agua.....	57
Figura 3.8 Restricción por ríos	58
Figura 3.9 Restricción por fallas y/o fracturas	58
Figura 3.10 Restricción por zonas arqueológicas.....	59
Figura 3.11 Restricción por manchas urbanas	59
Figura 3.12 Restricción por localidades mayores a 2500 habitantes	60
Figura 3.13 Restricción por aeropuertos	60
Figura 3.14 Restricción por áreas naturales protegidas	61
Figura 3.15 Restricción por cuerpos de agua.....	61
Figura 3.16 Restricción por ríos	62
Figura 3.17 Restricción por fallas y/o fracturas	62
Figura 3.18 Restricción por zonas arqueológicas.....	63
Figura 3.19 Restricción por manchas urbanas	63
Figura 3.20 Restricción por localidades mayores a 2500 habitantes	64
Figura 3.21 Distancia del SDF al centro de Zacualpan, EdoMéx.	65
Figura 3.22 Distancia del SDF al centro de Polotitlán, EdoMéx.	65
Figura 3.23 Caracterización de residuos en el SDF de Zacualpan, lluvias 2016...	67
Figura 3.24 Puntos de muestreo de lixiviados.....	68
Figura 3.25 Laguna de lixiviados ubicada al noreste del sitio de disposición final de Polotitlán, EdoMéx.	68
Figura 3.26 Pozo de venteo del sitio de disposición final de Polotitlán, EdoMéx. .	71
Figura 3.27 Puntos de muestreo de suelo en el sitio de disposición final de Polotitlán, EdoMéx.....	72
Figura 3.28 Muestreo de suelo en el sitio de disposición final	

de Polotitlán, EdoMéx.....	72
Figura 3.29 Prueba granulométrica de suelo en el sitio de disposición final de Polotitlán, EdoMéx.	73
Figura 3.30 Reunión con autoridades del municipio de Polotitlán, EdoMéx.	78
Figura 3.31 Sugerencias en el Sitio de Disposición Final de Polotitlán	79
Figura 3.32 Área de la celda actual del sitio de Zacualpan.	84
Figura 3.33 Área de la celda actual del sitio de Polotitlán.	86
Figura 3.34 Contenido de la Manifestación de Impacto Ambiental tipo Regional ..	88
Figura 3.35 Metodología propuesta.....	89
Figura 3.36 Restricciones de ubicación de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003.....	91
Figura Al.1 Registro y acomodo de vehículos que disponen en el RESA	152
Figura Al.2 a) Punto de muestreo b) Toma de muestra en punto de muestreo...	154
Figura Al.3 a) Extracción de lixiviados b) Recirculación de lixiviados	155
Figura Al.4 Mediciones de biogás en pozos de venteo	156

ACRÓNIMOS

AHP	Analytic Hierarchy Process
Bio-RESA	Biorrelleno
CANP	Carece de áreas naturales protegidas
CE	Cedula de Entrevista
CH ₄	Metano
CIF	Características de infraestructura faltantes
COF	Características de operación faltantes
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
CMM	Centro Mario Molina
CO ₂	Dióxido de Carbono
DBGIR	Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DOF	Diario Oficial de la Federación
DP	Densidad poblacional
EMED	Edad media
ESRI	Enviromental System Research Institute
ET	Estación de transferencia
FOfi	Fuentes Oficiales
GC	Grado de colaboración
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GEN	Generación
GIA de UC	Grupo de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cantabria
GIRSU	Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos
IDH	Índice de desarrollo humano
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INMUN	Ingreso municipal
km	kilometro
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
LMP	Límite máximo permisible
m	metro
MIA	Manifestación de Impacto Ambiental
MIRSU	Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
NQ	No cuantificable
NR	No reportado
NSDF	Numero de SDF
PEPGIR	Programas de Gestión Integral de Residuos Sólidos
PET	Polietileno Tereftalato
PEXT	Pobreza extrema
PIBMUN	Producto interno bruto municipal
PIILB	Población con ingreso inferior a la línea de bienestar
PIILBM	Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo
PMIRSU	Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
REDISA	Red Iberoamericana en Gestión y Aprovechamiento de Residuos
REG	Reglamento sobre RSU
RESA	Relleno Sanitario
RI	Riesgo de inundación
RME	Residuos de Manejo Especial
RP	Residuos Peligrosos
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
TCA	Tiradero a Cielo Abierto
SDF	Sitio de Disposición Final
SEDESOL	Secretaría de Bienestar de México
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIGMIRSU	Sistema de Información Geográfica para el Manejo Integral de los RSU

SNC	Sitio no controlado
SOMERS	Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología aplicada a Residuos Sólidos
ST	Sólidos Totales
STC	Sitio de Tierra Controlado
SVT	Sólidos Volátiles Totales
TRANSF	Transferencia
TRAT	Tratamiento
TSDF	Tipo de SDF
TV	Tabla de Verificación
UE	Unidades económicas
UNEP	United Nations Environment Programme
VULIN	Vulnerabilidad por ingreso

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Comúnmente el término residuo hace referencia a todo lo que es desechado después de haber realizado una actividad y ya no es de utilidad, ya sea por la acción directa del hombre o por las actividades de otros organismos. Los residuos han existido siempre sobre la Tierra, pero se han ido acumulando en el ambiente, ya sea por la velocidad con la que se generan, como por la naturaleza química de éstos, especialmente cuando se dificulta su descomposición e incorporación a los ciclos naturales y es entonces un problema ambiental (Fernández y Sánchez, 2007). Aunado al problema de la acumulación de los residuos se tiene el problema de su disposición, el cual tiene dos vertientes principales: la falta de planeación de los Sitios de Disposición Final (SDF) y la falta de infraestructura de estos. En este apartado se dan a conocer los temas de importancia para desarrollar la investigación.

1.1 RESIDUOS SÓLIDOS

A nivel mundial la palabra residuos tienen significados diferentes, dependiendo de las condiciones locales, así como de los métodos de recolección, lo que dificulta la búsqueda de una definición clara, llegando a la esencia de que son el subproducto no deseado del consumo y la producción (UNEP, 2024a). En México los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (DOF, 2003a). Los residuos sólidos se clasifican de diferentes maneras, en seguida se mencionan algunas de ellas (DOF, 2023a; UNEP, 2024a):

- a) Según el material: orgánicos e inorgánicos.
- b) Según su origen: domésticos, comerciales, provenientes de espacios públicos, institucionales, hospitalarios e industriales.
- c) Según la LGPGIR (Tabla 1.1): residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

Tabla 1.1 Clasificación de los residuos según la LGPGIR

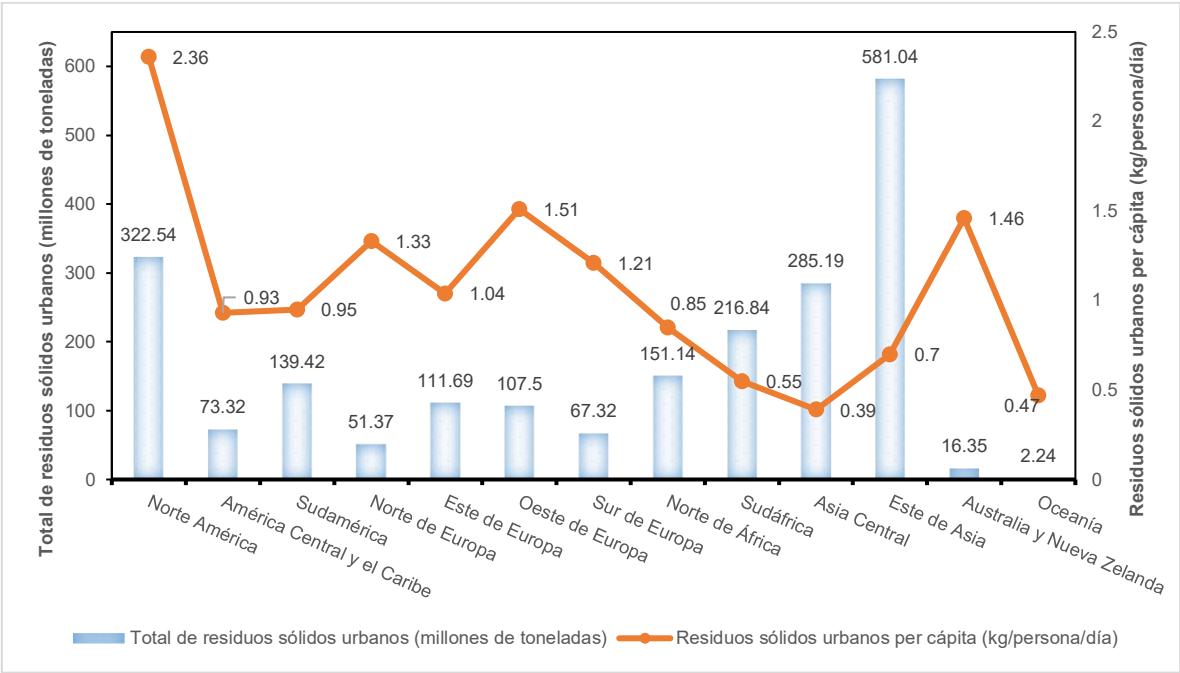
Residuos sólidos urbanos (RSU)	Residuos de manejo especial (RME)	Residuos peligrosos (RP)
Residuos generados en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas; son también los residuos que provienen de establecimientos o de la vía pública, o los que resultan de la limpieza de las vías y lugares públicos y que tienen características como los domiciliarios.	Residuos generados en procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos ni como residuos sólidos urbanos.	Poseen algunas de las características identificadas de peligrosidad y que son: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contienen agentes infecciosos. Así como también los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados por residuos peligrosos.

Fuente: DOF, 2003a

1.1.1 Generación de residuos sólidos urbanos

La generación de residuos en el mundo se estima de 2.1 billones de toneladas por año, esperando un incremento del 56 % para el 2050 (3.8 billones de toneladas por año), en la figura 1.1 se muestra la generación total y per cápita por regiones, donde se puede apreciar que en algunos casos la generación total y la per cápita de RSU

no coinciden, siendo una de las posibles explicaciones la cantidad de personas que habitan cada región, además de que los países con un poder adquisitivo elevado ofrecen una mayor cantidad de productos al mercado, provocando un aumento en la generación per cápita de RSU. En el caso de América central y el Caribe donde se encuentra México, ocupa el 9° lugar en la generación total de RSU contribuyendo con solo el 3.4 % y en cuanto a la generación per cápita ocupa el 8° lugar (UNEP, 2024a; 2024b).

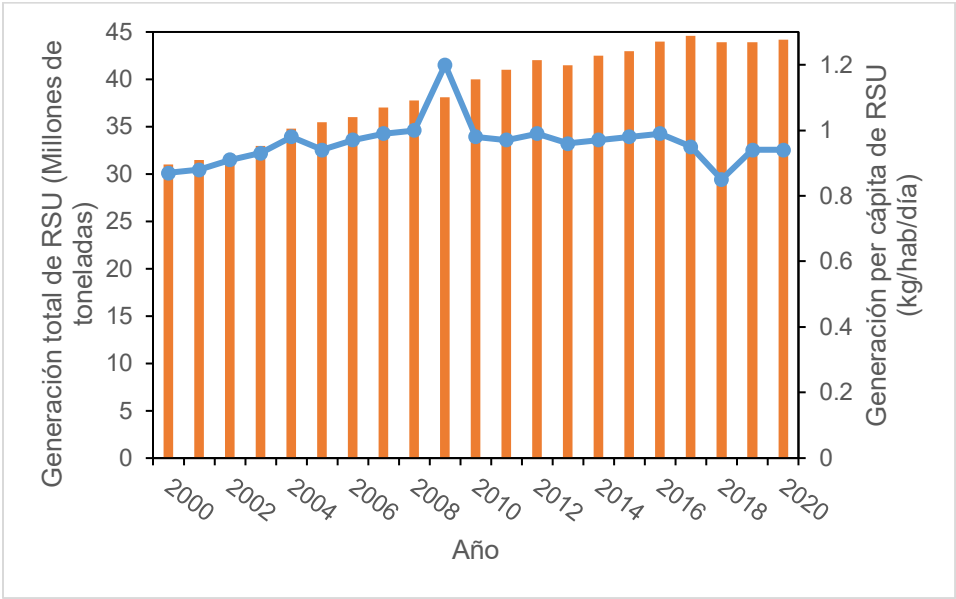


Fuente: UNEP, 2024a; 2024b

Figura 1.1 Generación Total y per cápita por regiones del mundo

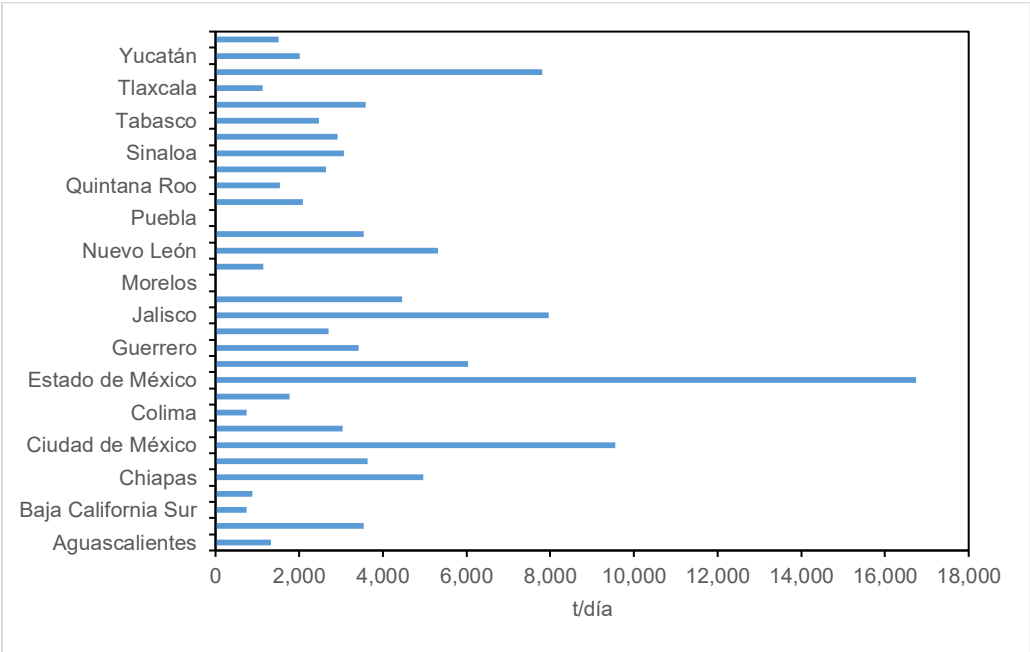
En México, se estima que la generación de RSU ha pasado de 31.0 millones de t a 43.8 t por año del 2000 al 2020 (Figura 1.2), esto representa un incremento del 42.84% (ECOCE, 2023). En el Diagnóstico Básico para la Gestión integral de Residuos (DBGIR), publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en mayo del 2020, se reporta una generación per cápita promedio 0.944 kg/hab/día; con esta generación per cápita promedio y la población de 2015 se estima una generación de residuos en el país de 120,128 t/día. En la figura 1.3 se muestra la generación estimada de RSU, por tamaño de población de

cada entidad federativa, observándose que el Estado de México ocupa el primer lugar, seguido por la Ciudad de México, Jalisco y Veracruz (SEMARNAT, 2020).



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.2 Generación Total y per cápita de RSU en México

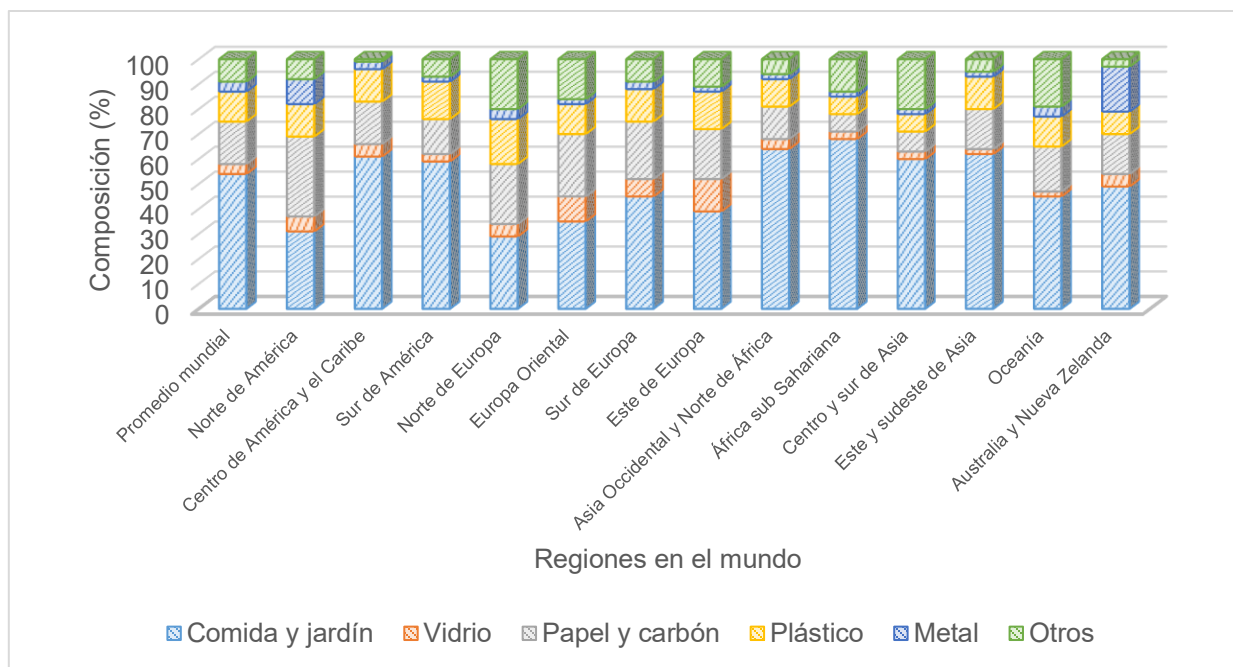


Fuente: SEMARNAT, 2020

Figura 1.3 Generación estimada de RSU por entidad federativa

1.1.2 Composición de residuos sólidos urbanos

La composición de los RSU suele ser variada en el mundo, por cuestiones socioculturales y económicas, por lo que para poder comparar se agrupan en seis subproductos: comida y residuos de jardín, vidrio, papel y cartón, plástico, metal y otros. En la figura 1.4 se muestra la composición promedio mundial y por región, donde los países de ingresos bajos que tienden a tener más localidades rurales, en donde habitualmente no se utiliza materiales de un solo uso, generan porcentualmente pocos residuos plásticos a comparación con los residuos de comida y residuos de jardín; al contrario de los países con un poder económico mayor, que necesitan embalajes para conseguir los alimentos y priorizan la comodidad, generando muchas veces mayor cantidad de estos residuos (Chen 2018; Ellison, Fan y Wilson, 2022; Lozano Lazo, Bojanic Helbingen y Gasparatos 2022).



Fuente: UNEP, 2024a.

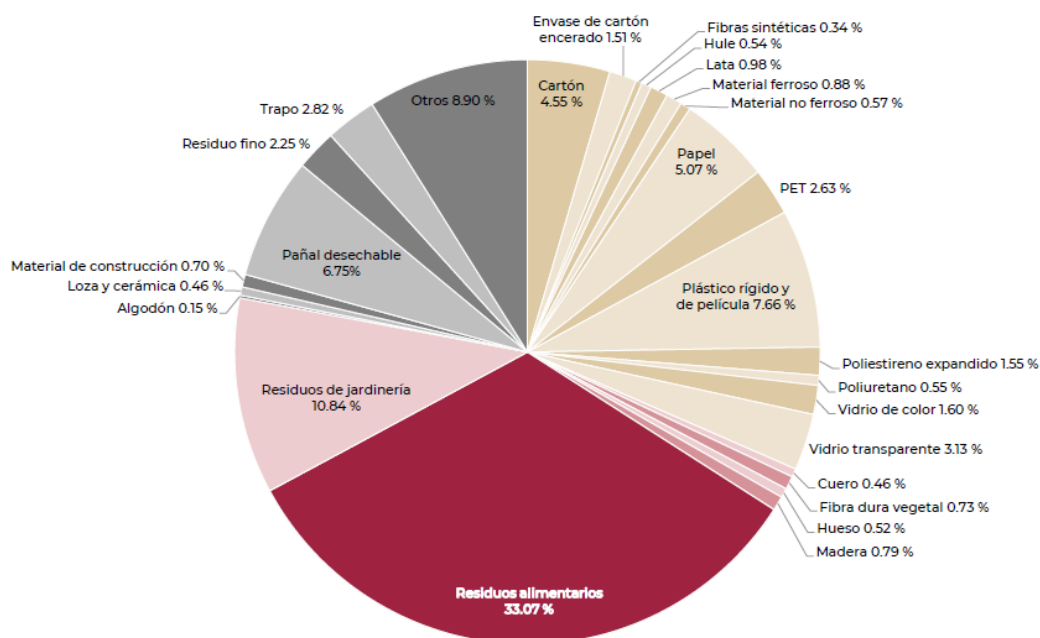
Figura 1.4 Composición de RSU en el mundo y regiones

En México según la NMX-AA-22-1985 existen 26 subproductos que se pueden obtener en los RSU siendo los siguientes los que se encuentran en mayor cantidad: papel, cartón, productos de papel, textiles, plásticos, vidrios, aluminio, metales ferrosos, metales no ferrosos, residuos orgánicos y otros comunes, siendo el papel, cartón, cartón laminado, PET, vidrio y metal los principales materiales revalorizables en el Estado de México (CMM, 2015). La composición promedio de los residuos es la siguiente: 31.56% son susceptibles de aprovechamiento, el 46.42% son residuos orgánicos y el 22.03% son otros residuos como se muestra en la tabla 1.2 y en la figura 1.5 (SEMARNAT, 2020). De acuerdo con la figura 1.6 se observa que los residuos orgánicos han aumentado a lo largo de los años, pasando de 16,104,100 t a 22,664,400 t por año del 2000 al 2016, es decir, se tuvo un incremento del 40.73% (SEMARNAT, 2020).

Tabla 1.2 Composición porcentual promedio de los residuos sólidos urbanos

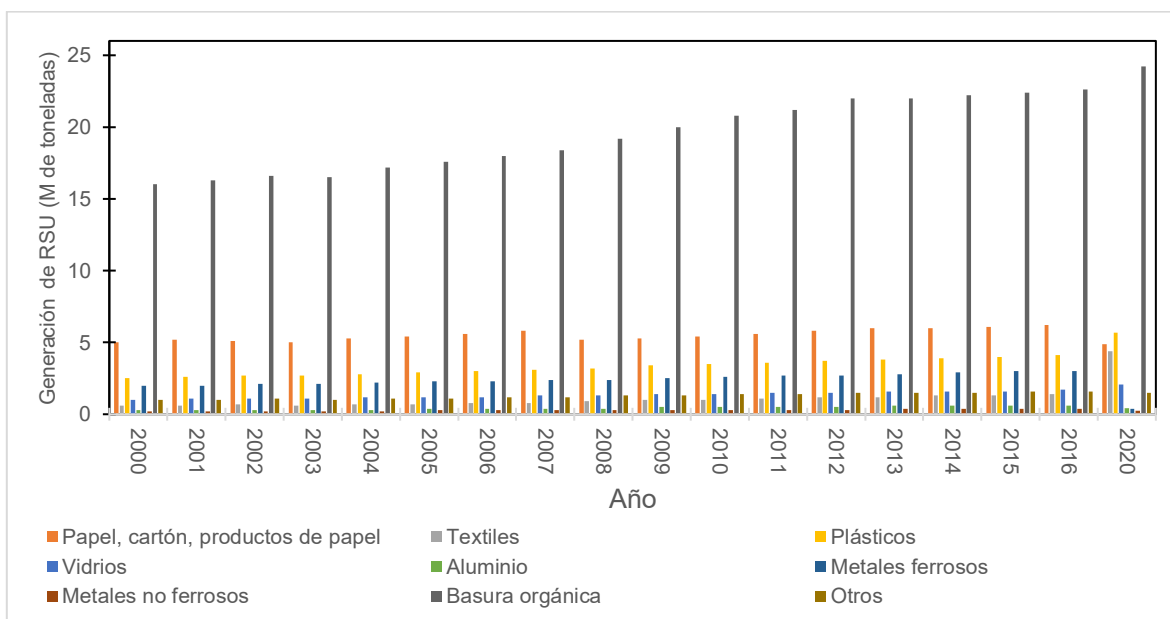
CATEGORÍA	SUBPRODUCTOS	PORCENTAJE
Susceptibles de aprovechamiento 31.55%	Cartón	4.55
	Envase de cartón encerado	1.51
	Fibras sintéticas	0.34
	Hule	0.54
	Lata	0.98
	Materias ferroso	0.88
	Material no ferroso	0.57
	Papel	5.07
	PET	2.63
	Plástico rígido y de película	7.66
	Poliestireno expandido	1.55
	Poliuretano	0.55
	Vidrio de color	1.60
	Vidrio transparente	3.13
Orgánicos 46.42%	Cuero	0.46
	Fibra dura vegetal	0.73
	Hueso	0.52
	Madera	0.79
	Residuos alimentarios	33.07
	Residuos de jardinería	10.84
Otros 22.03%	Algodón	0.15
	Loza y cerámica	0.46
	Material de construcción	0.70
	Pañal desechable	6.75
	Residuo fino	2.25
	Trapo	2.82
	Otros	8.90
Total		100

Fuente: SEMARNAT, 2020



Fuente: SEMARNAT, 2020.

Figura 1.5 Composición promedio de residuos sólidos urbanos



Adaptado: INEGI, 2016; SEMARNAT, 2020.

Figura 1.6 Generación de RSU por tipo de residuo

1.2 GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

Los residuos son una consecuencia de la vida desde los tiempos en que los seres humanos comenzaron a congregarse en tribus, aldeas y comunidades (Tchobanoglous *et al.*, 1994), en la tabla 1.3 se muestran cronológicamente los trabajos en los que se muestra como fue el comienzo de la gestión de residuos.

Tabla 1.3 Cronología de la gestión de residuos		
AÑO	LUGAR	CONTRIBUCIÓN
^{f)} 3000 A. de C.	Creta, Grecia	Primer sitio de disposición final (se excavo como un enorme agujero en el que se vertían los desperdicios).
^{f)} 2100 A. de C.	Creta, Grecia	Las casas contaban con baños conectados a un sistema de alcantarillado.
^{f)} 2100 A. de C.	Heracleopolis, Egipto	Los barrios de elite y religiosos contaban con procedimientos de recolección y disposición de todos los desechos.
^{f)} 1500 A. de C.	Creta, Grecia	Contaba con áreas específicas para la disposición de residuos orgánicos.
^{b)} 500 A. de C.	Atenas, Grecia	Ley por la cual los residuos debían ser depositados a no menos de 0.62 km (1 milla) de distancia de la ciudad
^{b)} 500 A. de C.	Roma, Italia	sistema de alcantarillado considerado como “embrión en el tratamiento de residuos
^{g)} 200 D. de C.	China	Policía sanitaria y policía de tráfico.
^{e) y h)} Entre 1325 y 1521	Tenochtitlan, México	Barrido y regado de calles antes de amanecer
^{e)} Siglo XII	Ciudades Europeas	Comenzaron a pavimentar sus calles y se inició con la promulgación de leyes y prohibiciones en relación con la disposición de residuos.
^{a)} Siglo XIV	Gran Bretaña	Introdujo los rakers (hombres de la basura), cuyo trabajo era remover los residuos de la calle semanalmente.
^{b)} 1506	Paris, Francia	Se empezó a organizar la recolección de residuos.
^{c)} Entre 1760 y 1840 (Revolución industrial)		Inicio con la ideología de “circulación de materiales”, surgiendo los primeros esfuerzos de reciclar; sin embargo, también trajo consigo una trágica transformación física que ocasiono en una crisis ambiental.

Fuente: ^{a)}Ace Disposal; ^{b)}Balet, 2011; Barles, ^{c)}2005; ^{d)}2012; ^{e)}Durán, 1995; ^{f)}Melosi, 1981; ^{g)}Savas, 1977; ^{h)}Torquemada, 1986.

Tabla 1.3 Cronología de la gestión de residuos (Continuación)

Año	Lugar	Contribución
d) Siglo XX		Se argumento que la gestión de residuos representaba un alto costo y poca ganancia, generando una alta acumulación, aumentando la problemática. Surge el termino residuo como lo conocemos y se abandona la idea de valorizarlo, se centra en almacenar y eliminar al menor costo (incinerar sin recuperación, triturar, descarga de residuos en ríos o vertederos).

Fuente: ^{a)}Ace Disposal; ^{b)}Balet, 2011; ^{c)}Barles, 2005a, ^{d)}2012b; ^{e)}Durán, 1995; ^{f)}Melosi, 1981; ^{g)}Savas, 1977; ^{h)}Torquemada, 1986.

La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) comprende el sistema de manejo de los RSU, así como funciones legales, financieras, administrativas, de planificación y de ingeniería, enfocadas en los RSU; la cual, con base en el desarrollo sostenible, tiene como objetivo primordial la reducción de los residuos enviados a disposición final. Ello deriva en la preservación de la salud humana y la mejora de la calidad de vida de la población, así como el cuidado del ambiente y la conservación de los recursos naturales. Para llevar a cabo la GIRSU, se debe de tener en cuenta dos aspectos primordiales, los referentes a la gobernanza y los técnicos (Cárdenas-Ferrer *et al.*, 2019; DOF, 2003a).

1.2.1 Aspectos de gobernanza

Para regular la GIRSU se debe contar con instrumentos legales, es decir leyes, reglas y normas que poseen cierta jerarquía y especificidad (Figura 1.7). En México, existen distintos instrumentos legales para atender el tema de los residuos, en ellos se menciona la importancia de contar con un ambiente saludable y limpio, algunos son:

a) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

- b) Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)
- c) NOM-083-SEMARNAT, NOM-098-SEMARNAT y NOM-161-SEMARNAT



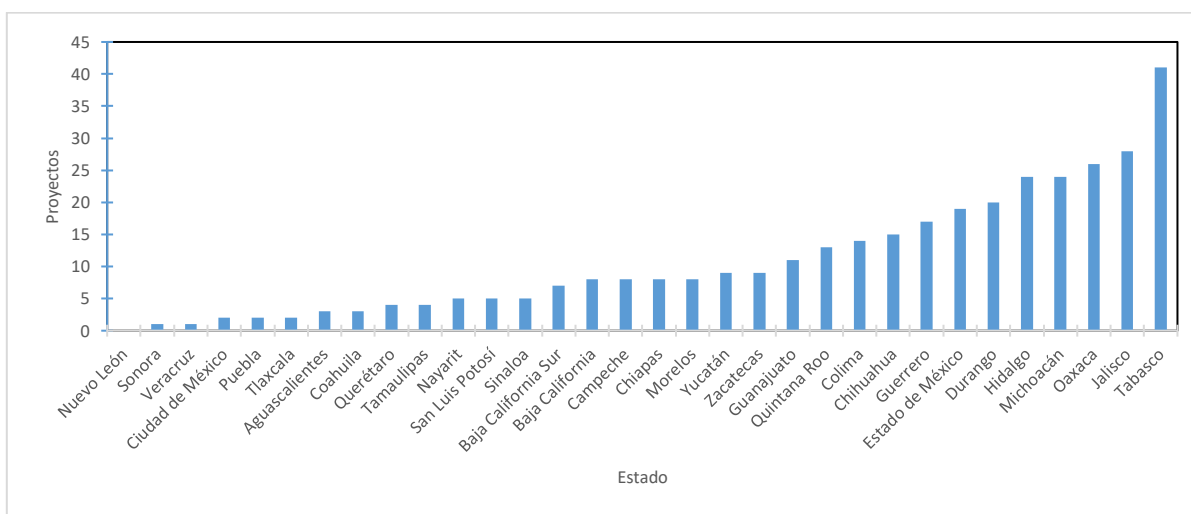
Figura 1.7 Instrumentos legales para la GIRSU

La GIRSU es la manera que plantea la LGPGIR que todos los municipios del país deben aprovechar y manejar sus RSU, considerando que es muy importante que desarrollen acciones tales como:

- Manejo Integral de RSU.
- Desarrollo y aplicación de la normatividad.
- Educación y capacitación.
- Planeación, desarrollo y administración de acciones para aprovechar y valorar los residuos.
- Construcción de infraestructura como rellenos sanitarios o plantas de tratamiento, entre otros.
- Monitoreo, supervisión y evaluación de las distintas acciones que se realizan.

De acuerdo con la LGPGIR (DOF, 2003a), los estados y municipios tienen la facultad de diseñar sus propios programas y planes para gestionar de manera adecuada los residuos bajo su competencia; con respecto a esto, la SEMARNAT en el Diagnostico Básico para la Gestión Integral de Residuos (2020), en México se

cuenta con 32 Programas Estatales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PEPGIR), 76 Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PMPGIR) y 21 Programas Intermunicipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, además de que se reporta que durante el periodo de 2013 a 2018 se otorgaron 2 mil 373 millones de pesos a proyectos asociados a la gestión integral de RSU, los cuales se distribuyeron como se muestra en la figura 1.8.

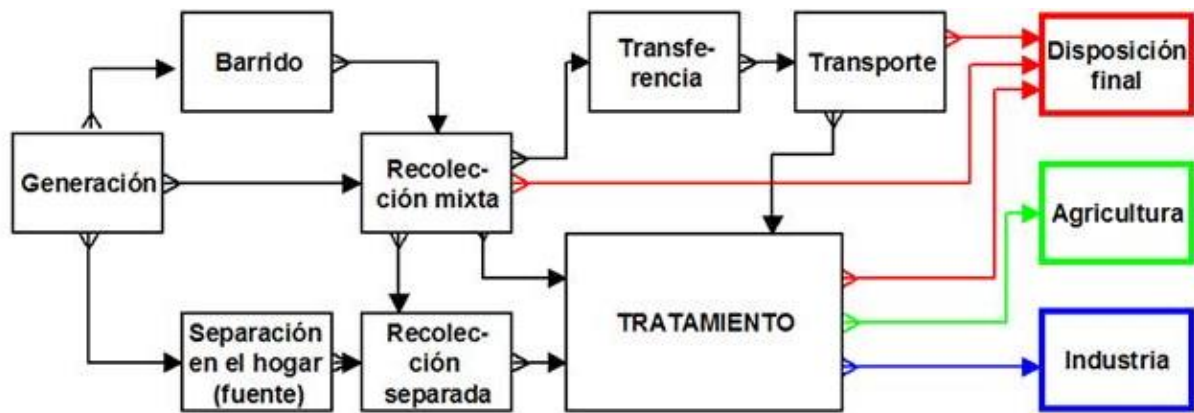


Fuente: SEMARNAT, 2020.

Figura 1.8 Distribución del apoyo a programas asociados a la gestión de integral de residuos sólidos urbanos

1.2.2 Aspectos técnicos

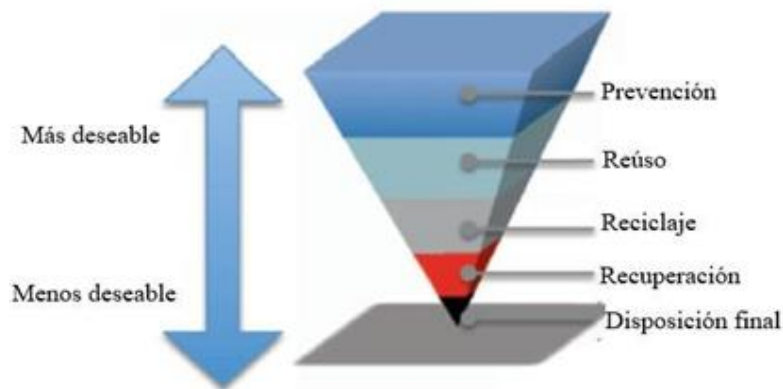
El Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos (MIRSU) forma parte de la GIRSU y es un conjunto de etapas o subsistemas (Figura 1.9), que tienen como propósito principal manejar los RSU cumpliendo con objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social, lo cual se traduce en la protección de la salud de la población y del medio ambiente; se conforma por los siguientes subsistemas: generación, barrido, separación desde la fuente, recolección separada, transporte, transferencia, valorización, aprovechamiento y tratamiento y disposición final (DOF, 2015; Tchobanoglous *et al.*, 1994; Wehenpohl & Hernández, 2006).



Fuente: SEMARNAT, 2008.

Figura 1.9 Manejo Integral de RSU

- a) Generación. Es la acción de producir residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo. Para poder planear y diseñar un MIRSU es fundamental conocer qué y cuánto se genera en una localidad. Para ello se realizan estudios de composición y generación de residuos.
- b) Barrido. Es la limpieza de los residuos sólidos depositados en la vía pública, responsabilidad del municipio, a menos que el Reglamento de Limpia indique que son los habitantes los que deben barrer el frente de sus casas; tiene como propósitos cuidar la salud humana, cuidar que la basura no dañe los servicios públicos de la localidad y cuidar su imagen. Existen dos tipos: manual y mecánico.
- c) Separación desde la fuente. Consiste en clasificar los RSU desde el lugar donde son originados para aprovecharlos y lograr que una menor cantidad lleguen a los SDF (Figura 1.10), mediante el principio de las “Tres R’s” (DNP, 2022):
 - Reducir la cantidad de productos usados que necesiten tratamiento o disposición final.
 - Reusar repetidamente un producto o parte de él.
 - Reciclar los componentes del producto como materia prima.



Fuente: Idiano, 2016.

Figura 1.10 Jerarquía del MIRSU

- d) Recolección y transporte. Consiste en la colecta de los residuos en las casas y comercios y su transporte a las estaciones de transferencia, plantas de tratamiento o SDF, según sea el caso. Esta etapa es la más costosa del MIRSU, su costo puede variar entre \$130.00 y \$250.00 por tonelada de residuos. Para establecer un sistema de recolección se deben considerar los aspectos como: el método de recolección, frecuencia y horario de recolección, tipo de vehículos de recolección y cantidad y diseño de rutas (Flores Bernal, s.f.).
- e) Recolección separada. Las posibilidades para hacer la recolección en estas condiciones son:
- Recoger residuos orgánicos e inorgánicos en días diferentes
 - Recoger ambos residuos en los mismos días, pero con vehículos distintos
 - Recoger residuos diferenciados el mismo día, en un mismo vehículo, pero con adaptaciones de separación

Todo programa de recolección separada debe incluir un programa de capacitación y educación ambiental para la ciudadanía de la localidad donde se aplicará. Es conveniente aclarar que no se da una separación al 100% en prácticamente ningún lugar. También vale la pena considerar que es importante separar sólo lo que se va a vender o aprovechar, de otra manera, sólo se agregan costos económicos y sociales al MIRSU.

- f) Transferencia. Cuando la generación de residuos es mucha (como en las grandes ciudades) o los sitios de tratamiento o SDF están muy lejos (a más de 30 minutos), debido a que los costos de transporte pueden ser muy altos. Esto obliga a establecer estaciones de transferencia, que acortan las distancias para los vehículos de recolección. Existen tres tipos de estaciones de transferencia: Carga directa, Carga indirecta (almacenamiento y carga) y Mixta.
- g) Tratamiento. El tratamiento de los RSU tiene que ver con su valorización y aprovechamiento; por lo que son los procedimientos que pueden aplicárseles para cambiar sus características o reducir su volumen, esto permite reducir daños al ambiente, aumentar el tiempo de vida de los SDF y también ofrece la posibilidad de aprovecharlos para obtener un beneficio. Los tratamientos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de proceso que requieren: físico, químico y biológico.
- h) Disposición final. Es la última etapa del MIRSU y debe hacerse de manera que el impacto negativo de los residuos concentrados en un sitio sea el menor posible, la forma ideal de disponerlos es en un Relleno Sanitario (RESA).

1.3 SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

De acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004), un SDF es un lugar donde se depositan los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en forma definitiva. Los distintos tipos de sitios de disposición final que existen se presentan a continuación (Cortinas de Nava, 2018; Rojas & Sahagún, 2012; Turcott-Cervantes, 2018):

- a) Sitio No Controlado (SNC). Es un sitio seleccionado sin estudio alguno para el depósito de residuos sólidos sin ningún tipo de control, por lo que contaminan el aire, el agua y el suelo. Son comúnmente barrancas, ríos y orillas de carreteras (Figura 1.11).



Figura 1.11 Tiradero a cielo abierto

- b) Sitio de tierra controlado (STC). Es un sitio que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en lo que se refiere a obras de infraestructura y operación, pero no cumple con las especificaciones de impermeabilización del suelo, por lo que también genera problemas de contaminación del suelo y del agua subterránea (Figura 1.12).



Figura 1.12 Sitio de Tierra Controlado

- c) Relleno sanitario (RESA). Es obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de RSU y RME, con el fin de controlar, a través de la compactación en infraestructuras adicionales, los impactos ambientales (Figura 1.13).



Fuente: Rodríguez, 2016.

Figura 1.13 Relleno Sanitario

Dependiendo del tratamiento previo que se le realice a los RSU, los RESA se clasifican como se muestra en la tabla 1.4

Tabla 1.4 Clasificación de RESA

Sin pretratamiento	Tradicional	Se coloca la basura en celdas utilizando maquinaria pesada para la distribución, homogeneización y compactación.
	Manual	No es necesario adquirir maquinaria pesada para la operación del relleno
Con pretratamiento	Seco	Se acelera y facilita el control del RESA a través de la reducción del volumen RSU por su alta compactación con una prensa embaladora.
	Mecánico – Biológico	Se reduce el volumen de RSU utilizando dos etapas: compactación mecánica y el tratamiento biológico mediante fermentación controlada o digestión aerobia.

Fuente: SEGEM, 2002.

De acuerdo con el tipo de administración y al servicio prestado los RESA pueden ser:

- RESA municipales. Solo un municipio se encarga de la construcción y operación del RESA y el servicio está limitado a su población.
- RESA intermunicipales. Los municipios se asocian e invierten para construir y operar un RESA y su servicio es destinado a la población de dichos municipios.

d) Biorrelleno (Bio-RESA). The Solid Waste Association of North America (SWANA, 2002) define al Bio-RESA como un RESA controlado o una celda de RESA donde las condiciones de líquido y gas son manejadas con el fin de acelerar o mejorar

la bioestabilización de los residuos. El biorelleno incrementa significativamente el grado de descomposición de desechos orgánicos, las velocidades de conversión y la eficacia del proceso sobre la forma en la que ocurriría normalmente en un RESA y se pueden clasificar como se muestra a continuación (Lobo-García *et al.*, 2015; Machado et al., 2009, Tchobanoglous *et al.*, 1994, Marshall, 2007; Reinhart *et al.*, 2002):

- Anaerobio. Consiste en alcanzar los niveles óptimos de humedad de los RSU, principalmente por la recirculación de los lixiviados, para su degradación biológica, ésta ocurre en ausencia de oxígeno y da lugar al biogás, que es una mezcla de gases, donde sus componentes principales son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) y, pequeñas cantidades de varios compuestos trazas.
- Semiaerobio. En esta técnica se acelera la degradación de los RSU en condiciones aeróbicas favoreciendo la aireación natural de la celda y se extraen los lixiviados.
- Aerobio. Consiste en la adición de líquido, habitualmente por recirculación de lixiviado y se inyecta aire al interior de la celda para suministrar oxígeno y la degradación de RSU se lleva a cabo de forma aeróbica.
- Híbrido. Surge de la combinación de las técnicas de anaerobio y aerobio. Los RSU de las zonas superiores se airean intermitentemente para acelerar la degradación de la fracción orgánica y se intenta aprovechar también de la formación de biogás en condiciones anaeróbicas en los RSU más enterrados.

En México, de acuerdo con datos de INEGI (2016), el 67% de los residuos generados tuvieron una disposición final en RESA, 20% en TCA, 8% en STC y únicamente 5% fueron reciclados durante el año 2013 (Figura 1.14).

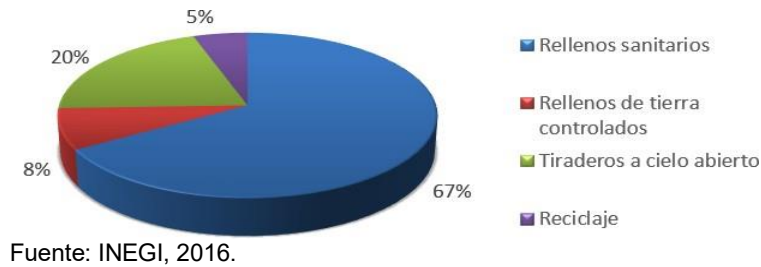


Figura 1.14 Disposición Final de RSU 2013

La cantidad de RESA en el país creció de manera significativa entre 1995 y 2012, incrementándose de 30 a 260, con lo cual la capacidad estimada de almacenamiento total creció de 5.95 a 27.98 millones de toneladas. En el año 2012, todas las entidades federativas, a excepción de la Cd. De México, contaron con RESA, los estados con mayor cantidad fueron San Luis Potosí (26), Puebla (18), Guanajuato (17), EdoMéx (16), Hidalgo (15), Veracruz y Nuevo León (cada uno con 14 rellenos) (Figura 1.15).

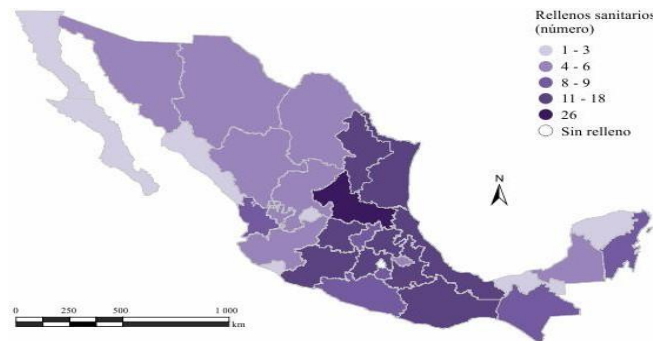


Figura 1.15 Rellenos sanitarios por entidad federativa, 2012

1.4 IMPACTOS AL AMBIENTE POR TIRADEROS A CIELO ABIERTO

La disposición final de los RSU en tiraderos a cielo abierto da lugar a la generación de diferentes productos contaminantes, derivados de los procesos de descomposición microbiana. La contaminación puede presentarse en forma sólida (polvo y materiales ligeros arrastrados por el viento), líquida (lixiviado) y gaseosa (biogás), o incluso como partículas sólidas suspendidas en el lixiviado o en el humo de incendios provocados y auto incendios eventuales en los tiraderos.

El levantamiento de polvo y arrastre de residuos ligeros como plásticos, papeles y envolturas ocurre con frecuencia en tiraderos a cielo abierto donde no se cubren los residuos, lo que provoca problemas en la actividad agrícola y en el tránsito vehicular en los alrededores. Esto representa un impacto estético negativo al paisaje, así como una potencial contaminación directa al medio ambiente. Por otro lado, resultado del contacto de los residuos dispuestos con las aguas pluviales infiltradas, se genera lixiviado que, por su alto contenido de elementos contaminantes, puede ser un peligro potencial de contaminación al suelo y a las aguas freáticas si no se le da un manejo adecuado. Además, el biogás generado está compuesto mayormente de metano y bióxido de carbono, gases que pueden contribuir de manera importante a la aportación de gases de efecto invernadero e incrementar el calentamiento global del planeta (Parlamento Europeo, 2023)

Una mala práctica de disposición final de los RSU puede causar efectos nocivos al ambiente y a la salud, como los que se describen a continuación (Cortinas de Nava, 2018; Kiss & Encarnación, 2006):

- a) Como consecuencia directa de un vertido descontrolado o disposición inadecuada de los residuos, aunado a las condiciones calurosas en la mayor parte del territorio mexicano y a las altas precipitaciones en la época de lluvias, la población se expone a un alto riesgo debido a posibles infecciones y epidemias transmitidas por el aire, agua y vectores de fauna nociva.
- b) La disposición de residuos en SDF que no cuentan con un subsuelo impermeable u obras de ingeniería para evitar el flujo de contaminantes hacia el manto acuífero, puede incidir en la contaminación del suelo y del manto freático, lo que se traduce en un riesgo de afectación al ecosistema, recursos naturales y finalmente, por vía indirecta, a la salud humana.
- c) Otro riesgo del manejo inadecuado es la posibilidad de incendios, sea de modo intencional, derivado de un descuido humano o incluso por el auto incendio de la basura, provocando por ende el deterioro del suelo y de la vegetación, así como la contaminación del aire con humo, ceniza y gases tóxicos, entre otros.

- d) El polvo y los residuos ligeros levantados por el viento, así como los materiales arrastrados por posibles escorrentías superficiales, pueden llegar a los terrenos de cultivo y caminos cercanos, estorbando la actividad agrícola y el tránsito vehicular, aunado al efecto antihigiénico e impacto estético desagradable que ello produce.
- e) La descomposición de los residuos sólidos urbanos que tienen un alto contenido de materia orgánica (más de 50% en México), conlleva a la generación de líquidos y gases indeseables, lo cual significa un riesgo, directo o indirecto, a la salud pública dependiendo del contacto de la población con dichas emisiones.
- f) El alto porcentaje de materia orgánica entre los residuos favorece la proliferación de roedores e insectos e inclusive aves de carroña, asociados a la propagación de enfermedades y epidemias.
- g) El impacto estético negativo en el paisaje alrededor de los SDF sin control adecuado afecta no sólo a la gente que vive en la zona, sino también la plusvalía socioeconómica de la región.

1.5 CLAUSURA Y REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL

Al cerrar o rehabilitar un SDF se deben de llevar distintas acciones para asegurar que el sitio no impactara a sus alrededores, algunas de los procedimientos son los que se describen en los siguientes puntos (SEDESOL, 2004; SEMARNAT, 2010).

1.5.1 Clausura y Saneamiento

Además de los lineamientos y criterios del manual publicado por la Secretaría de Bienestar de México (SEDESOL) (2004), se cuenta con la “Guía para la realización de planes de regularización conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003” (SEMARNAT & GTZ, 2005); donde se observa que, en muchos casos la clausura y el saneamiento de un SDF, van de la mano:

- a) La clausura del SDF debe de entenderse como la suspensión definitiva del

depósito de residuos sólidos debido al agotamiento de su vida útil, a sus efectos de contaminación al ambiente o bien a las molestias y daño a la sociedad (Linersintallers, 2012 + otra CITA de EPA). Por lo tanto, esta actividad no contempla ninguna acción de control ambiental excepto la restricción de la entrada de residuos. Dependiendo de los recursos disponibles y la dimensión del TCA, se pueden establecer dos alternativas para la clausura: la clausura inmediata del sitio (clausura definitiva) o la adaptación de la operación como relleno sanitario y posteriormente la clausura (clausura transitoria). La clausura de cualquier SDF de residuos sólidos (tiradero o relleno sanitario), es necesaria cuando se tienen las siguientes condiciones (SEDESOL, 2004):

- Cuando un sitio está por alcanzar su capacidad volumétrica disponible, misma que está en función de las características topográficas, de la facilidad de operación, así como de las condiciones de estabilidad de los residuos depositados.
- Cuando el sitio representa un serio problema para el ambiente y la salud de la población, ya sea por la falta de control o por las características inadecuadas del sitio en donde éste se encuentre.
- Cuando causa molestias importantes a los vecinos y se tiene una queja pública.
- Cuando se implementa un programa de reordenamiento del sistema de aseo urbano a nivel local o regional.

Si es evidente la clausura de un SDF, de deberá elaborar un Plan de Clausura, el cual deberá ser consistente con el uso del suelo de la zona en que se encuentre el SDF, de tal manera que el área recuperada se integre adecuadamente a su entorno, o bien que las áreas recuperadas puedan ser utilizadas para fines recreativos y para áreas verdes. Para la Clausura de un TCA se deben considerar las siguientes etapas:

- Etapa preliminar a la Clausura. Esta fase considera el desarrollo de estudios básicos que servirán de fundamento para definir los criterios y lineamientos

que gobernarán el diseño de la clausura y saneamiento del sitio. Las actividades que deben incluirse en esta etapa. Los estudios básicos son (SEDESOL, 2004): Mecánica de suelos, Geofísica, Topografía, Climatología y Meteorología y, Geohidrología.

- Etapa de clausura. En esta fase se realizará principalmente el movimiento, compactación y sellado de los residuos sólidos.
- Etapa de postclausura. Esta etapa prácticamente estará orientada a la construcción de sistemas de control ambiental, e iniciará una vez que los residuos sólidos hayan sido cubiertos en su totalidad. Las obras de control que se construirán durante esta etapa son:
 - Construcción de sistemas de control de escurrimientos.
 - Construcción de sistemas de control de biogás y lixiviados.
 - Construcción de sistemas de monitoreo de agua subterránea, biogás, lixiviados, asentamientos diferenciales y estabilidad de taludes.
 - Colocación de suelo orgánico (tierra orgánica) sobre la cubierta del sitio saneado.
 - Colocación de cubierta vegetal (Pasto y especies vegetales).
 - Colocación de barrera vegetal.
 - Instalaciones para mantenimiento y control (caseta de control, cercado perimetral, oficinas, etc.).
- Etapa a largo plazo. Una vez clausurado el sitio de disposición final, éste sufrirá cambios con respecto al espacio y tiempo, debido a la degradación de los residuos sólidos; a la movilidad de los productos de esta degradación (biogás, orgánicos volátiles y lixiviados); a los efectos climáticos; alteraciones geológicas; sismos, etc., siendo indispensable vigilar y dar un seguimiento a estos sitios en un largo plazo (30 años). Para esta etapa, se recomiendan dos actividades básicas: la primera, consiste en dar mantenimiento a la cubierta final del sitio y a las instalaciones construidas para el control ambiental del sitio; de tal forma que se minimice el efecto hacia el ambiente. La segunda se refiere a la identificación de los posibles problemas de contaminación

ocasionados por el sitio clausurado, así como asegurar el funcionamiento de los sistemas de control ambiental, mediante el monitoreo de diferentes componentes relacionados con la disposición de residuos sólidos (biogás, lixiviados, aguas subterráneas e inestabilidad de taludes).

b) Saneamiento. Se puede definir como aquel método que utiliza principios de ingeniería para la conformación, compactación y sellado de los residuos sólidos que se encuentran a cielo abierto, así como para la construcción de sistemas de control, necesarios para minimizar los impactos al ambiente y a la salud de la población, durante la estabilización de estos. Las técnicas empleadas determinan el debido tratamiento sanitario del agua potable, aguas negras, desechos sólidos y también fijan las pautas higiénicas que disminuyen los riesgos de enfermedades y que además previenen la contaminación. Los controles que se consideran en el saneamiento ambiental tienen la función de minimizar los siguientes aspectos:

- La infiltración de agua pluvial a través de la cubierta final.
- Los escurrimientos hacia el interior del sitio.
- La erosión y agrietamiento de la cubierta final.
- La migración de biogás y lixiviados.
- La emisión de orgánicos volátiles.
- La contaminación de las aguas subterráneas.
- La contaminación por arrastre de partículas.
- La emisión de metano como efecto de la descomposición de los residuos.
- La estabilidad mecánica de los residuos sólidos.

1.5.2 Rehabilitación

La rehabilitación de los TCA tiene la finalidad de disminuir los efectos de contaminación al medio ambiente y mejorar la imagen del sitio, manteniendo la operación de este, pero de manera controlada. Es importante señalar que la filosofía

de la rehabilitación es efectuar el menor movimiento de residuos y aprovechar el máximo volumen disponible del sitio, sin menoscabo de la seguridad, la estética y el control de la contaminación ambiental del mismo. A continuación, se mencionan los métodos más usuales que se emplean para realizar el movimiento, conformación y cobertura de los residuos sólidos; los cuales pueden sufrir algunas variaciones, dependiendo de las condiciones y características particulares de cada sitio:

- a) Método de Trinchera. Este método consiste en realizar una excavación o zanja de dimensiones tales que se puedan depositar todos o una gran parte de los residuos sólidos dentro de esta, para posteriormente ser cubiertos con material inerte, producto de la excavación de la trinchera.
- b) Método de Área. Se emplea generalmente cuando los residuos sólidos se encuentran esparcidos sobre un terreno sensiblemente plano y, el nivel freático se encuentra relativamente cercano a la superficie. Este método consiste en mover y conformar los residuos sólidos en celdas que ocupen la menor área posible, siempre y cuando sus taludes y altura cumplan con los requerimientos de seguridad establecidos en el proyecto. Una vez realizada esta operación, se cubren los residuos sólidos con material inerte importado de un banco de material cercano.
- c) Método de Rampa. Este método es una variación del Método de Área y se emplea generalmente en terrenos ondulados; consiste básicamente en mover, conformar y compactar los residuos sobre el talud del terreno, para posteriormente ser cubierto con material inerte.
- d) Método de Terrazas. Este sistema se emplea principalmente cuando los residuos sólidos han sido depositados en cañadas o barrancas. Es también una variante del método de área y consiste primordialmente en dividir el talud original de los residuos en dos o más secciones, dependiendo de la altura y longitud del talud; esta división se marca dejando una superficie horizontal, de manera que entre

talud y talud existe un ancho de corona. En este método también es necesario mover, conformar y cubrir los residuos.

- e) Método del Terraplén. Este método es empleado en lugares donde el tipo de terreno es pantanoso, por lo que es necesario realizar un terraplén sobre el nivel del terreno, con material seco, donde puedan ser colocados, conformados y cubiertos los residuos sólidos.

1.6 SIMULACIÓN PARA SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL

Los simuladores permiten realizar pruebas a distintos niveles en modelos simplificados de la realidad y reducir así los tiempos de desarrollo y aumentar la fiabilidad de los resultados. Por no hablar de lo complicado y costoso que resulta en ocasiones probar nuevos protocolos o productos en sistemas reales y los problemas que causaría un malfuncionamiento en un sistema real (Alonso & Bueno, 2005).

1.6.1 Tipos de simuladores

Existen diversos tipos de simuladores, según de los parámetros que deseemos modelar y analizar. A veces no es fácil establecer la separación entre ellos, de hecho, normalmente existen combinaciones de estos tipos (Alonso & Bueno, 2005).

- Simulador de Red (System Level): analizar tráfico generado en la red, QoS handovers, control de admisión, gestión de carga. Utilizan resultados del simulador de nivel de enlace.
- Simulador nivel de Enlace (Link level): protocolos nivel enlace, control de errores. Por ejemplo, muy usados en UMTS para evaluar el rendimiento del uso de W-CDMA o TD-CDMA en la interfaz radio UTRA. Utilizan resultados del simulador de capa física o lo incluyen.
- Simulador capa física: cobertura, potencia, células, análisis de obstáculos. Ej. UMTSProbe

- Simulador protocolos: verificar, analizar y optimizar protocolos. Ej.: UMTSProSIM (Ascom), protocolos de la red de acceso (AN)
- Simulador de terminal: simulador de aplicaciones
- Específicos: gestión carga, gestión de recursos.
- Generadores de escenarios: ej. BonnMotion
- Otros: GIS (geographic information system) Ej. Arcview
- Simuladores integrados: con varias funciones de las anteriores. Ej. OPNET: permite simular la red UMTS, protocolos, parámetros de capa física, etc.
- Simuladores/emuladores Hardware: sustituir un elemento de la red por el emulador para comprobar la funcionalidad de los restantes elementos.

1.6.2 Aplicaciones en el área de residuos

Existen varios modelos de simulación desarrollados sobre comunidades artificiales u hogares individuales que simulan los comportamientos observados y medidos en el manejo de residuos sólidos (Tucker & Smith, 1999). Algunos de ellos son los que se mencionan a continuación:

- a) Comportamiento en el Manejo de Residuos Sólidos Domiciliarios (Tucker & Smith, 1999) La investigación realizada consistió en demostrar la prueba de concepto para la simulación individual, colectiva e interactiva de los comportamientos en el manejo de residuos sólidos domiciliarios para proveer una herramienta para la planeación integrada eficiente en el manejo de los residuos. El modelo desarrollado simula comunidades enteras como una distribución de hogares individuales comprometidos con el manejo de sus propios residuos, por medio de actividades como compostaje o reciclaje. La investigación tiene en cuenta el orden jerárquico personal de estas actividades, decisiones de participación y los factores que afectan los niveles de desviación para cada uno de los resultados obtenidos. Estas decisiones son manejadas por medio de los atributos relevantes de los residentes en la comunidad, asociado en parte a los factores sociodemográficos. Los elementos sociales de la simulación son usados

como parámetros de control que determinan los flujos de residuos a través del hogar lo que provee una simulación del proceso, o un balance del material, a través del hogar. Los modelos desarrollados permiten la investigación de posibles intervenciones en la administración distrital para incrementar el rendimiento general del sistema. Respuestas de comportamiento a diferentes estímulos externos pueden ser igualmente simuladas.

b) Modelo basado en agentes para el manejo de residuos sólidos y análisis de simulación (Guihong *et al*, 2008) El sistema de manejo de residuos sólidos es un sistema complejo, dinámico y abierto, el cual tiene diferentes elementos incluyendo tecnologías de disposición, economía y sociedad en las interacciones. Con el fin de estudiar este sistema complejo, un modelo de simulación basado en agentes para el manejo de residuos sólidos fue desarrollado. La GIRSU basada en agentes y los Agentes en el sistema fueron diseñados en diagramas de clase, diagramas de colaboración y diagramas de secuencia por medio de UML. El comportamiento de la separación en hogares, el efecto de la disposición de los residuos, el costo de sostener el sistema y la ganancia fueron simulados en diferentes escenarios. Los resultados muestran que el modelo describe las dinámicas entre las actividades de disposición en los hogares y las políticas en el manejo de los residuos. Se realizaron experimentos en diferentes escenarios que mostraron la factibilidad y efectividad del modelo para evaluar políticas en el manejo de residuos.

c) Software AHORA. Permite gestionar el tratamiento y transformación de residuos con información de procesos y de resultados. Genera una memoria anual en la que se visualiza la comparativa de la compra y de la venta de residuos para procesar vinculada a cada cliente. De este modo personaliza la atención. Dispone de funcionalidades que administran diferentes tipos de tratamiento según las características de los residuos. Controla la recogida y traslado de residuos y las diferentes salidas de productos procesados y de desperdicios finales. Es un programa de gestión de residuos para gestionar la dinámica interna de la

empresa. Mantiene memoria de máquinas fuera de funcionamiento y en reparación y realiza control de presencia del personal. Integra contabilidad automática, elaboración de libros, conciliaciones bancarias y balances.

- d) Software Teixo. Contribuye a que productores y transportistas de residuos lleven un control eficaz de sus procesos. Teixo integra un CRM que trabaja para fidelizar la cartera de clientes. Habilita el seguimiento de contactos con proveedores, clientes, transportistas y otros agentes vinculados a la empresa. Todos los datos de cada compañía o persona que mantenga relaciones con la empresa están disponibles en pantalla con un solo clic. Gestiona la vida empresarial del personal: presencia, permisos, enfermedades, productividad. Sus registros permiten informes en tiempo real. Las herramientas de Teixo reflejan la trazabilidad completa de todo el proceso de la gestión de los residuos. Genera etiquetas en el momento de entrada, peso, identificación de clientes y colaboradores, también dispone de etiquetado multiempresa. Es muy amigable y fácil de usar.

- e) Software Ecogestor. Se caracteriza por atender todas las exigencias establecidas en la Ley que regulan el traslado de residuos (Real Decreto 180/2015). Genera y mantiene actualizada toda la documentación que garantiza y comprueba la correcta gestión. Utiliza el lenguaje E3L, lenguaje estándar para la comunicación electrónica de datos ambientales. Es un software de gestión de residuos especialmente apto para los SANDACH, materiales residuales regidos por leyes especiales. Genera y mantiene memoria de contratos de tratamiento de residuos peligrosos y no peligrosos, notificaciones de traslado, cartas de porte y documentos de identificación. En cualquier momento, el gestor puede obtener automáticamente un archivo cronológico con registro de todas las operaciones. Es una herramienta online, disponible las 24 horas de los 365 días del año. Es multilingüe, con opciones en español, inglés y portugués. Se actualiza constantemente, ajustándose a las variaciones en la normativa. Además, garantiza un servicio técnico experto en cuestiones ambientales.

f) Moduelo (GIA de UC, 2010) MODUELO es un programa de ordenador cuyo propósito general es la simulación de vertederos como herramienta para el diseño, gestión y biorrecuperación de vertederos de residuos sólidos urbanos. La versión 4 ha sido desarrollada sobre la plataforma .Net de Microsoft (.Net Framework 3.5) con el entorno de desarrollo Visual Studio 2008 y el lenguaje de programación C#. Como gestor de base de datos se utiliza SQL Server 2008. Permite estimar, diariamente, los datos de humedad, caudal de lixiviado, flujos a través del contorno, asientos y cantidad de biogás generado, a partir de una representación tridimensional de un vertedero cuya forma se actualiza instantáneamente mediante un modelo de producción y sobre la que se aplica un modelo de flujo no saturado tridimensional.

1.7 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés (Geographic Information System) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.

1.7.1 Funcionamiento de un Sistema de Información Geográfica

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

- Localización: preguntar por las características de un lugar concreto.
- Condición: el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- Tendencia: comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Pautas: detección de pautas espaciales.
- Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

1.7.2 Sistemas de información geográfica para residuos sólidos urbanos

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con sus diversas herramientas y funciones han sido un aporte para el desarrollo de la Geografía; la facilidad con la que permiten reunir, organizar, compartir y analizar la información espacial ha favorecido a la toma de decisiones, la planificación, el análisis y la gestión de datos geográficos.

Al ser un instrumento que permite la gestión del territorio, los SIG han perfeccionado

sus funciones para ofrecer una mayor gama de soluciones a los requerimientos de los usuarios; entre estas destacan el transporte y la logística.

El Enviromental System Research Institute (ESRI) es el proveedor reconocido de Sistemas de Información Geográfica, en su página web, menciona que en este ámbito los SIG facilitarán el control del movimiento de los vehículos, ahorrarán los gastos operativos ocasionados por el desplazamiento vehicular y ayudará a la planificación de las rutas, obteniendo el máximo rendimiento de la flota.

Algunos trabajos en los que se hace uso de los SIG en temas de RSU, son los que se muestran en la tabla 1.5.

Tabla 1.5 Trabajos en los que se usa los SIG en temas de RSU

AUTOR Y AÑO	TÍTULO DEL ESTUDIO	DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS
Díaz 2013	Sistemas de información geográfica aplicados a la optimización del servicio de recolección de residuos sólidos domiciliarios. El caso de la administración zonal Eloy Alfaro	El trabajo consiste en el análisis del ruteo de recolección de residuos sólidos urbanos realizado en el distrito de Quito, para la investigación se usó el software ArcGIS 9.3.1 Network Analyst, resultando una buena herramienta para la formulación de rutas y mejorando de esta forma el tiempo y disminuyendo el costo de recolección de residuos.
Enciso <i>et al</i> 2015	Aplicación de los sistemas de información geográfica en la etapa del transporte y disposición final de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal y zona metropolitana del valle de México.	El trabajo realizo con ayuda de un SIG el trazado de rutas para la disposición de RSU de la Ciudad de México a sus SDF, resultando que no se está tomando las rutas óptimas, así como que se está depositando en algunos casos en SDF lejanos.

Tabla 1.5 Trabajos en los que se usa los SIG en temas de RSU (Continuación)

AUTOR Y AÑO	TÍTULO DEL ESTUDIO	DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS
García <i>et al</i> 2015	Sistema de información geográfica sobre la situación de los residuos sólidos urbanos en los municipios de la República Mexicana	Se recabaron datos de PMPGIRSU de acceso público, durante un periodo de dos años. Se obtuvieron cifras de cuántos y cuáles municipios han cumplido con la elaboración y presentación de sus PMPGIRSU y se generaron indicadores para evaluar la calidad de la estructura del programa, así como la calidad de la información ahí contenida. Con los resultados cuantitativos y cualitativos se integró un sistema de información geográfica (SIG) empleando el software ArcView 3.2. El presente proyecto es de relevancia ya que en nuestro país no existen indicadores de la calidad de la información en materia de RSU a nivel municipal (INEGI apenas comienza a generar esta información). El estudio concluye que, si el manejo integral de los residuos sólidos es verdaderamente una prioridad para el país, es necesario que la SEMARNAT y los municipios pongan más atención en la elaboración de los PMPGIRSU y en la calidad de estos para que estos puedan ser usados como verdaderos instrumentos de planeación y detonadores de proyectos para lograr el manejo integral de los RSU.

1.8 ANÁLISIS MULTICRITERIO

Es una herramienta de apoyo al proceso de toma de decisiones. Se utiliza para facilitar el camino hacia la decisión, de manera que en intervengan distintos puntos de vista, aunque sean contradictorios. Dentro de sus ventajas se halla la de simplificar las situaciones complejas (EcuRed, 2021). Las etapas que siguen son las siguientes:

- Determinar el ámbito de aplicación e identificar la lógica de intervención.
- Designar al grupo (o a los grupos) de negociación o de juicio.
- Designar al equipo técnico que colaborará con el grupo de juicio (coordinador, ayudante técnico y los expertos encargados de recopilar datos para la negociación).
- Elaborar la lista de acciones que se incluirán en el análisis multicriterio: los criterios deben definirse antes de realizar el análisis, a partir de unas reglas que

todos los participantes deben conocer y aceptar.

- e) Identificar y seleccionar los criterios de juicio.
- f) Determinar el peso relativo de cada criterio.
- g) Juicio por criterio.
- h) Agregación de los juicios.

Existen diferentes tipos de análisis multicriterio entre los que destacan los siguientes (Pacheco & Contreras, 2008):

- a) Método Sencillo de Estandarización (01-Z). Este método es una forma sencilla de evaluación multicriterio, capaz de identificar la importancia relativa entre criterios e integrar una variedad de indicadores cuantitativos como cualitativos. Se distingue por el uso de una matriz de comparaciones de criterios y el uso de la herramienta estadística Z.
- b) El método Analytic Hierarchy Process (AHP). Es una metodología de análisis multicriterio desarrollada a fines de la década del 70 por el doctor en matemáticas Thomas L. Saaty. Es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos componentes o variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad. Para determinar la mejor decisión, el método AHP requiere (Pacheco & Contreras, 2008):

- Definición del problema: En esta etapa debe quedar claramente definido el objetivo general del proceso de decisión junto con los actores involucrados en él. Además, se debe entregar una descripción del ambiente en que se desarrollará el estudio, sus características socioeconómicas, ambientales, culturales, etc. dependiendo de los parámetros afectados por los proyectos en cuestión.
- Definición de actores: Los participantes involucrados en el proceso de decisión, deben ser cuidadosamente seleccionados, ya que de estos depende la representatividad del resultado del modelo.

- Estructurar el problema de decisión en un modelo de jerarquía (Jerarquizar): En esta etapa se debe construir una estructura jerárquica que involucre todos los aspectos de interés, para la jerarquización de las alternativas.
- Identificación de las alternativas factibles: Dentro de todas las posibilidades de proyectos alternativos se seleccionan aquellos que son factibles de realizar bajo un punto de vista de análisis general, donde se consideran criterios tales como la factibilidad técnica o económica.
- Construcción del modelo jerárquico: Se estructura el problema planteado en una jerarquía de criterios y alternativas. Para esto es necesario definir en una primera instancia los criterios estratégicos que participan en la decisión (Políticos, económicos, sociales, medioambientales, etc.). Por lo general estos criterios son a nivel macro y representan los objetivos perseguidos por el proyecto. Una vez hecho esto, se procede a desglosar cada uno de los criterios definidos en la etapa anterior hasta llegar a un nivel de especificación que permita un fácil análisis y la comparación de las alternativas.
- Ingreso de los juicios: En base a la información obtenida o a la percepción de los actores del proceso se ingresan los juicios para cada par de elementos. Se comienza del primer nivel, dónde se encuentran los criterios estratégicos, se compara su importancia relativa con respecto del logro del objetivo general, luego se desciende en los niveles jerárquicos, siempre realizando comparaciones de a pares referidos al nivel inmediatamente superior, hasta llegar al último nivel donde se encuentran las alternativas, las que son evaluadas en base a criterios técnicos más fáciles de tratar.
- Síntesis de los resultados: Como se explicó en los párrafos anteriores, por medio de comparaciones entre pares de elementos con respecto a su nivel inmediatamente superior y, gracias a la propiedad de transitividad entre los elementos, es posible establecer un ranking de prioridades para las diferentes alternativas, ranking que, dependiendo de la problemática, enfrentada representa la decisión a adoptar.
- Validación de la decisión: Para otorgar mayor confiabilidad a la decisión se debe establecer el rango de variación del peso relativo de los criterios

estratégicos que soporta la decisión sin cambiar de alternativa propuesta, para esto se realiza un análisis de sensibilidad dónde se analizan diversos escenarios posibles, determinando los puntos de corte para el peso de cada uno de los criterios.

1.9 ESTUDIO DEL ARTE

En el mundo el problema de los residuos se torna cada vez más crítico, pues cada vez son más las ciudades y campos que se ven afectados por el aumento en su generación, especialmente en algunos países en vías de desarrollo son más las afecciones socioambientales que provoca su acumulación, concentrándose principalmente en barrancas, lagos, ríos, cerros y montañas (Saenz & Urdaneta, 2014).

En México los residuos se incrementaron notablemente a partir de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio con América del Norte (21.97 millones de toneladas en 1992 a 31.96 millones de toneladas en 1996) y los numerosos tratados internacionales firmados en los últimos treinta años (Ochoa, 2014); entre los datos que destacan es que en 2015 se reportó una generación de RSU cercana a 53.1 millones de toneladas, lo que representó un aumento del 61.2% con respecto a 2003 (SEMARNAT, 2016).

El manejo adecuado de los residuos sólidos es una prioridad para la calidad de vida en la población, por lo que es imprescindible tomar acciones para lograr prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales y sanitarios por su mal manejo, que sin control sanitario provocan diversos problemas a la salud y contaminación al ambiente. Los RSU depositados a cielo abierto propician la generación de fauna “nociva”, que son vehículos de enfermedades y patógenos; mientras que la degradación anaerobia de su Fracción Orgánica (FO) produce emisiones de gases efecto invernadero (GEI), que contribuyen al cambio climático (PNUMA, 2020; SEDESOL *et al*, 2007; SEMARNAT & INECC, 2018).

Si bien en México la mayor cantidad de RSU se deposita en RESA, se estima que, en cuanto a número, el 13% de los SDF son RESA y el 87% son TCA, los cuales deberían ser saneados y clausurados o bien rehabilitados. En la tabla 1.6 se listan documentos con los lineamientos requeridos para la clausura o rehabilitación de SDF conforme a la normatividad vigente y en la tabla 1.7 se presentan algunos trabajos realizados sobre estos tópicos.

Tabla 1.6 Documentos que tienen los lineamientos requeridos para la clausura o rehabilitación

AUTOR Y AÑO	TÍTULO DEL ESTUDIO	DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS
Ministry for the Environment (2001)	A Guide for the Management of Closing and Closed Landfills in New Zealand	El documento abarca la legislación, operación, clausura y postclausura competente a los sitios de disposición, así como la parte financiera que involucra la clausura.
SEPA (2003)	Interim SEPA Technical Guidance Note Closure Procedures for Landfill Sites currently operating under Waste Management Licences	Este documento de orientación se hizo con referencia al Reglamento sobre vertederos (Escocia) de 2003 (reglamentos). Se proporcionarán orientaciones para los vertederos no regulados previamente bajo licencias de gestión de residuos
SEDESOL (2004)	Manual para la rehabilitación y clausura de tiraderos a cielo abierto	El manual contempla todas las bases y lineamientos que deben de tomarse en cuenta al momento de hacer una clausura de un tiradero a cielo abierto, basándose en la NOM-083-SEMARNAT-2003
SEMARNAT & GTZ (2005)	Guía para la realización de planes de regularización conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003	La guía tiene las bases y requerimientos para regularizar los rellenos sanitarios, rehabilitar sitios de disposición final, así como la clausura de estos
López <i>et al.</i> 2006	Saneamiento del tiradero de la ciudad de Oaxaca de Juárez	Presenta una propuesta de saneamiento, la cual, a partir de estudios de topografía, geofísica, mecánica de suelos, aforo de corrientes y análisis de laboratorio realizados exprofeso con este fin, establece los criterios y define las características de la infraestructura necesaria para sanear el sitio y en su caso cerrarlo o incrementar su vida útil.

Tabla 1.7 Trabajos sobre saneamiento y clausura o rehabilitación SDF

AUTOR Y AÑO	TÍTULO DEL ESTUDIO	DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS
Barreda A. 2009	Evaluación de los impactos de los residuos sólidos bajo cambio climático en la Ciudad de México	El trabajo se centra en los impactos ocasionados por los Gases de efecto invernadero relacionados a los residuos sólidos generados en la Ciudad de México.

Tabla 1.7 Trabajos sobre saneamiento y clausura o rehabilitación SDF
(Continuación)

AUTOR Y AÑO	TÍTULO DEL ESTUDIO	DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS
Oscar Luis Méndez Lucas 2010	Sellado y clausura del vertedero de RSU de Fuenlabrada de los montes para la recuperación de su emplazamiento.	En el documento se establece el procedimiento que se llevó a cabo para realizar el sellado y clausura de un SDF.
Ecoresiduos, Desechos Y Reciclados S. A. DE C. V. 2011	Manifestación de impacto ambiental, Modalidad Particular	El trabajo habla de la manifestación de impacto ambiental que generará instalar una empresa dedicada a la incineración de los residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI)
Atencio <i>et al</i> 2013	Evaluación de riesgo ambiental en un tiradero con quema de basura	Se evalúa el riesgo potencial para aquellas personas que puedan estar expuestos a los contaminantes críticos (CC) en este tipo de tiraderos a cielo abierto. Se implementó una campaña de muestreo en el sitio y su correspondiente análisis en laboratorio. Los contaminantes críticos medidos incluyen dioxinas y furanos. Se desarrolló un modelo conceptual del sitio que se usó de base para la evaluación de riesgos ambientales. Los resultados indican un riesgo alto (inaceptable) para los seres humanos en un escenario de uso residencial, con la mayoría de los riesgos cancerígenos atribuidos a la 2,3,7,8 tetraclorodibenzo-pdioxina (TCDD).
Lobo <i>et al.</i> 2016	Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos. Experiencias en Iberoamérica	Basado en la experiencia y recopilación de informaciones técnicas, propone la metodología y presenta varios ejemplos de clausura y reinserción de vertederos en Iberoamérica.
BOLIVAR 2019	Evaluación de impactos ambientales del botadero municipal del Cantón Arenillas	Para la evaluación de los principales impactos ambientales y sociales generados por el inadecuado manejo de los desechos sólidos en el botadero municipal en estudio, se empleó como metodología principal la matriz de evaluación de impactos ambientales en base a la magnitud e importancia de cada impacto identificado, entre las alteraciones negativas más significativas se encuentran: la alteración de la calidad del suelo por la generación de lixiviados, alteración a las aguas subterráneas por lixiviados y conflictividad por la generación de enfermedades, sin embargo también se identificaron impactos positivos como la generación de empleo y compensación social por mejoras en las áreas circundantes al botadero.

Tabla 1.7 Trabajos sobre saneamiento y clausura o rehabilitación SDF
(Continuación)

AUTOR Y AÑO	TÍTULO DEL ESTUDIO	DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS
López Gasca S. (2020).	Propuesta de Ubicación y prediseño de un Relleno sanitario Sustentable intermunicipal	En la investigación se analizaron las prioridades de SDF, así como el MIRSU que se está llevando a cabo, además de analizar las mejores ubicaciones para la ubicación de un RESA intermunicipal, una vez que se obtuvo la ubicación se hizo el prediseño de dos sitios de disposición final, una con recirculación y otra sin recirculación para posteriormente realizar una comparación técnica, ambiental y económica para determinar la mejor opción.
Municipio de Aculco, Estado de México 2020	Plan de regularización para rehabilitación del sitio de disposición final categoría C perteneciente al municipio de Aculco	El documento desarrolla el plan de regularización para rehabilitar un sitio de disposición final ubicado en el municipio de Aculco, Estado de México, basándose en la NOM-083-SEMARNAT-2003, mostrando que el sitio cumple con las restricciones y adecuaciones para considerarse un relleno sanitario.

2. MÉTODO

Las etapas que se requirieron para llevar a cabo esta investigación se muestran en la figura 2.1 y posteriormente se describen cada una de las actividades que se realizaron.

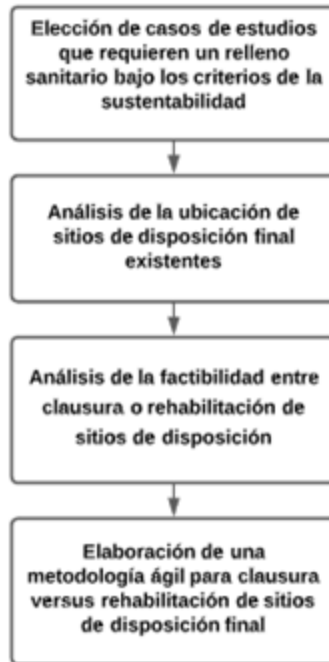


Figura 2.1 Esquema de actividades del estudio propuesto

2.1. ELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIOS QUE REQUIEREN UN RELLENO SANITARIO BAJO LOS CRITERIOS DE LA SUSTENTABILIDAD

Para seleccionar los casos de estudio entre SDF de los municipios que comprende el Proyectos SEMARNAT-2015-1-263315, se aplicó el método AHP y se realizó el análisis del manejo de los RSU de los municipios seleccionados.

2.1.1 Selección de municipios por método AHP

Para la selección de los municipios a estudiar se realizaron las actividades siguientes:

- a) Definición de Variables para caracterizar los municipios desde el punto de vista de la sustentabilidad. Debido a la relevancia de la información que debe describir a un municipio para el presente estudio, se recopilaron datos estadísticos actuales de Variables Sociales, Económicas y Ambientales de la Secretaría de Bienestar de México (SEDESOL), del Consejo Nacional de Población (CONAPO), del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) y de la SEMARNAT; así como del diagnóstico y acopio de información en campo del proyecto SEMARNAT-2015-1-263315 (Domínguez, 2021; López Gasca, 2020; Mañón *et al.*, 2017, Mendoza-Delgado 2017; Mercado-Espiridión, 2019, Olay-Romero, 2020; Sánchez, 2021; Turcott *et al.*, 2020). A la información recopilada de las Variables se le aplicó un análisis estadístico univariado empleando el software estadístico StatGraphics 18 ® (Statgraphics Technologies Inc., 2020), y se eligieron aquellas que permitan caracterizar a los municipios.
- b) Análisis Descriptivo sobre las variables características de cada municipio. A través de este análisis se recolecto, ordeno la información, describieron tendencias por medio de gráficas (diagrama de caja y dispersión), así como se extrajeron las características más representativas de los datos recolectados. Se calcularon medidas de centralización (media, moda y mediana) y medidas de dispersión (varianza y desviación estándar), con el fin de determinar el comportamiento de los datos e identificar casos atípicos o datos extremos, los cuales pueden alterar significativamente la selección de las variables (Devore, 2005).
- c) Desarrollo del método AHP. El Método AHP es un técnica usada para la toma de decisiones, la cual permitió ordenar criterios y subcriterios en un Modelo Jerárquico, realizó comparaciones binarias (de a pares), atribuir valores numéricos a los juicios (preferencias) realizados por las personas (respecto de la importancia relativa de cada elemento) y sintetizar agregando las soluciones parciales en una sola solución (Saaty, 1980); facilitando con ello la comparación

entre las distintas alternativas (Municipios) y dando lugar a resultados fiables de manera jerárquica. Con el empleo de esta metodología se resolvió la necesidad de priorizar distintos municipios y decidir cuáles serán los más convenientes para considerarlos como casos de estudio para la siguiente etapa.

2.1.2 Análisis del manejo de residuos sólidos urbanos

A los municipios seleccionados se les realizó el análisis del manejo de RSU, para lo cual se recabó información sobre dicho manejo, haciendo uso de información de INEGI, de Programas de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PEPGIR) de cada estado, Bandos Municipales, la LGPGIR (DOF, 2003a) y mediante la aplicación de la Cedula de Entrevista (CE) presencial a los responsables del MIRSU de cada municipalidad (Figura 2.2).

La CE fue elaborada con la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental “Tratamiento de Contaminantes y Gestión Ambiental”, clave LGAC-2017-TOLU-DAMB-26 del Instituto Tecnológico de Toluca, tomando como base la Guía para la elaboración de Programas para el Manejo y Prevención de la Gestión Integral de RSU (SEMARNAT *et al*, 2004); y fue sometida a revisión por miembros de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología aplicada a Residuos Sólidos (SOMERS) y la Red Iberoamericana en Gestión y Aprovechamiento de Residuos (REDISA). La CE está dividida en 5 módulos: Marco legal e Institucional, Económico y Financiero, Barrido, Recolección y Disposición Final; con el fin de cubrir la información básica de cada etapa del MIRSU.

Con la información recabada se realizó una comparación entre lo reportado en Fuentes Oficiales (FOfi), como Bandos Municipales e INEGI y, lo recabado mediante la CE en cuanto: Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos (PMIRSU); Reglamento sobre RSU (REG); Estudios de Generación de RSU (GEN); Recolección (REC); Tratamiento (TRAT); Transferencia (TRANSF) y Sitio de Disposición Final (SDF).

SEMARNAT SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

TOLUCA

CONACYT

Bienvenido : Mun_Polotitlan Cerrar sesion

LOCALIZACION DE RELLENOS SANITARIOS INTERMUNICIPALES

Inicio Registrar Captura Modelos Conocimiento Glosario Legislación Acerca

Cédula de entrevista 15071

Estado	Municipio	Nombre Municipio	Perfil
15	071	Polotitlan	Mun_Polotitlan
1.-General			

[Regresar al Menu Principal](#)

Proyecto de Fondos Sectoriales Número: 263315 Copyright @ 2019
Web Master :C.Mañon Número de Visitas 000

Figura 2.2 Cedula de entrevista

2.2 ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EXISTENTES

El análisis de la ubicación de los sitios existentes se llevó a cabo en dos fases, la primera se realizó analizando con respecto a las restricciones enmarcadas en la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004) y la segunda de acuerdo con el análisis fisicoquímico como se describe a continuación.

2.2.1 Análisis de la ubicación del sitio de disposición final con el SIGMIRSU

Para el análisis de la ubicación de los SDF existentes en los municipios elegidos, se utilizó el Sistema de Información Geográfica para el Manejo Integral de los RSU (SIGMIRSU), con No. Registro de INDAUTOR: 03-2022-061709384900-01, desarrollado en la Etapa 4 del proyecto SEMARNAT-2015-1-263315; el cual proporcionó una serie de mapas binarios del municipio conteniendo los criterios

evaluados de la NOM-083-SEMARNAT-2003, y que al sobreponerse facilitó la visualización de la ubicación dentro o fuera de las áreas idóneas y no idóneas donde se encuentran dichos SDF.

Una vez que se contó con los municipios potenciales, se concertó una reunión con sus autoridades para establecer convenios, de tal forma que se nos permitiera visitar, verificar las áreas recomendadas por el SIGMIRSU y las no adecuadas para los SDF existentes y realizarles estudios.

2.2.2 Caracterización fisicoquímica del sitio de disposición final de los municipios seleccionados

Se realizaron visitas a los SDF de los municipios seleccionados con el fin de tomar muestras para realizarles los siguientes estudios.

- a) Caracterización de residuos sólidos urbanos. Se realizó con un muestreo *in situ* en el SDF de los municipios seleccionados; para ello se eligieron cinco puntos de la celda, recolectándose al menos 50 kg. Con base a la NMX-015-SEMARNAT-1985 se efectuó el método del cuarteo. De este muestreo se clasificó los subproductos conforme a la norma NMX-AA-22- 1985 y una vez clasificados se pesaron por separado en bolsas previamente identificadas, para estimar la composición porcentual (SEMARNAT, 2013). Para la caracterización fisicoquímica de RSU se utilizaron las técnicas de análisis reportadas en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Técnicas analíticas de RSU

PARÁMETRO	NORMA MEXICANA O MÉTODO
Contenido de humedad	NMX-AA-016-1984 ¹
pH	NMX-AA-025-1984 ²
Sólidos Volátiles Totales (SVT)	Método 2540G ³
Materia Orgánica	NMX-AA-021-1985 ⁴

Fuente: ¹DOF, 1992a; ² DOF, 1992b; ³APHA 2005;⁴DOF, 1992c.

- b) Caracterización de lixiviados. Los lixiviados fueron muestreados con base a la norma de aguas residuales NMX-AA-003-1980 (SEMARNAT, 2021a), debido a

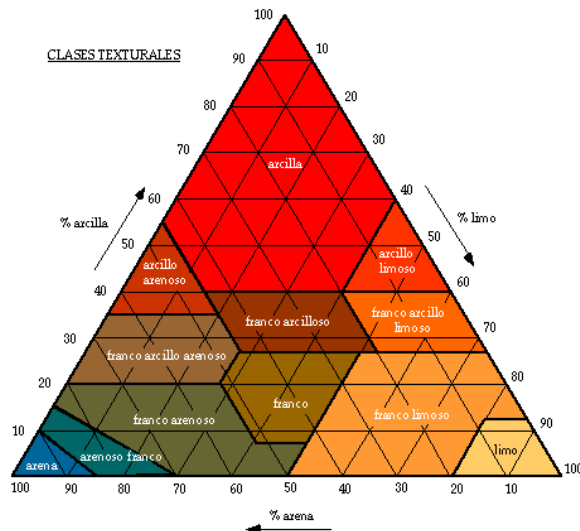
que en México no se cuenta con una norma para muestrear lixiviados. La caracterización fisicoquímica para las muestras de lixiviados obtenidas en el SDF, se realizó conforme a las normas y métodos que se listan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Parámetros analíticos utilizados para caracterizar lixiviados

PARAMETRO	NORMA/MÉTODO
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016 ^a
ST y SVT	NMX-AA-034-SCFI-2015 ^b
DQO	Método dicromato, aprobado por la USEPA ^c
Temperatura	NMX-AA-008-SCFI-2011 ^d
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000 ^e
Metales pesados	NMX-AA-051-SCFI-2016 ^f
N-NH ₃	NMX-AA-026-SCFI-2010 ^g
SO ₄ ⁻²	NMX-AA-074-SCFI-2014 ^h

Fuente: ^aSE, 2016a; ^bSE, 2015; ^cFNS, 2013; ^dSE, 2013; ^eSCFI, 2000; ^fSE, 2016b, ^gSE, 2010; ^hSE, 2014

- c) Caracterización de biogás. Para el muestreo y análisis del biogás se contó con un Analizador de Gases GEM 2000 marca LANDTEC, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; el cual tiene un muestreador denominado AquFlow que permite cuantificar directamente en los pozos de venteo de los SDF. De acuerdo con el proveedor del equipo, el análisis de en pozos debe realizarse en tiempos de 40 s y al menos por duplicado (LANDTEC, 2009).
- d) Caracterización de Suelo. El suelo se muestreo con base a la NMX-CC-416-ONCCE-2003 (DOF, 2003b). Se obtuvieron tres muestras de suelo, a las cuales se les determinó Humedad y pH conforme a la NMX-AA-16-1984 y la NMX-AA-25-1984, respectivamente (DOF, 1992a, 1992b). Además, se determinó la textura del suelo, de acuerdo con los porcentajes retenidos en cada una de las fracciones de arena, limo y arcilla, tomando como referencia el triángulo de texturas que se presenta en la figura 2.3 del USDA (Departamento de agricultura de los Estado Unidos, por sus siglas en inglés).



Fuente: USDA, 2021

Figura 2.3 Triángulo de texturas

2.3 ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ENTRE CLAUSURA O REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN

Para llevar a cabo el análisis de la factibilidad de dos SDF en los municipios seleccionados, se tomó en cuenta los criterios que enseguida se describen:

- a) Evaluación técnica. Esta evaluación se realizó aplicando la Tabla de Verificación (TV) reportada por López-Gasca *et al.* (2024) elaborada con base en la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004; Wehenpohl et al., 2004). En los Anexos A y B se presentan los datos generales y la TV completa, la cual consta de ocho apartados, donde cada uno de ellos tiene diferente número de condicionantes; dependiendo del cumplimiento del SDF, a cada condicionante se le asignó un valor: uno cuando “Cumple” y cero cuando “No Cumple”. Al final de cada apartado se encuentran los puntos máximos para el 100% del cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003. Dependiendo del tipo de SDF se detectaron condicionantes que no requerían cumplir, en estos casos se marca la casilla “No aplica” y se le da un valor de 0, para estos casos se tiene en cuenta el puntaje para que no afecte en el cumplimiento de la NOM. Finalmente se sumaron todos los puntos y se estimó el porcentaje de cumplimiento total considerando la suma

de puntos de los apartados requeridos.

b) Evaluación ambiental y socioeconómica. Para esta evaluación se utilizó la Matriz de Leopold (Figura 2.4) modificada por Mendoza-Delgado (2017) y validada por López-Gasca (2020), la cual considera los rangos de “Calificación ambiental (Ca)”. La Ca es el valor estimado entre la interacción de la magnitud y la intensidad de la afectación y con ella se obtiene el “Nivel de significancia”, que representa el grado de deterioro o de impacto negativo causado (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Rangos de valor del Nivel de significancia

RANGOS DE "CALIFICACIÓN AMBIENTAL (Ca)	NIVEL DE SIGNIFICANCIA
0 a 2.5	Bajo
2.6 a 5.5	Moderado
5.6 a 7.5	Severo
7.6 a 10.0	Crítico

Fuente: Espinoza, 2002

También se estimaron costos de clausura o rehabilitación de los SDF de los municipios seleccionados e impactos por emisiones en toneladas de CO₂ equivalentes (Iglesias, 2007).

MATRIZ DE LEOPOLD TCA			ACTIVIDADES DE LA DISPOSICION DE RSU EN TCA							AFECTA- CIONES	NIV. DE SIG.						
Leyenda:			1. Transporte y descarga	2. Disposicion de RSU y RME	3. Disposición de RP	4. Compactación y cobertura	5. Manejo de biogas generado	6. Manejo de lixiviados	7. Contratación de maquinaria, personal y servicio	AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	NUMERO DE INTERACCIONES	AGREGACION DE IMPACTOS	BAJO	MODERADO	SEVERO	CRITICO
Magnitud: Intensidad del impacto que se puede ocasionar, siendo máxima 10 y mínimo 1. Impacto positivo () / Impacto negativo (-)																	
Importancia: Escala del impacto (local, regional, etc.), siendo máximo 10 y mínimo 1.																	
Agregación de impactos determinado conforme a sección 2.5.2 y nivel de significancia respecto a sección 2.5.3, ec. 2.1 y tabla 1.4																	
COMPONENTES BIOFISICOS	CATEGORIA	ATRIBUTO															
	SUELO	Calidad de suelo															
		Cambio de uso de suelo															
	AGUA	Estabilidad de suelo															
		Subterránea															
	ATMOSFERA	Calidad del agua															
		Material particulado															
		Ruidos															
		Gases															
		Olores															
COMPONENTES SOCIO- ECONOMICOS	FLORA	Productos agrícolas (Maíz)															
		Remoción de cobertura vegetal															
	FAUNA	Ahuyentamiento de especies nativas															
		Proliferación de nuevas especies															
	ESTETICA	Vistas escénicas y panorámicas															
		Calidad de espacio abierto															
		Parques y reservas forestales															
	SOCIAL	Salud poblacional y laboral															
		Seguridad laboral															
	ECONOMICO	Calidad de vida															
Ingresos economicos adicionales																	
Sitios de interes arqueologico/ cultural																	
Uso potencial del suelo																	
Emprendimientos productivos																	
AFECTA- CIONES	AFECTACIONES POSITIVAS																
	AFECTACIONES NEGATIVAS																
	NUMERO DE INTERACCIONES																
	AGREGACION DE IMPACTOS																
	BAJO																
NIV. DE SIG.	MODERADO																
	SEVERO																
	CRITICO																

Fuente: Mendoza Delgado (2017).

Figura 2.4 Matriz de Leopold.

c) Informe Técnico de Evaluación de Impacto Ambiental. La estructura del informe técnico fue similar a la de una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), se incluyeron datos generales; descripción de las obras o actividades; vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamientos jurídicos aplicables; descripción del sistema ambiental regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región; identificación, caracterización y evaluación de los impactos ambientales; estrategias para la prevención y mitigación de impactos ambientales; e identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos, que sustentan los resultados de la evaluación de impacto ambiental.

2.4 ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ÁGIL PARA CLAUSURA VERSUS REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL

Se realizó una investigación exhaustiva de los costos ambientales, sociales y técnicos reportados, con la intención de encontrar indicadores que ayuden a tomar la mejor decisión considerando no solo la parte económica. Una vez que se obtuvieron los indicadores, considerando los resultados del subapartado anterior y metodologías reportadas en diferentes partes del mundo (Lobo *et al.*, 2016), se elaboró una metodología ágil, para que de manera rápida y con bajo presupuesto permita tomar la decisión entre el saneamiento y clausura o la rehabilitación de un SDF. La propuesta metodológica incluye aspectos ambientales, técnicos y de costos a nivel de prediseño.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos, así como las comparaciones correspondientes.

3.1. ELECCIÓN DE CASOS DE ESTUDIOS QUE REQUIEREN UN RELLENO SANITARIO BAJO LOS CRITERIOS DE LA SUSTENTABILIDAD

En esta sección se realizó la selección de los municipios a estudiar conforme a la metodología planteada.

3.1.1 Selección de municipios por método AHP

El primer paso fue delimitar el área de estudio, la cual se encuentra representada en la figura 3.1, la cual corresponde a los 60 municipios que se encuentran a las orillas del Estado de México.



Figura 3.1 Municipios delimitados del área de estudio

Una vez determinada el área de estudio lo siguiente fue realizar los municipios, para lo cual se realizó lo siguiente:

a) Definición de variables. Las variables que se tomaron en cuenta de acuerdo con el propósito de la investigación y los pilares de la sustentabilidad se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Variables utilizadas en el método AHP

POBLACIÓN	ECONÓMICA	MATERIA DE RSU
Habitantes	PIBMUN	CIF
DP	INMUN	COF
Edad media	UE	NSDF
Índice de educación	PEXT	TSDF
Índice de salud	VULIN	RI
IDH	PIILB	CANP
GC	PIILBM	

DP: Densidad poblacional; IDH: Índice de desarrollo humano; GC: Grado de colaboración; PIBMUN: PIB por municipio; INMUN: Ingreso municipal; UE: Unidades económicas; PEXT: Pobreza extrema; VULIN: Vulnerable por ingreso; PIILB: Población con ingreso inferior a la línea de bienestar; PIILBM: Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo; CIF: Características de infraestructura faltantes; COF: Características de operación faltantes; NSDF: Numero de SDF; TSDF: Tipo de SDF; RI: Riesgo de inundación; CANP: Carece de áreas naturales protegidas.

b) Análisis Descriptivo sobre las variables características de cada municipio. Una vez definidas las variables, se realizó una investigación en fuentes oficiales para recabar los datos de los 60 municipios. De acuerdo con la información obtenida en el DBGIR (SEMARNAT, 2020), se realizó la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Información del DBGIR

MUNICIPIO CON SDF		MUNICIPIO CON ET	MUNICIPIOS SIN SDF
Acambay	Polotitlán	Huixquilucan	Atlautla
Aculco	Santo Tomás	Malinalco	Coacalco de Berriozábal
Amatepec	Soyaniquilpán de Juárez	Naucalpan de Juárez	Chalco
Amecameca	Tecámac	Ocuilan	Donato Guerra
Apaxco	Tejupilco	El Oro	Hueyoxtlá
Axapusco	Temascalapa	San José del Rincón	Ixtapan de la Sal
Chapa de Mota	Tepetlaoxtoc	Sultepec	Ixtapan del Oro
Ecatepec de Morelos	Tepetlixpa	Temascalcingo	La Paz
Ecatzingo	Tepotzotlán	Tlanguistenco	Juchitepec
Huehuetoca	Tequixquiac	Tultitlán	Ocoyoacac
Ixtapaluca	Tlalmanalco	Valle de Chalco Solidaridad	Texcoco
Luvianos	Tlalnepantla de Baz		Tonatico
Jilotepec	Tlatlaya		Villa de Allende
Nezahualcóyotl	Villa del Carbón		Zumpahuacán
Nopaltepec	Xalatlaco		
Otumba	Zacualpan		
Otzoloapan	Zumpango		
Ozumba			

Tomando en cuenta el objetivo de la investigación se trabajó de aquí en adelante con los 35 municipios que cuentan con SDF, por lo que se descartaron los once que cuentan con solo Estación de Transferencia (ET) y los catorce que no cuentan con SDF. Lo siguiente fue realizar el análisis descriptivo de las variables, con el fin de obtener los municipios que cuentan con valores extremos, para ello se realizaron gráficas de cajas de las variables. La figura 3.2 muestra los resultados de las variables con valores extremos de cada municipio.

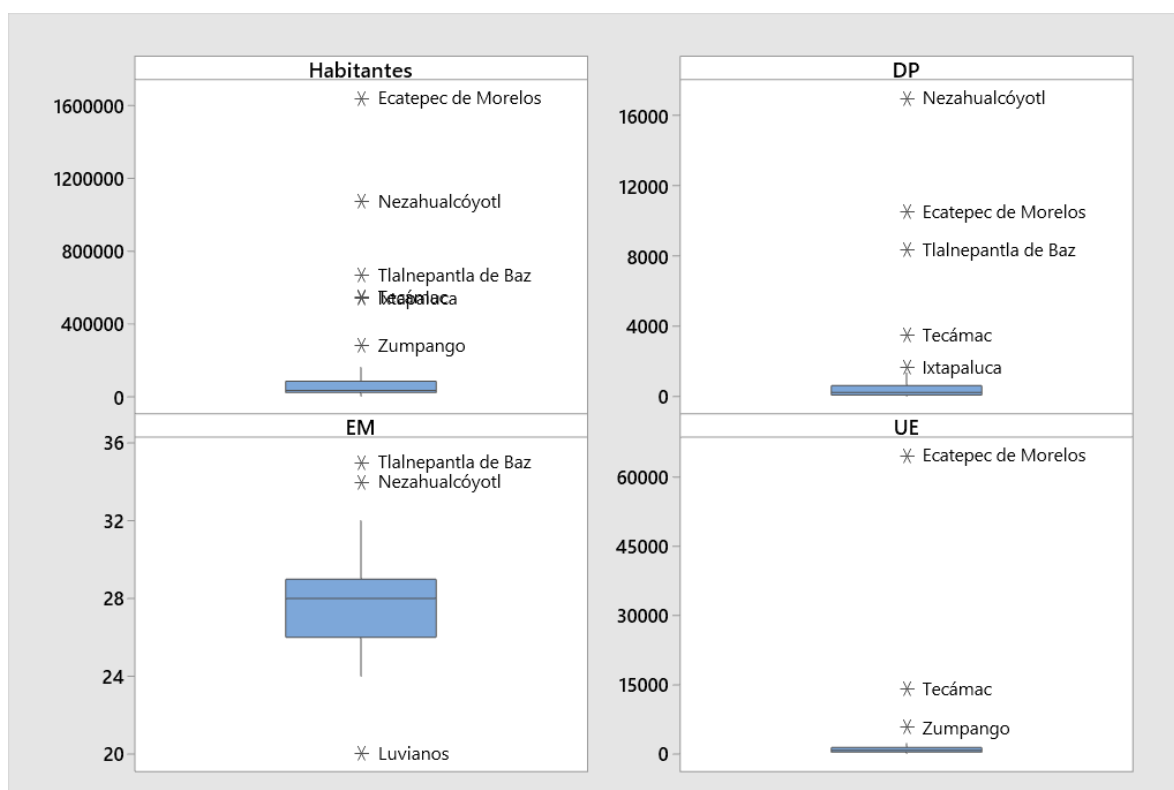


Figura 3.2 Grafica de cajas con valores extremos

Se descartaron seis municipios, debido a sus valores extremos (Figura 3.2), los cuales son: Ecatepec de Morelos, Ixtapaluca, Nezahualcóyotl, Tecámac, Tepotzotlán, y Tlalnepantla de Baz.

- c) Desarrollo del método AHP. Para la aplicación del método AHP lo primero fue definir el objetivo del método, así como los criterios y subcriterios a evaluar, para con ellos realizar un árbol jerárquico (Figura 3.3).

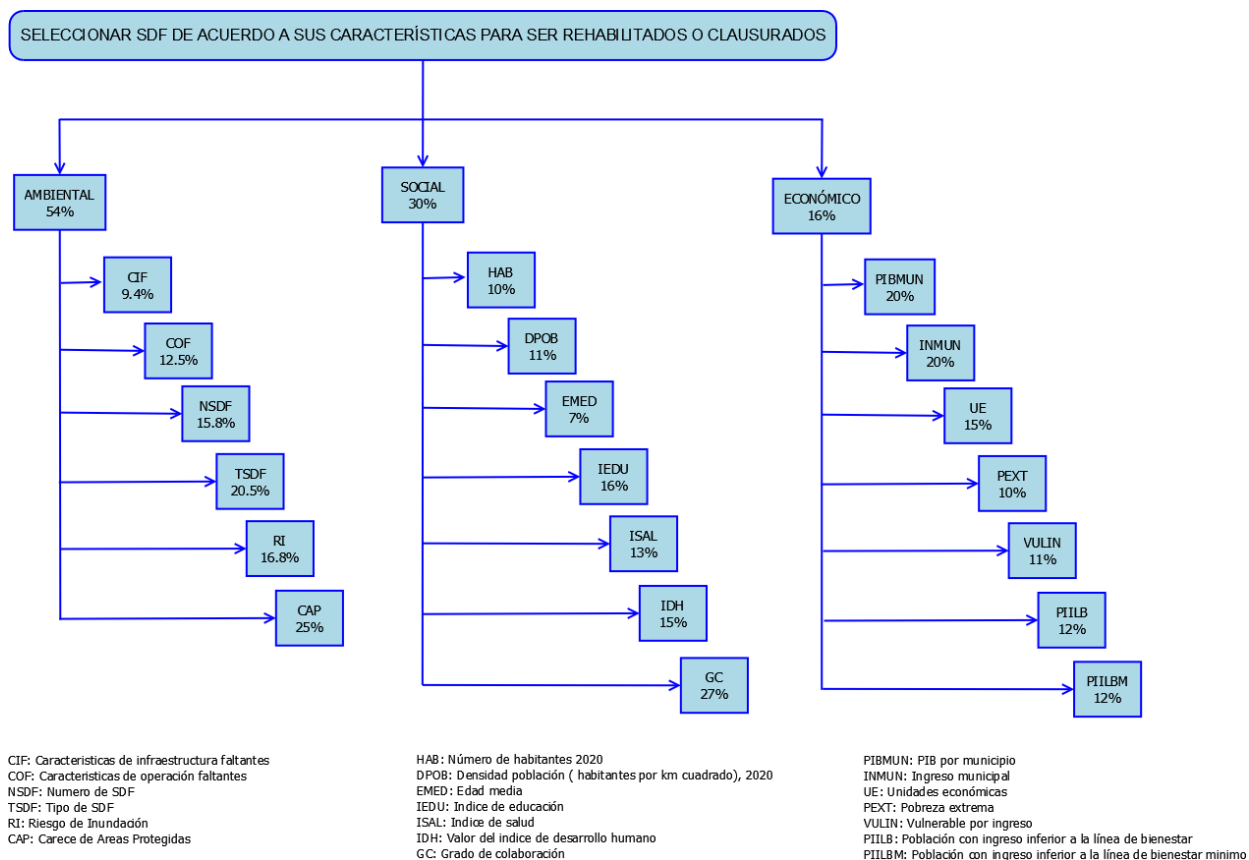


Figura 3.3 Árbol jerárquico

Lo siguiente es realizar una matriz de comparaciones por pares con cada uno de los criterios definidos, utilizando la escala de Saaty (Saaty, 1994). De acuerdo con el objetivo del proyecto se concediendo dos veces más prioridad al criterio ambiental que al social y tres veces más que el económico; así como dos veces más prioridad al social que al económico (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Matriz de comparación por pares de los criterios

	AMB	SOC	ECO
AMB	1.000	2.000	3.000
SOC	0.500	1.000	2.000
ECO	0.333	0.500	1.000

Para determinar la ponderación de los criterios se normalizo la matriz de comparación por pares y se obtuvo el promedio de cada fila, obteniéndose una prioridad del 54% para el criterio ambiental, 30% el criterio social y 16% para el

económico. Se determinó la proporción de consistencia de los valores asignados, obteniéndose un valor de consistencia del 0.8%, que es evidencia de un juicio informado al ser menor del 10%, por lo tanto, no es necesario reevaluar los juicios expresados en la matriz de comparaciones.

Una vez aceptados la ponderación de criterios lo siguiente es ponderar los subcriterios de manera análoga a los criterios, obteniendo las ponderaciones que se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Ponderación de subcriterios					
AMBIENTAL		SOCIAL		ECONÓMICO	
CIF	9.4 %	HAB	10 %	PIBMUN	20 %
COF	12.5 %	DPOB	11 %	INMUN	20 %
NSDF	15.8 %	EMED	7 %	UE	15 %
TSDF	20.9 %	IEDU	16 %	PEXT	10 %
RI	16.8 %	ISAL	13 %	VULIN	11 %
CAP	25.0 %	IDH	15 %	PIILB	12 %
		GC	27 %	PIILBM	12 %

CIF: Características de infraestructura faltantes; COF: Características de operación faltantes; NSDF: Numero de SDF; TSDF: Tipo de SDF; RI: Riesgo de inundación; CANP: Carece de áreas naturales protegidas; HAB: Habitantes; DPOB: Densidad poblacional; EMED: Edad media; IEDU: Índice de educación; ISAL: Índice de salud; IDH: Índice de desarrollo humano; GC: Grado de colaboración; PIBMUN: PIB por municipio; INMUN: Ingreso municipal; UE: Unidades económicas; PEXT: Pobreza extrema; VULIN: Vulnerable por ingreso; PIILB: Población con ingreso inferior a la línea de bienestar; PIILBM: Población con ingreso inferior a la línea de bienestar mínimo;

Antes de realizar la evaluación de los subcriterios con los datos de las variables se hicieron las siguientes consideraciones:

- El valor máximo del subcriterio CIF se le da al SDF que no cuenta con ningún tipo de infraestructura y se le dio la puntuación de 10 y al que cumple con toda la infraestructura de 1.
- El valor máximo del subcriterio COF se le da al SDF que no cuenta con ningún tipo de infraestructura y se le dio la puntuación de 10 y al que cumple con toda la infraestructura de 1.
- Para el TSDF se le asigno un valor de 2 a los sitios tipo B y C; y de 1 a los A y D.

- El valor máximo de riesgo inundación fue de 1 y se le dio a los municipios que presentaran un riesgo de inundación más bajo, mientras que el valor más bajo fue de 0.20, para los municipios con alto riesgo de inundación.
- En cuanto a arenas naturales protegidas, a los municipios que cuentan con dos o tres se les dio un valor de 1, a los de 1 un valor de 1.5 y a los que no cuentan con áreas naturales protegidas un valor de 2.
- Para los subcriterios de los criterios sociales y económicos, se obtuvieron los rangos de cada uno de ellos para posteriormente dividirlos entre 3 de tal manera que se tuvieran tres estratos de cada subcriterio: bajo, medio y alto. En el caso de los subcriterios: habitantes, índice de salud, valor del índice de desarrollo humano y unidades económicas se les dio el valor de 1 al estrato bajo, 2 al medio y 3 al alto. A los demás subcriterios de los criterio sociales y económicos se les dio el valor de 3 al estrato bajo, 2 al medio y 1 al alto.

Una vez realizadas estas consideraciones de acuerdo con el criterio se normalizaron los datos de cada subcriterio para posteriormente obtener el vector de prioridades realizando una suma producto de la matriz de ponderación del subcriterio y el valor normalizado del dato del municipio para ese subcriterio (Figura 3.4)

	PIBMUN	INMUN	UE	PEXT	VULIN	PIILB	PIILBM	PIBMUN	INMUN	UE	PEXT	VULIN	PIILB	PIILBM
Acambaj	3	2	1	2	3	1	1	0.0361	0.0270	0.0294	0.0270	0.0417	0.0172	0.0145
Aculco	3	2	1	3	3	2	3	0.0361	0.0270	0.0294	0.0405	0.0417	0.0345	0.0435
Amatepec	3	3	1	2	3	2	2	0.0361	0.0405	0.0294	0.0270	0.0417	0.0345	0.0290
Amecameca	3	3	2	3	2	3	3	0.0361	0.0405	0.0588	0.0405	0.0278	0.0517	0.0435
Apasco	2	3	1	3	2	2	3	0.0241	0.0405	0.0294	0.0405	0.0278	0.0345	0.0435
Asapusco	3	2	1	3	3	2	3	0.0361	0.0270	0.0294	0.0405	0.0417	0.0345	0.0435
Chapa de Mota	3	3	1	2	3	2	2	0.0361	0.0405	0.0294	0.0270	0.0417	0.0345	0.0290
Ecatzingo	3	3	1	2	3	1	1	0.0361	0.0405	0.0294	0.0270	0.0417	0.0172	0.0145
Huehuetoca	1	1	2	3	1	3	3	0.0120	0.0135	0.0588	0.0405	0.0139	0.0517	0.0435
Jilotepec	3	1	1	3	3	2	3	0.0361	0.0135	0.0294	0.0405	0.0417	0.0345	0.0435
Luvianos	3	3	1	1	3	1	1	0.0361	0.0405	0.0294	0.0135	0.0417	0.0172	0.0145
Nopaltepec	3	3	1	3	2	2	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0278	0.0345	0.0435
Otumba	3	3	1	3	2	2	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0278	0.0345	0.0435
Otzoloapan	3	3	1	2	3	1	1	0.0361	0.0405	0.0294	0.0270	0.0417	0.0172	0.0145
Ozumba	3	3	1	3	3	2	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0417	0.0345	0.0435
Polotitlán	3	3	1	3	3	3	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0417	0.0517	0.0435
Santo Tomás Hueyot	3	3	1	3	3	3	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0417	0.0517	0.0435
Soyaniquilpan de juar	3	3	1	3	2	2	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0278	0.0345	0.0435
Tejupic	3	1	2	1	3	1	1	0.0361	0.0135	0.0588	0.0135	0.0417	0.0172	0.0145
Temascalapa	3	3	1	3	2	2	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0278	0.0345	0.0435
Tepetlaoztoc	3	3	1	3	3	3	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0417	0.0517	0.0435
Tepetitlan	3	3	1	3	2	2	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0278	0.0345	0.0435
Tequisquiác	3	3	1	3	1	2	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0139	0.0345	0.0435
Tlamanalco	3	3	1	3	1	3	3	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0139	0.0517	0.0435
Tlatlaja	3	2	1	1	3	1	1	0.0361	0.0270	0.0294	0.0135	0.0417	0.0172	0.0145
Villa del Carbón	3	2	1	3	3	2	2	0.0361	0.0270	0.0294	0.0405	0.0417	0.0345	0.0290
Xalatlaco	3	3	1	3	3	2	2	0.0361	0.0405	0.0294	0.0405	0.0417	0.0345	0.0290
Zacualpan	3	3	1	1	3	1	1	0.0361	0.0405	0.0294	0.0135	0.0417	0.0172	0.0145
Zumpango	2	1	3	3	1	3	3	0.0241	0.0135	0.0588	0.0405	0.0139	0.0517	0.0435
	83.000	74.000	34.000	74.000	72.000	58.000	69.000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	MAT PONDERACION ECONOMICO							0.201	0.198	0.148	0.096	0.113	0.122	0.122

Figura 3.4 Matriz normalizada

Con la suma producto del vector de prioridad, derivado de los subcriterios y la matriz de ponderación de los criterios, se obtiene la ponderación final (Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Ponderación final

PONDERACIÓN CRITERIOS	0.2973 SOCIAL	0.1638 ECONÓMICO	0.5390 AMBIENTAL	PONDERACIÓN FINAL
Acambay	0.0318	0.0281	0.0341	0.0313
Aculco	0.0294	0.0351	0.0415	0.0353
Amatepec	0.0298	0.0347	0.0406	0.0350
Amecameca	0.0344	0.0426	0.0424	0.0398
Apaxco	0.0344	0.0338	0.0338	0.0340
Axapusco	0.0392	0.0351	0.0362	0.0368
Chapa de Mota	0.0294	0.0347	0.0321	0.0321
Ecatzingo	0.0364	0.0308	0.0400	0.0357
Huehuetoca	0.0343	0.0309	0.0294	0.0315
Jilotepec	0.0383	0.0324	0.0383	0.0363
Luvianos	0.0344	0.0295	0.0307	0.0315
Nopaltepec	0.0299	0.0362	0.0311	0.0324
Otumba	0.0301	0.0362	0.0361	0.0341
Otzoloapan	0.0330	0.0308	0.0345	0.0328
Ozumba	0.0322	0.0378	0.0406	0.0369
Polotitlán	0.0409	0.0399	0.0332	0.0380
Santo Tomás Hueyotlipan	0.0300	0.0399	0.0249	0.0316
Soyaniquilpan de Juárez	0.0339	0.0362	0.0289	0.0330
Tejupilco	0.0344	0.0285	0.0406	0.0345
Temascalapa	0.0344	0.0362	0.0303	0.0336
Tepetlaoxtoc	0.0322	0.0399	0.0345	0.0355
Tepetlixpa	0.0344	0.0362	0.0364	0.0357
Tequixquiac	0.0417	0.0346	0.0301	0.0355
Tlalmanalco	0.0315	0.0367	0.0333	0.0338
Tlatlaya	0.0294	0.0268	0.0343	0.0302
Villa del Carbón	0.0388	0.0333	0.0415	0.0379
Xalatlaco	0.0366	0.0360	0.0279	0.0335
Zacualpan	0.0431	0.0295	0.0338	0.0355
Zumpango	0.0429	0.0377	0.0287	0.0364

Con la información anterior se acomodaron de mayor a menor y se eligieron los 10 municipios con la ponderación más alta. Como puede apreciarse en la tabla 3.6, los municipios de Ecatzingo y Tepetlixpa ocuparon el lugar ocho y en el lugar nueve se ubicaron los municipios Tepetlaoxtoc, Tequixquiac y Zacualpan.

Tabla 3.6 Municipios con ponderación más alta

MUNICIPIO	PONDERACIÓN FINAL	MUNICIPIO	PONDERACIÓN FINAL
1 Amecameca	0.0398	8 Ecatzingo	0.0357
2 Polotitlán	0.0380	8 Tepetlixpa	0.0357
3 Villa del Carbón	0.0379	9 Tepetlaoxtoc	0.0355
4 Ozumba	0.0369	9 Tequixquiac	0.0355
5 Axapusco	0.0368	9 Zacualpan	0.0355
6 Zumpango	0.0364	10 Aculco	0.0353
7 Jilotepec	0.0363		

De los municipios listados en la tabla 3.6 se pudo tener acercamiento con varios de ellos y se eligieron a Polotitlán y Zacualpan, debido a que mostraron gran interés y compromiso para desarrollar el proyecto, por lo que se decidió continuar con ellos los estudios.

3.1.2 Análisis del manejo de residuos sólidos urbanos

Definidos los municipios, se realizó la investigación de su MIRSU en Fuentes Oficiales (FOfi), así como la aplicación de una Cédula de Entrevista (CE) a los encargados del manejo de los residuos de cada municipio. En la tabla 3.7 se muestran la información recabada de los dos municipios.

Tabla 3.7 Información del MIRSU de los municipios

MUNICIPIO	ZACUALPAN, EDOMÉX		POLOTITLÁN, EDOMÉX	
	FOfi	CE	FOfi	CE
PMIRSU	No	No	Si	Si
REG	No	No	Si	Si
GEN	No	No	Si	Si
REC	Si	Si	Si	Si
TRAT	No	No	No	No
TRANSF	No	No	No	No
SDF	Si	Si	Si	Si
CANTIDAD DE RSU (t)	6	6	10	10
TIPO DE SDF	SNC	SNC	SC	SC
TIEMPO DE OPERACIÓN DEL SDF (años)	-	-	-	18

FOfi: Fuentes oficiales; CE: Cedula de entrevista; PMIRSU: Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos; REG: Reglamento; GEN: Generación; REC: Recolección; TRAT: Tratamiento; TRANF: Transferencia; SDF: Sitio de Disposición Final.

3.2 ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EXISTENTES

Para realizar el análisis de la ubicación se utilizó un SIG como se describe a continuación.

3.2.1 Análisis de la ubicación del sitio de disposición final con el SIGMIRSU

Se utilizó el SIGMIRSU desarrollado en la Etapa 4 del proyecto SEMARNAT-2015-1-263315, para obtener los mapas de los SDF de los municipios seleccionados con las restricciones conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004).

a) Zacualpan. Para el análisis de la ubicación del sitio denominado “Tiradero municipal de Zacualpan”, se identificó la ubicación con un punto color azul, las zonas idóneas de color verde y las restricciones de color rojo:

- Restricción a aeropuertos. En la figura 3.5 se puede observar que el municipio de Zacualpan no cuenta con aeropuertos, cumpliendo con la restricción por aeródromos de servicio al público o aeropuertos.

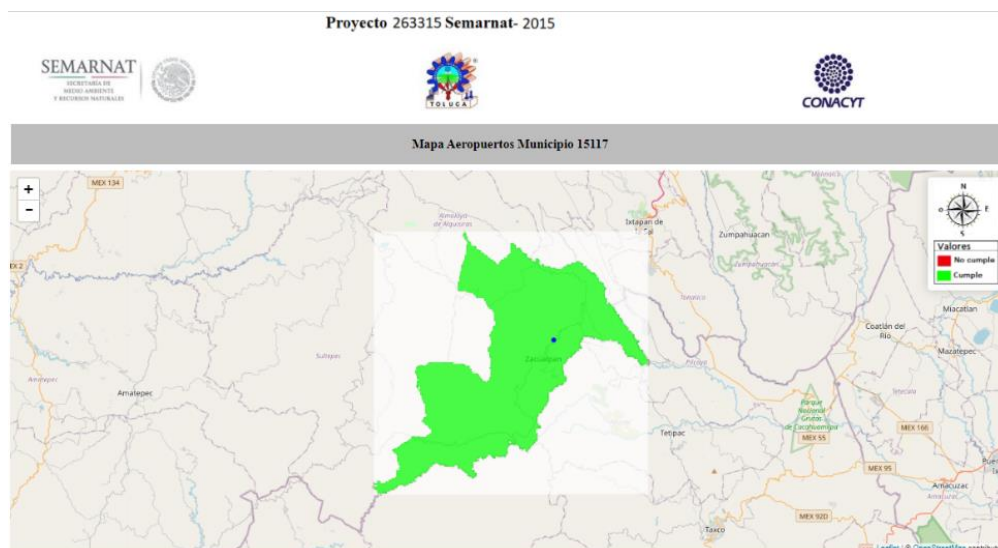
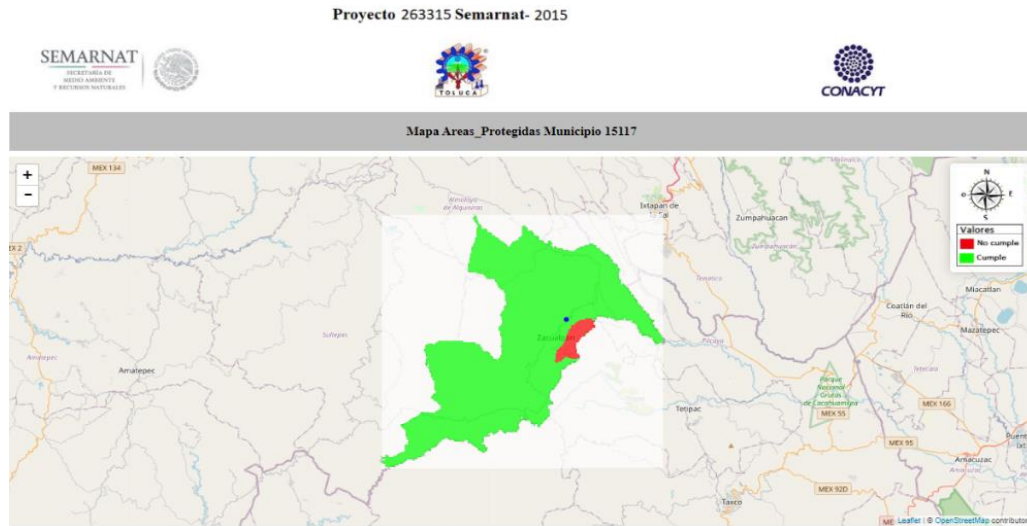


Figura 3.5 Restricción por aeropuertos

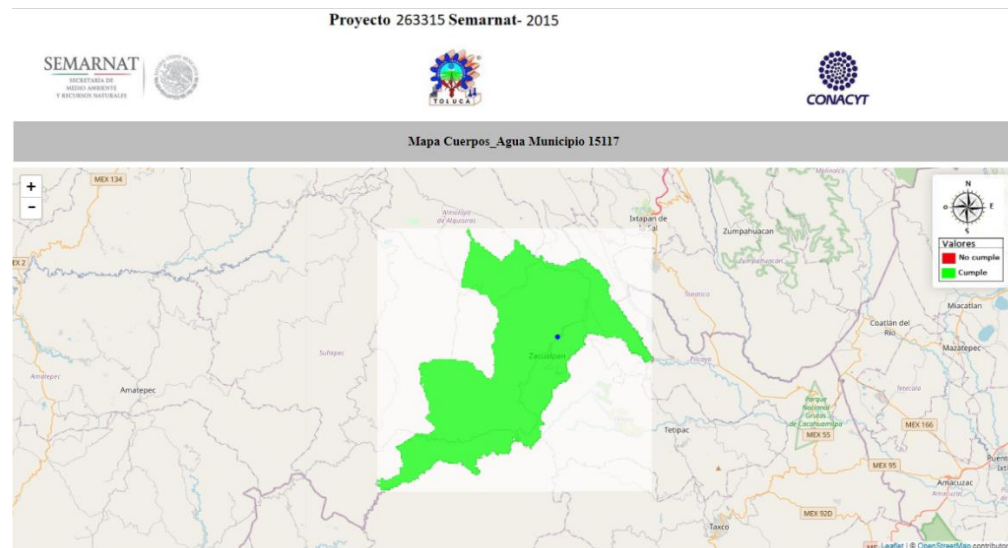
- Áreas protegidas. El municipio de Zacualpan cuenta con el Parque Estatal Picacho de Oro y Plata, que es un área protegida pero el SDF está ubicado fuera del mismo, por lo que cumple con la restricción (Figura 3.6).



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.6 Restricción por áreas naturales protegidas

- Cuerpos de agua. El SDF del municipio de Zacualpan no se encuentra cerca de cuerpos de agua, así mismo se observa que no hay cuerpos de agua dentro del municipio (Figura 3.7).

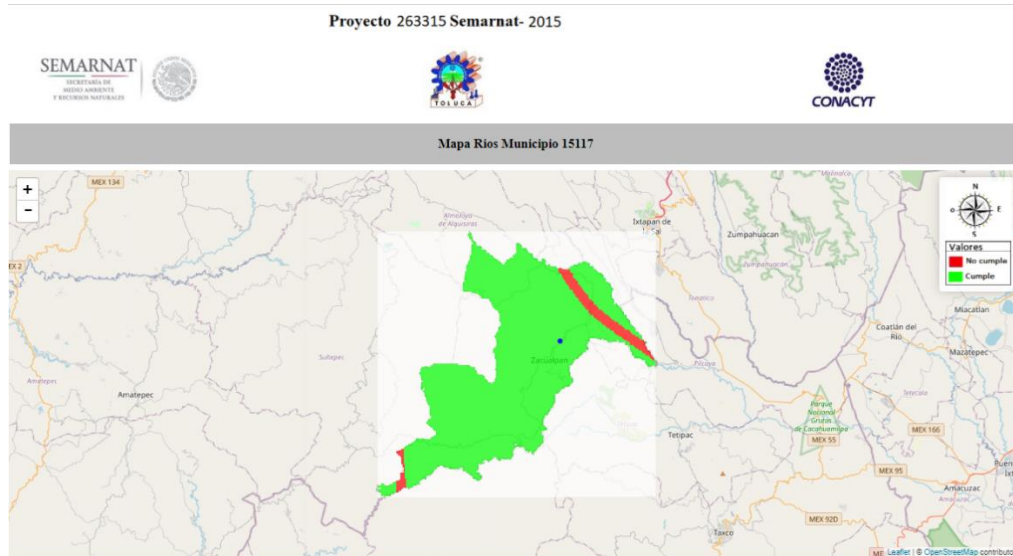


Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.7 Restricción por cuerpos de agua

- Ríos. En la figura 3.8 se puede apreciar que el municipio no se encuentra cerca de ríos, por lo que cumple con la restricción de una distancia de 500 m; sin

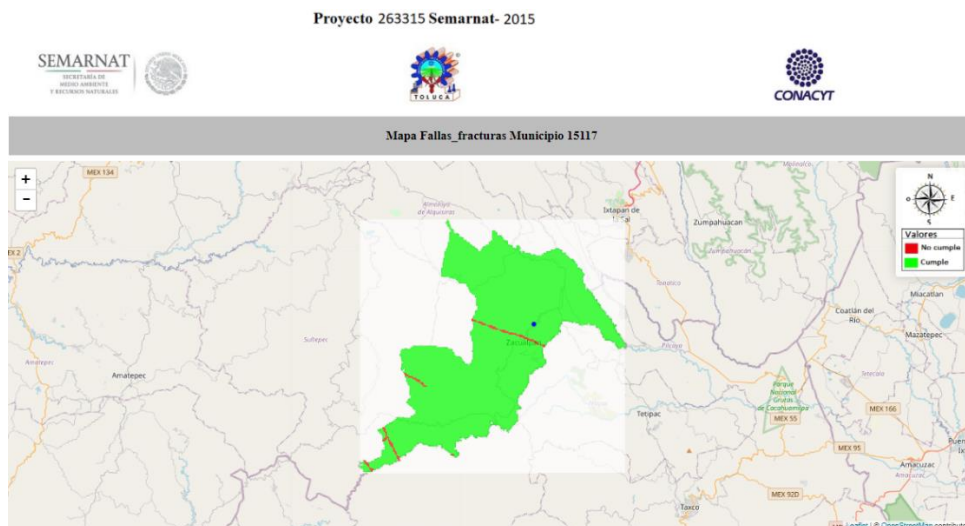
embargo, el sitio se encuentra en una elevación por lo que en época de lluvias puede generar escurrimientos.



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.8 Restricción por ríos

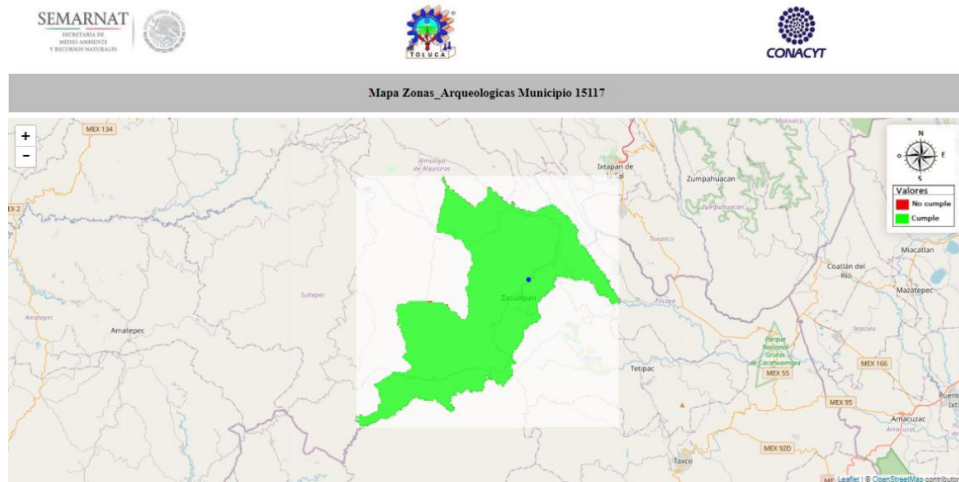
- Fallas y/o fracturas. Las fallas que se encuentran en el municipio de Zacualpan no se encuentran cerca del SDF, por lo que cumple con la restricción (Figura 3.9).



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.9 Restricción por fallas y/o fracturas

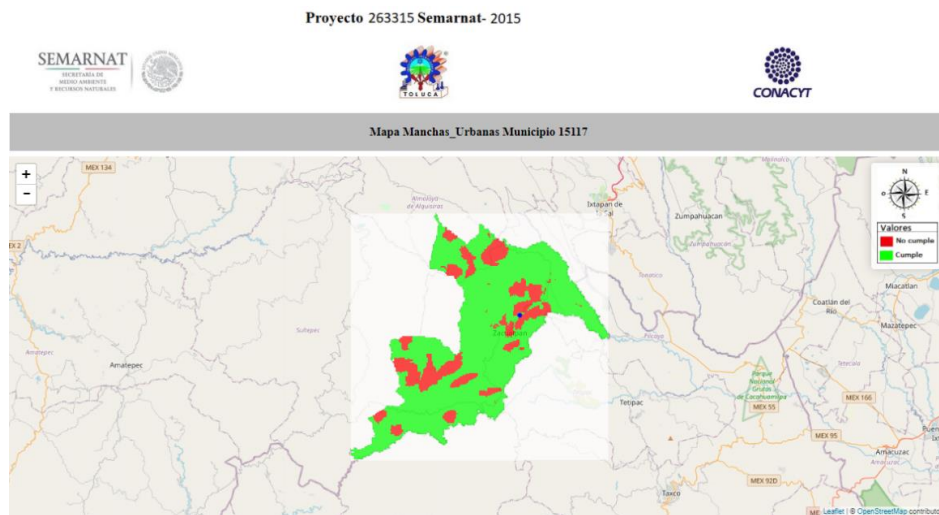
- Zonas arqueológicas. En la figura 3.10 se muestra que no se encuentran zonas arqueológicas que impidan la ubicación del SDF.



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.10 Restricción por zonas arqueológicas

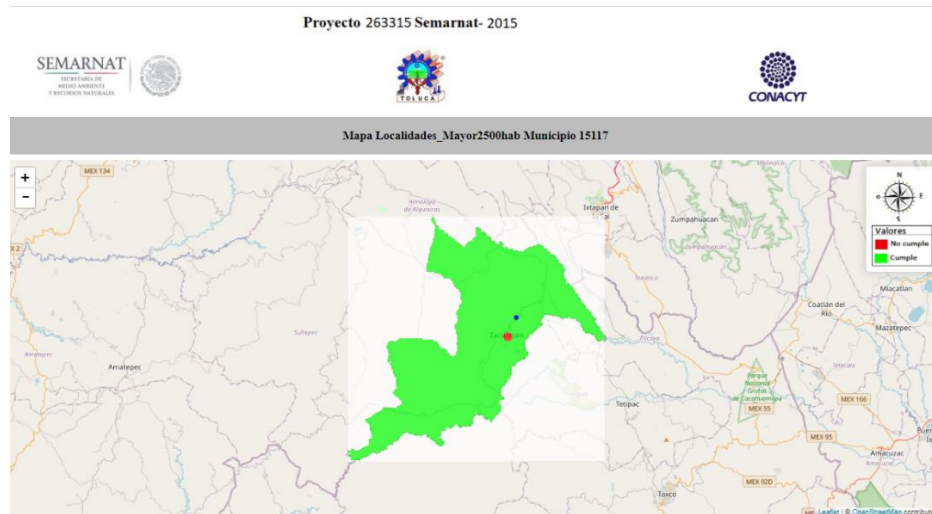
- Mancha urbana. La mancha urbana más cercana al sitio se encuentra a 365.79 m de este, siendo la única a esta distancia; debido a ello no cumple con la restricción de estar a una distancia mínima de 500 m; sin embargo, las demás manchas se encuentran a una distancia mayor de 500 m.



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.11 Restricción por manchas urbanas

- Localidades mayores de 2500 habitantes. En el municipio se puede apreciar que la localidad con una población mayor a 2500 habitantes es en la cabecera municipal, esta se encuentra a una distancia de 2.6 km por lo que está lo suficientemente lejos para cumplir con esta restricción.

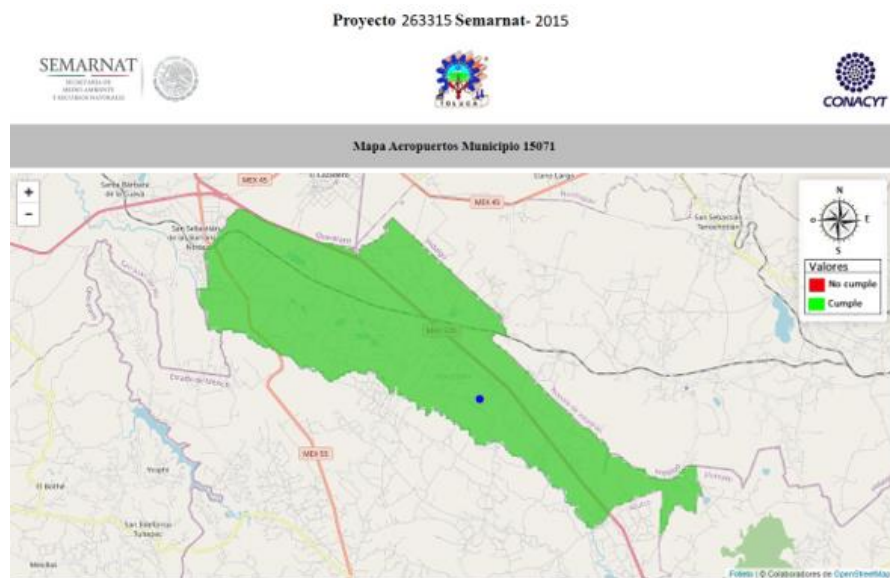


Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.12 Restricción por localidades mayores a 2500 habitantes

b) Polotitlán. El análisis de la ubicación del SDF del municipio de Polotitlán se presenta a continuación, representado como un punto color azul, de color verde las áreas idóneas y las restricciones de color rojo:

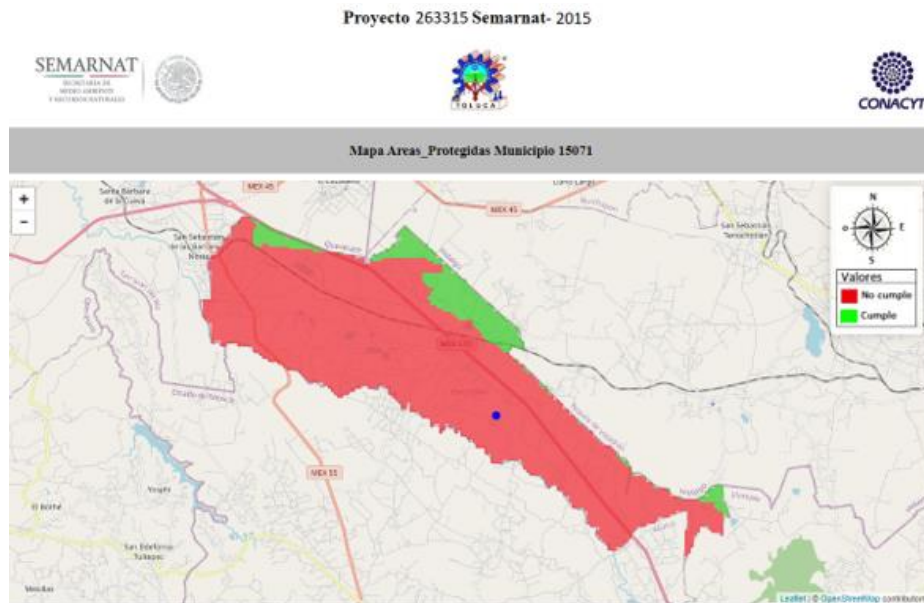
- Restricción a aeropuertos. En la figura 3.13 se puede observar que el municipio de Polotitlán cumple con la restricción de 13 km de aeródromos de servicio al público o aeropuertos.



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.13 Restricción por aeropuertos

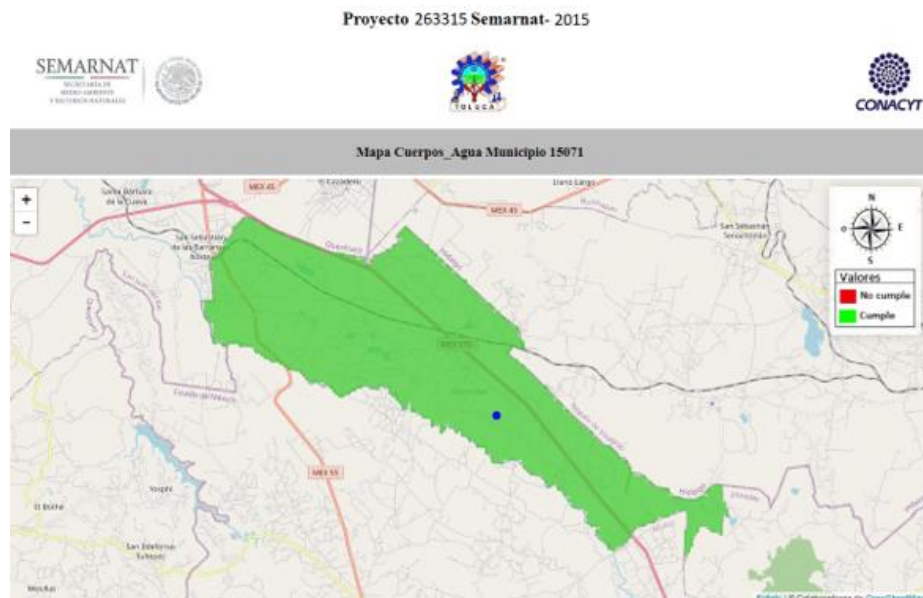
- Áreas protegidas. El municipio de Polotitlán pertenece al área natural protegida denominada Santuario del Agua Sistema Hidrológico Presa Huapango, por lo que se incumple esta restricción (Figura 3.14).



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.14 Restricción por áreas naturales protegidas

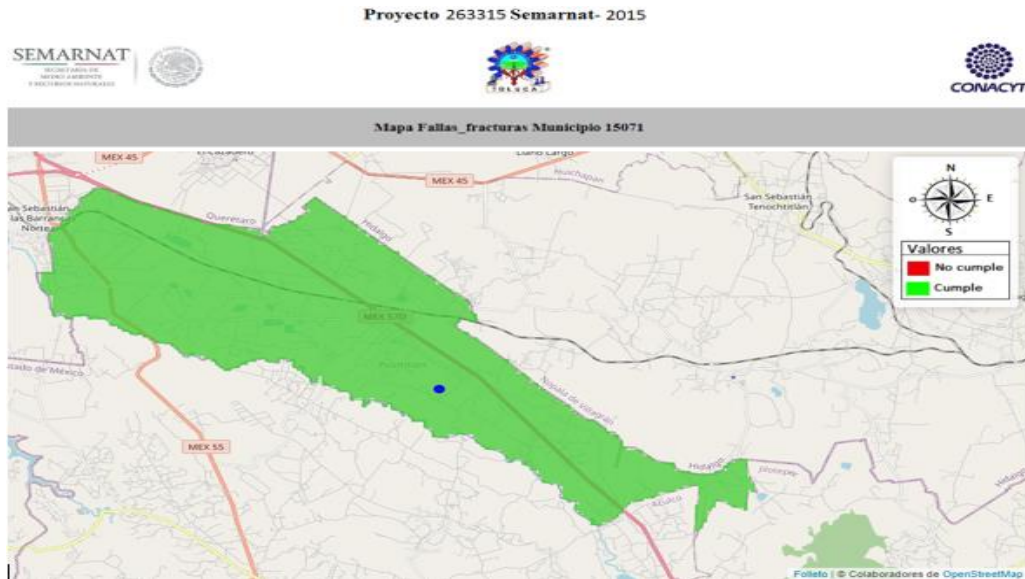
- Cuerpos de agua. El SDF del municipio de Polotitlán no se encuentra cerca de cuerpos de agua, por lo que no tiene restricción de su ubicación con respecto a este punto (Figura 3.15).



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.15 Restricción por cuerpos de agua

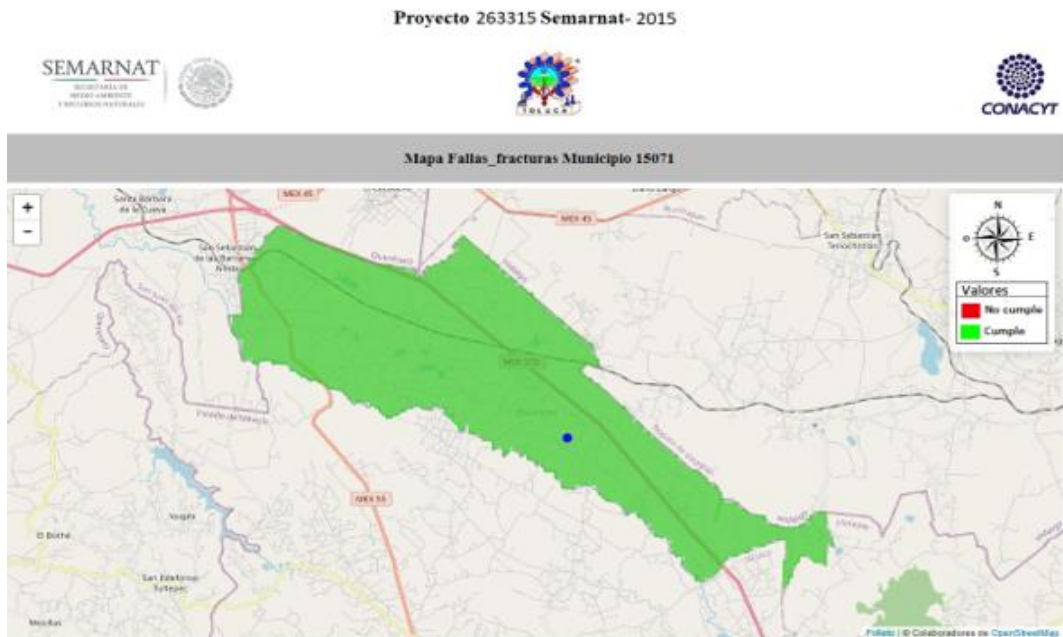
- Ríos. De acuerdo con el SIGMIRSU el SDF de Polotitlán, cumple con la restricción de una distancia de 500 m (Figura 3.16).



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.16 Restricción por ríos

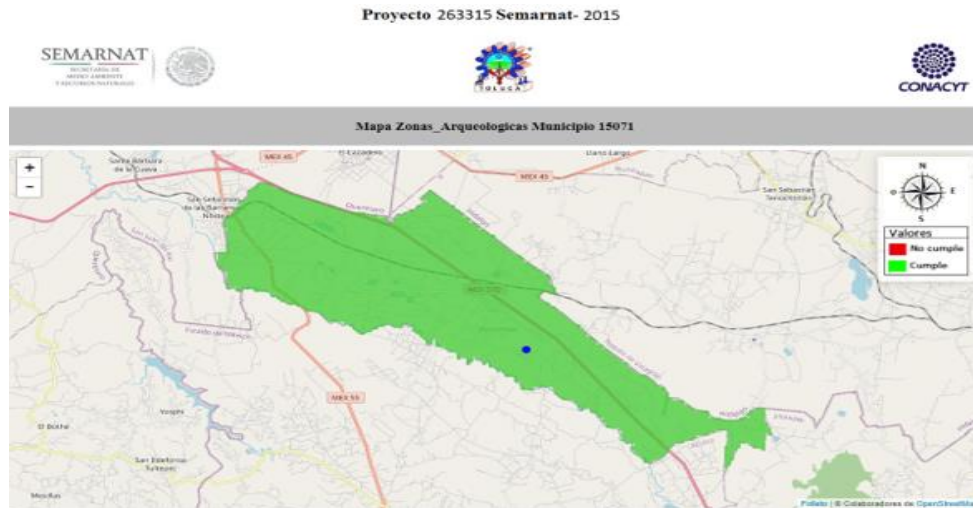
- Fallas y/o fracturas. En lugar donde se encuentra el SDF en el municipio de Polotitlán, no se encuentran fallas o fracturas (Figura 3.17).



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.17 Restricción por fallas y/o fracturas

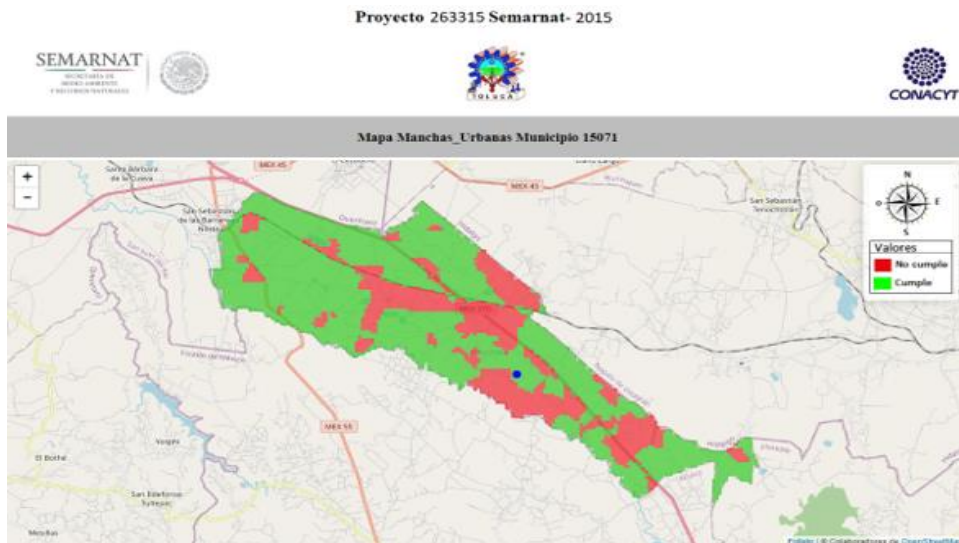
- Zonas arqueológicas. En la figura 3.18 se muestra que no se encuentran zonas arqueológicas que impidan la ubicación del SDF.



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.18 Restricción por zonas arqueológicas

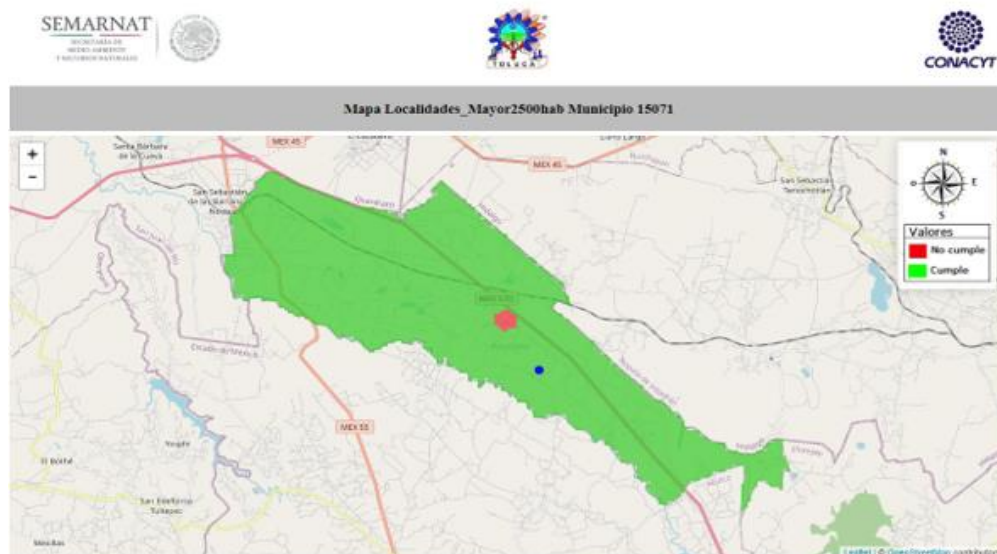
- Mancha urbana. La mancha urbana del municipio se presenta en la figura 3.19, mostrándose que el SDF no se encuentra dentro de ella, por lo que el sitio cumple con la restricción.



Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.19 Restricción por manchas urbanas

- Localidades mayores de 2500 habitantes. La localidad más cercana al SDF se encuentra al noroeste del SDF a 2.6 km de distancia; por lo que no se incumple este criterio (Figura 3.20).

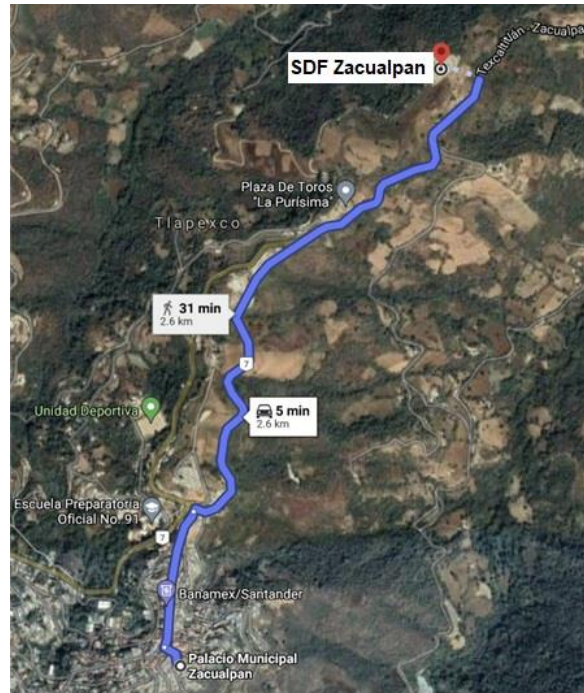


Fuente: Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021

Figura 3.20 Restricción por localidades mayores a 2500 habitantes

3.2.2 Caracterización fisicoquímica del sitio de disposición final de los municipios seleccionados

La caracterización fisicoquímica se realizó en los SDF del municipio de Zacualpan y de Polotitlán. El SDF del municipio de Zacualpan, EdoMéx estaba registrado por las autoridades en el 2012 como un tiradero a cielo abierto denominado, “Basurero Municipal Zacualpan” (GEM, 2012), sin embargo, en el DBGIR se denomina “Tiradero Municipal de Zacualpan” (SEMARNAT, 2020). Este SDF se encuentra en la carretera Federal No. 7 Texcaltitlán – Zacualpan, Zacualpan, EdoMéx, con coordenadas: 18.7365, -99.7675 (18° 44' 11.3994" de latitud y -99° 46' 2.9994" de longitud) (Google Maps, 2021) (Figura 3.21).



Fuente: Google Maps, 2021

Figura 3.21 Distancia del SDF al centro de Zacualpan, EdoMéx.

El SDF del municipio de Polotitlán está registrado como “Relleno Sanitario Municipal Celda de disposición” y se localiza en las coordenadas geográficas latitud 20.201239 y longitud -99.803170, a una distancia de 4.4 a 4.9 km de la cabecera municipal (Figura 3.22) y cuenta con tres rutas hasta la entrada, de acuerdo a las vialidades existentes (Google Maps, 2021).



Fuente: Google Maps, 2021.

Figura 3.22 Distancia del SDF al centro de Polotitlán, EdoMéx.

Una vez determinada la ubicación de los SDF, se gestionó con los municipios que nos permitieran visitarlos y realizar muestreo, obteniéndose los siguientes resultados.

a) Caracterización de residuos sólidos urbanos. Para el municipio de Zacualpan se realizó la caracterización en temporada de lluvias, sin embargo, para Polotitlán no se llevó a cabo la caracterización debido a la pandemia por COVID-19, para salvaguardar la salud de los estudiantes y profesores que participan en el estudio y de los municipios, en cuanto las condiciones sanitarias lo permitan, se concretará una fecha para acudir a los municipios y realizar los muestreos *in situ*.

- Zacualpan: De acuerdo con la información proporcionada por el responsable del MIRSU en 2020, el municipio de Zacualpan realizaba la recolección diaria de 6 t de RSU de manera diferenciada, con horarios diferentes para recolectar los residuos orgánicos y los residuos inorgánicos.

La caracterización de RSU se realizó el 28 de julio del 2016, la cual corresponde a las temporadas lluvias 2016. A los residuos colectados de cinco puntos en el área de disposición, se les aplicó la NMX-AA015-1985 hasta obtener sobre 50 kg de muestra final, de la cual mediante la NMXAA-022-1985 (DOF, 1985b), se agruparon en las categorías (subproductos) indicadas en el documento publicado por INECC-SEMARNAT (2012). El subproducto “Otros” fue integrado por: residuos finos, electrónicos, medicamentos, cerámica, materiales de construcción y varios; el subproducto residuos orgánicos fue conformado por: residuos alimenticios, residuos de jardinería, fibra dura vegetal (esclerenquima), huesos, madera y cuero; mientras que los materiales susceptibles de ser valorizados fueron: papel, cartón, Tetrapak, plásticos, vidrio, material ferroso, material no ferroso y textiles.

Se encontró una gran diferencia en cuanto a la fracción orgánica (FO) se refiere, mientras que en Zacualpan hay apenas un 6%, la media nacional maneja 51.6%, así mismo el SDF recibe un alto porcentaje de plástico (29%), el cual es lo que más genera el municipio, seguido de productos de cartón y

papel (25%), mientras que a nivel nacional estos residuos sólo equivalen al 11% y al 14.2% respectivamente, por lo que se puede llegar a implementar un sistema de reciclaje de papel y cartón para poder aprovechar la cantidad que se genera en el municipio. (SEMARNAT, 2017). En la figura 3.23 se presenta la caracterización de los subproductos, determinados en las épocas de lluvias en 2016. En la tabla 3.8 se presentan los valores determinados en laboratorio de los RSU colectados en el SDF de Zacualpan en 2016.

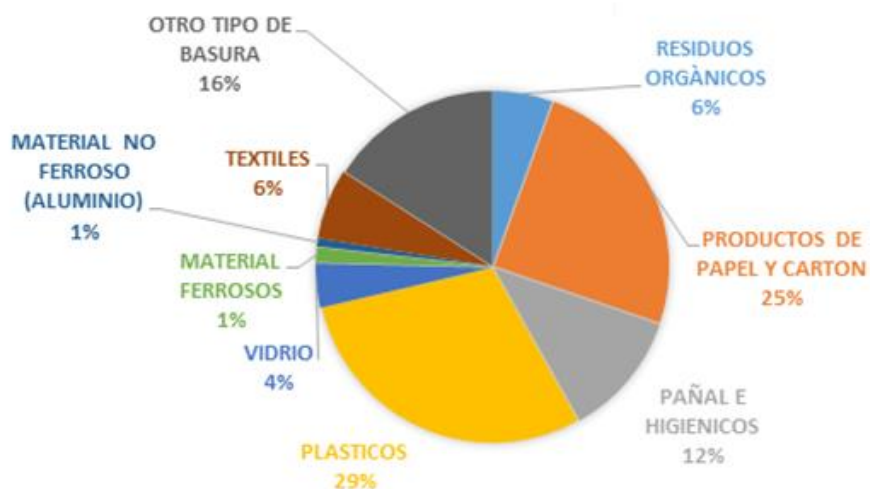


Figura 3.23 Caracterización de residuos en el SDF de Zacualpan, lluvias 2016

Tabla 3.8. Caracterización fisicoquímica de residuos del SDF de Zacualpan

PARÁMETRO	VALOR
Temperatura (°C)	18,94
pH	7,60
Materia Orgánica (%)	55,66
Humedad (%Hbh)	23,04
SVT (%bs)	83,69

- b) Caracterización de lixiviados. Se realizó la toma de muestra de acuerdo con lo establecido en normatividad en cada municipio y tras realizar los estudios de acuerdo con las normas y métodos aprobados mencionados la tabla 2.2, en el Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) del Instituto Tecnológico de Toluca se obtuvieron los siguientes resultados.

- Municipio de Zacualpan. No fue posible muestrear lixiviados, debido a que en el SDF no se cuenta con un sistema de recolección y no se encontraron afloramientos de éstos.
- Municipio de Polotitlán. El muestreo de lixiviados se llevó a cabo en una celda ubicada en el lado norte, denominada M1 y en una laguna de lixiviados al noroeste del sitio, identificada como M2 (Figuras 3.24 y 3.25).



Fuente: Adaptado de Google Earth, 2021

Figura 3.24 Puntos de muestreo de lixiviados



Figura 3.25 Laguna de lixiviados ubicada al noreste del sitio de disposición final de Polotitlán, EdoMéx.

Los valores de la caracterización de lixiviados del SDF de Polotitlán se enlistan en la tabla 3.9, los cuales no representan en lo general un riesgo ambiental, debido a que se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) de la NOM-ECOL-001-1996. El pH de la muestra M1 fue neutro y el de M2 ligeramente básico, mientras que la Conductividad Eléctrica es baja en ambos casos, lo cual es indicio de un contenido bajo en sales.

Los valores altos de las cargas orgánicas (SVT y DQO) en los lixiviados, pueden atribuirse a los residuos orgánicos detectados de manera visual entre los RSU. Los valores determinados de Nitrógeno amoniacal (N-NH_3) y Sulfatos (SO_4^{2-}) no representan un riesgo para la metanogénesis, por lo que los lixiviados pueden recircularse sin riesgo a la celda para acelerar la biodegradación de la fracción orgánica (Gerardi, 2003).

La determinación de metales pesados en lixiviados Cu, Cd, Pb, Ni, Zn, Al y Cr, presentó concentraciones no cuantificables (NQ, por sus siglas en inglés). Para el caso de Fe se cuantificó 1.98 mg/L para la laguna (M2) y 8.18 mg/L para la laguna en la celda norte. Estos valores se consideran de no riesgo, aunque la NOM-SEMARNAT-052-2005 y la NOM-ECOL-001-1996 no reportan (NR) valores para el LMP y, se deben a la presencia de este metal en el tipo de suelo que existe en el SDF.

Tabla 3.9 Resultados de la caracterización de lixiviados del SDF de Polotitlán, EdoMéx.

PARÁMETRO	CONDICIONES AMBIENTALES (°C)	NORMA O MÉTODO	UNIDADES	LAGUNA DE LIXIVIADOS (M2)	CELDA NORTE LIXIVIADOS (M1)	LMP / CPR NOM- SEMARNAT- 052-2005	LMP EN RÍOS P.M.-P.D. NOM-ECOL- 001-1996
Temperatura	22.3	NMX-AA-007-SCFI-2016	°C	18.9	17.63	NA	NA – 40.0
pH	22.3	NMX-AA-008-SCFI-2016	NA	7.51	8.34	NA	5.0 a 10.0
Conductividad Eléctrica	22.4	NMX-AA-093-SCFI-2000	mS/cm	1.99	2.12	NA	NA
ST	18.3	NMX-AA-034-SCFI-2015	mg/L	4,575.00	3,091.67	NA	NA
DQO	18.1	Método dicromato, aprobado por la USEPA	mg/L	5,400	2,500	NA	NA
N-NH ₃	18.8	NMX-AA-026-SCFI-2010	mg/L	337.58	116.02	NA	NA
SO ₄ ⁻²	18.8	NMX-AA-074-SCFI-2014	mg/L	5.28	7.28	NA	NA
Cu	18.6	NMX-AA-051-SCFI-2016	mg/L	NQ	NQ	NR/Th	4.0 – 6.0
Cd	19.8		mg/L	NQ	NQ	1.0	0.1 – 0.2
Pb	19		mg/L	NQ	NQ	5.0	0.2 – 0.4
Ni	19.3		mg/L	NQ	NQ	NR/Th	2.0 – 4.0
Zn	19		mg/L	NQ	NQ	NR/Th	NR
Cr	19		mg/L	NQ	NQ	5.0	0.5 – 1.0
Al	18.5		mg/L	NQ	NQ	NR/R,Th	NR
Fe	19.3		mg/L	1.98	8.18	NR	NR

CPR: Códigos de peligrosidad de los residuos, LMP: Límite máximo permisible, NA: No aplica, ND: No Detectado, NQ: No cuantificable, NR: No reportado, P.D.: Promedio diario, P.M.: Promedio Mensual, R: Reactividad, Th: Toxicidad aguda. Se reporta NQ, porque la concentración en la muestra se encuentra por debajo de la concentración del primer estándar preparado para la curva de calibración que es: Para Cu 0.20 mg/L; Cd 0.10 mg/L; Pb 0.20 mg/L; Ni 0.20 mg/L; Zn 0.10 mg/L; Cr 0.15 mg/L; Al 1.00 mg/L; As 0.50 mg/L.

c) Caracterización de biogás. Si bien se contaba con el Analizador de Gases GEM 2000 marca LANDTEC y con el muestreador ACCU-FLO; así como con el permiso de las autoridades municipales de ambos sitios seleccionados, al pretender realizar las labores de campo, se tuvieron los siguientes inconvenientes:

- Municipio de Zacualpan. En el SDF del municipio de Zacualpan, EdoMéx no fue posible llevar a cabo la caracterización de biogás, debido a que carece de un sistema de captación pozos de venteo y tratamiento de biogás.
- Municipio de Polotitlán. No fue posible realizar la caracterización de biogás del SDF de Polotitlán, debido a que la estructura del pozo de venteo no es la adecuada, ya que impide la entrada del muestreador y a que el sistema de captación de biogás no está en funcionamiento, aunque cuenta con tres pozos (Figura 3.26).



Figura 3.26 Pozo de venteo del sitio de disposición final de Polotitlán, EdoMéx.

d) Caracterización de Suelo

- Municipio de Polotitlán. En la figura 3.31 se observan los puntos en los cuales se tomaron las diferentes muestras para analizar y realizar la caracterización de suelos del SDF de Polotitlán, EdoMéx. Las muestras se realizaron con especificaciones para muestras alteradas (Figura 3.27) debido a que no se contó con equipo especializado (DOF, 2003b).



Fuente: Adaptado de Google Earth, 2021

Figura 3.27 Puntos de muestreo de suelo en el sitio de disposición final de Polotitlán, EdoMéx

En el recorrido visual se detectaron dos tipos de suelo, por lo que se tomaron dos muestras de suelo sano para determinar textura (Figura 3.28).



Figura 3.28 Muestreo de suelo en el sitio de disposición final de Polotitlán, EdoMéx.

Con los resultados de la granulometría (Figura 3.29) se establece la composición del suelo como: 19% grava, 72% arena, y el 9% limo para la muestra 1. Mediante el método del Triángulo de Textura se determina que el tipo de suelo es Franco-Arenosa-Gravosa.



Figura 3.29 Prueba granulométrica de suelo en el sitio de disposición final de Polotitlán, EdoMéx.

En cuanto a la composición de la muestra M2 de suelo sano los resultados de la granulometría establecen la composición del suelo como: 1.3% grava, 95.4% arena, y el 3.3% limo. Mediante el método del Triángulo Textural se determina que el suelo es una arena bien graduada. En ambas muestras las partículas finas corresponden a un limo de baja plasticidad.

3.3 ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ENTRE CLAUSURA O REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN

Para realizar el análisis de factibilidad se evaluaron los SDF técnica, ambiental y económicamente como se muestra a continuación.

3.3.1 Evaluación técnica

Para realizar la TV se gestionó y visitó los SDF de los municipios de Zacualpan y

Polotitlán, EdoMéx. A continuación, se presentan los resultados para cada uno de estos municipios.

a) Evaluación técnica del sitio de disposición final de Zacualpan

La aplicación de la TV en época de lluvias (Anexos C y D) se realizó con base a información proporcionada por el Responsable del MIRSU del municipio de Zacualpan (Administración 2016- 2018), a la inspección visual en el SDF y a los mapas generados con el SIGMIRSU.

La tabla 3.10 muestra el puntaje de cumplimiento de la TV y las áreas de oportunidad del SDF de Zacualpan. Se puede apreciar que en la categoría que se refiere a la ubicación del sitio cumple todos los puntos debido a que la mancha urbana que tiene cercana es de una localidad con un número de habitantes menor a 2500, la cual se refiere a la subcategoría 6.1. Se obtuvo incumpliendo total en la categoría 9. Cabe aclarar que en las subcategorías 6.2 y el apartado 8 denominado “Requisitos mínimos que deben cumplir los Sitios de Disposición Final de los RSU y RME, tipo D”, no se consideró para el SDF de Zacualpan, ya que éste se considera como un SDF tipo C. En la categoría 7 “Características constructivas y operativas del sitio” se observa que cumple con la cobertura de residuos y la captura de lixiviados, pero carece de puntos importantes como el impedir el ingreso de RP al sitio o control de la fauna nociva, así mismo no cuenta con una cerca que cubra el SDF en su totalidad, además de que no tiene ningún procedimiento referente al biogás que se genera en el sitio, así mismo en cuanto a lixiviados tiene un sistema de captura pero el sitio es uno no controlado por lo que no se puede asegurar que realmente se estén manejando de la mejor manera para reducir su impacto. El nivel de cumplimiento general fue del 15.62%, por lo que se recomienda atender de inmediato las áreas de oportunidad detectadas, para mejorar la operación del SDF y cumplir con un mayor nivel los criterios de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004).

Tabla 3.10 Cumplimiento de NOM-083-SEMARNAT-2003 y áreas de oportunidad según la Tabla de Verificación para Zacualpan en época de lluvias

SITIO	PUNTUAJE MÁXIMO	PUNTUAJE OBTENIDO	EVALUACIÓN	ÁREAS DE OPORTUNIDAD
Categoría			C	Recibe en promedio más de 10 Ton/día
Restricción para ubicación del sitio	7	7	100%	El SDF tiene en las cercanías una mancha urbana que se encuentra a una distancia menor de 500 m, aunque no es una localidad con un número mayor a 2500 habitantes aún puede afectarla de manera negativa.
Estudios y análisis previos	8	0	0%	No cuenta con ningún tipo de estudio previo para la selección de sitio. No cuenta con ningún tipo de estudio previo para la construcción y operación del sitio.
Características constructivas y operativas del sitio	41	3	7.32%	No garantiza un coeficiente de conductividad hidráulica. Al no contar con sistema de registro de entrada y salida de residuos no se puede evitar el ingreso de RP. No cuenta con cerca en la totalidad del SDF y no se controla la fauna nociva y evita el ingreso de animales. Carece de: coeficiente de conductividad hidráulica; extracción, captación parcial, conducción y quemado del biogás.
Requisitos mínimos que deben cumplir los Sitios de Disposición Final de los RSU y RME, tipo D	NA	NA	NA	
Clausura del sitio	8	0	0	No cuenta con un sistema de captación de biogás. No cuenta con programa de monitoreo de biogás y lixiviados posclausura, no cuenta con programa posclausura.
Evaluación del cumplimiento	64	10	15.62%	

La aplicación de la TV presentada en el Anexo D, evidenció que el SDF de Zacualpan, EdoMéx, reportado como “Tiradero municipal Zacualpan”, cumple con las restricciones para ubicación del sitio; sin embargo, carece enormemente en los requisitos que deben de cumplir los SDF de tipo C cumpliendo únicamente con el cubrimiento con tierra de los residuos y con un sistema de captura de lixiviados lo que genera varias áreas de oportunidad que deben de atenderse de

manera necesaria para reducir el impacto que este sitio genera; de las características constructivas y operativas tiene: barrera geológica (según operadores), pozos de venteo (tres tapados), control de dispersión de materiales y fauna nociva, cobertura mensual, caceta de vigilancia y caminos de acceso; además de que no cuenta con programa posclausura.

b) Evaluación técnica del sitio de disposición final de Polotitlán

La evaluación técnica del SDF de Polotitlán se realizó en dos fechas, la primera fue el 11 de octubre de 2021 (Anexos E y F) y la segunda el 23 de marzo de 2022. En la primera visita se completó la TV con los datos proporcionados por el Ing. Roberto Ruiz Sánchez, Director de Medio Ambiente (Administración 2019-2021), con la información recopilada por inspección visual y mediante los mapas generados con el SIGMIRSU (Mañón-Salas & Hernández-Berriel, 2021).

La tabla 3.11 muestra el puntaje resumido de cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003 conforme la TV y las áreas de oportunidad del SDF de Polotitlán, EdoMéx. La subcategoría 6.1 incumplió dos criterios, debido a que el SDF se encuentra dentro del “Santuario de Agua Sistema Hidrológico Huapango” y existen cuerpos de agua adyacentes (Figura 3.14). Cabe aclarar que los apartados 6.2, 6.3, 6.4 y 7, no se consideraron para el SDF de Polotitlán, ya que éste es tipo D. El apartado 8 se cumplió parcialmente, por el control intermitente de ingreso de Residuos Peligrosos (RP) y residuos automotrices, mientras que en la categoría 9 se obtuvo incumplimiento total.

El nivel de cumplimiento general de la TV fue del 28.6%, por lo que se recomendó al Ing. Ruiz Sánchez atender de inmediato las áreas de oportunidad detectadas, para mejorar la operación del SDF y cumplir con un mayor nivel los criterios de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004).

Tabla 3.11 Cumplimiento de NOM-083-SEMARNAT-2003 y áreas de oportunidad según la Tabla de Verificación en la primera visita a Polotitlán

SITIO	PUNTUAJE MÁXIMO	PUNTUAJE OBTENIDO	EVALUACIÓN	ÁREAS DE OPORTUNIDAD
Categoría			D	Puede recibir hasta 10 t/día
6.1 Restricción para ubicación del sitio	7	5	71.4%	El sitio se encuentra dentro de un área natural protegida y con cuerpos de agua adyacentes. Instalar barreras naturales o artificiales para impedir la percolación de lixiviados. Gestionar un plan de manejo de RSU.
6.2-6.4 Estudios y análisis previos	0	0	0%	No aplica
7. Características constructivas y operativas del SDF	0	0	0%	No aplica
8. Requisitos mínimos que debe cumplir.	6	1	17%	Realizar compactación y cobertura de RSU. Reforzar control de acceso para residuos e instalar cerca perimetral para controlar fauna nociva.
9. Clausura del SDF	8	0	0%	No cuenta con un sistema de captación de biogás y lixiviado. No cuenta con programa de monitoreo de biogás y lixiviados posclausura, no cuenta con programa posclausura.
Evaluación del cumplimiento	21	6	28.6%	

La segunda visita se gestionó en el mes de febrero de 2022 para dar seguimiento a la situación del SDF y el 23 de marzo de 2022 se tuvo una reunión de trabajo con el nuevo Director de Servicios Públicos, el C. Pablo Mauricio Zedillo Hernández y los nuevos encargados del MIRSU de la Administración 2022-2024 del municipio de Polotitlán, EdoMéx (Figura 3.30). Después de la reunión se realizó una visita al SDF y se aplicó nuevamente la TV, constatando que se habían realizado trabajos de reacomodo, compactación y cobertura de RSU, reforzamiento de control de acceso de RSU, colocación de cerca con llantas en una parte del perímetro de la celda, arreglo y ordenamiento de accesos al SDF y la implantación de un frente de tiro de RSU. La tabla 3.12 lista la evaluación resumida de la TV.



Figura 3.30 Reunión con autoridades del municipio de Polotitlán, EdoMéx.

Tabla 3.12 Cumplimiento de NOM-083-SEMARNAT-2003 y áreas de oportunidad según la Tabla de Verificación en la segunda visita a Polotitlán

SITIO	PUNTUAJE MÁXIMO	PUNTUAJE OBTENIDO	EVALUACIÓN	ÁREAS DE OPORTUNIDAD
Categoría	D		Puede recibir hasta 10 t/día	
6.1 Restricción para ubicación del sitio	7	5	71.4%	El sitio se encuentra dentro de un área natural protegida y con cuerpos de agua adyacentes. Instalar barreras naturales o artificiales para impedir la percolación de lixiviados. Gestionar un plan de manejo de RSU.
6.2-6.4 Estudios y análisis previos	0	0	0%	No aplica
7. Características constructivas y operativas del SDF	0	0	0%	No aplica
8. Requisitos mínimos que debe cumplir.	6	3	50%	Reforzar control de acceso para residuos e instalar cerca perimetral para controlar fauna nociva.
9. Clausura del sitio	8	0	0%	No cuenta con un sistema de captación de biogás y lixiviado. No cuenta con programa de monitoreo de biogás y lixiviados posclausura, no cuenta con programa posclausura.
Evaluación del cumplimiento	21	8	38.1%	

Como en el SDF se siguen depositando menos de 10 t, de acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003, se clasificó como tipo D, por lo que los apartados 6.2, 6.3, 6.4 y 7 tampoco se evaluaron. Debido a que se atendieron algunas de las observaciones realizadas en la visita del 11 de octubre del 2021, los trabajos realizados por esta nueva administración afectaron positivamente el apartado 8, por lo que se obtuvo una puntuación global de 38.1% en la evaluación llevada a

cabo el 23 de marzo de 2022. Sin embargo, aún se tienen áreas de oportunidad como muestra la tabla 3.13; por lo que el equipo de trabajo aprovechó para hacer sugerencias, como el desvío de agua pluvial mediante canales, para que no se desborden las lagunas de lixiviados (Figura 3.31); así como rehabilitar y prender los pozos de biogás existentes e implantar al menos un pozo en la celda actualmente en operación.



Figura 3.31 Sugerencias en el Sitio de Disposición Final de Polotitlán

3.3.2 Evaluación ambiental

La evaluación ambiental se llevó a cabo por medio de la implementación de la matriz de Leopold modificada a cada municipio como se muestra a continuación.

a) Evaluación ambiental de Zacualpan

Se identificaron 85 interacciones entre las actividades y los componentes del entorno del SDF de Zacualpan, EdoMéx. La actividad de Disposición de RP no se evaluó, ya que como se registró en la CE, se tiene control del ingreso de los residuos gracias a la caseta y personal de vigilancia.

La Matriz de Leopold del Anexo G, muestra los niveles de significancia Severo,

Moderado y Bajo. En cuanto a componentes biofísicos, los atributos que presentaron niveles de significancia severos fueron “Agua subterránea”, “Remoción de cobertura vegetal”, “Proliferación de nuevas especies” y entre los niveles de significancia moderados destacan “Calidad de agua”, “Cambio de uso de suelo”, “Ahuyentamiento de especies nativas”, “Material particulado” y “Gases”.

En cuanto a Componentes Socioeconómicos, el atributo con mayor nivel de significancia fue “Salud poblacional y laboral”, “Seguridad laboral” y “Emprendimiento productivo” los cuales se deben de atender para disminuir su impacto.

Los atributos con menores valores de nivel de significancia bajo fueron: Ruidos, Vistas escénicas y panorámicas, Calidad de vida; estos atributos muestran áreas de oportunidad, que deben atender las autoridades de Zacualpan, EdoMéx antes de que se incremente el impacto en ellos.

Entre las actividades de disposición de RSU, las actividades que tuvieron mayores impactos negativos fueron Para el manejo de lixiviados se obtuvo un nivel de significancia de 6.7, para el manejo del biogás generado se obtuvo 5.6 y la disposición de RSU y RME con 5.4.

Si bien el nivel de significancia global resulto moderado (4.9), se recomienda tomar acciones para disminuir las afectaciones, debido a que las afectaciones más valoradas son aquellas que tienen una mayor repercusión en el ambiente como lo son los lixiviados y el manejo de biogás, así mismo en las categorías de Suelo y Agua, que pertenece a los componentes biofísicos.

b) Evaluación ambiental de Polotitlán

Esta evaluación se realizó mediante la matriz de Leopold, identificándose 116 interacciones entre las actividades y los componentes del entorno del SDF de Polotitlán, EdoMéx.

La Matriz de Leopold del Anexo H, muestra los niveles de significancia Critico,

Severo, Moderado y Bajo. En cuanto a componentes biofísicos, los atributos que presentaron niveles de significancia críticos fueron “Material particulado”; entre los niveles de significancia severos se tienen “Calidad del suelo”, “Agua subterránea”, “Calidad del agua”, “Gases”, “Olores”; entre los niveles de significancia moderados destacan “Estabilidad del suelo”, “Ruidos”, “Productos agrícolas”, “Remoción de cobertura vegetal”; respecto al nivel de significancia bajo se tiene “cambio de uso de suelo”.

De los Componentes Socioeconómicos, el atributo con mayor nivel de significancia fue “Sitios de interés arqueológico cultural”, seguido de la “Calidad de espacio abierto”. En las consideraciones Moderadas se tuvieron: “Vistas escénicas y panorámicas”, “Ingresos económicos adicionales” y “Emprendimientos productivos”. Otros niveles de significancia que deben atenderse para disminuir su impacto; aunque se consideren Moderados son, la “Salud poblacional” y la “Calidad de vida”.

El atributo con menor valor de nivel de significancia (significancia bajo) fue “Cambio de uso de suelo”. El sitio donde se encuentra el tiradero y celda de disposición es propiedad del municipio y con base a la CE, no tiene cambio de uso de suelo.

Entre las actividades de disposición de RSU, las que tuvieron mayor impacto negativo fueron el “Manejo del biogás generado” y el “Manejo de lixiviados”. El manejo de biogás generado tuvo un nivel de significancia de 6.5 (severo), debido a que no existe un plan de manejo ni infraestructura para controlar su impacto. Los pozos de venteo encontrados en el SDF no se encuentran en funcionamiento, debido a que los pozos se encontraban tapados. Para el manejo de lixiviados se obtuvo un nivel de significancia también severo (6.2), atribuible a que se carece de un sistema para captación, control y tratamiento para ellos, sin mencionar la rotura y exposición de la membrana.

La actividad de disposición de RP no fue evaluada debido a que en la

documentación no se encontró evidencia de su disposición en el SDF, sin embargo, no se cuenta con control de acceso, por lo que se recomienda realizar la caracterización de residuos in situ, para determinar la composición de estos. El nivel de significancia considerado para esta actividad fue negativo.

El nivel de significancia global resulto severo (5.7), por lo que se recomienda tomar acciones para disminuir las afectaciones, sobre todo en las categorías de Suelo y Agua, que pertenece a los componentes biofísicos y por la cercanía de bordos y la Presa el Derramadero; debido a que el agua que contienen se utiliza para riego agrícola.

3.3.3 Evaluación Económica

Al tomar decisiones acerca de clausurar o rehabilitar un SDF por lo general solo se toma en cuenta las implicaciones técnicas y económicas, sin tomar en cuenta las afectaciones al ambiente y a la salud (McGoodwin, 2018). Desde la perspectiva ambiental y de salud pública, la disposición de residuos tiene una relevancia fundamental, ya que puede obstruir desagües y cursos de agua (con potenciales riesgos de inundaciones), contaminar los cuerpos de agua y los suelos, deteriorar el paisaje o convertirse en fuente de enfermedades potenciales a la población, entre otros (UN-HABITAT, 2010).

Una vez que se conocen los impactos que puede ocasionar un SDF, el siguiente reto es determinar el costo económico que tendrán y al ser una rama no muy investigada, la información es escasa, por lo que se realizó una búsqueda documental exhaustiva para localizar los indicadores referentes a costos ambientales, técnicos y sociales referentes a la disposición final por medio de SNC, SC o RESA. Además de una estancia en el RESA de Tenango del Valle, la cual se describe a detalle en el Anexo I. A continuación, se clasificaron los trabajos encontrados más importantes para la investigación como se muestra en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 Trabajos clasificados de acuerdo con el tipo de costo mencionado

Aspecto/Autores (Año y país)	Técnico	Ambiental	Social
Mohamed Hgaig (2021, Libia)	X	X	X
McGoodwin (2018, India)	X	X	X
Hampel Milagrosa y Castro Wooldridge (2023, Islas de Asia)	X	X	X
Rivera de Jesús (2021, México)		X	X
Jiang, Boyang y Xi (2023, China)			X
Hockman, Hwang y Rudzitis (1976, E.U.A.)	X	X	X
European Commission, DG Environment (2000, Europa)	X	X	
Collins (2009, Australia)	X	X	X
Ayala Rincón y Sánchez Maldonado (2005, Colombia)	X		
Osorio Quintero (2016, Colombia)	X	X	X
Convenio IDEAM-UNICEF-CINARA (2006, Colombia)	X	X	X
United Nations Human Settlements Programme (2010)			X
CEAMSE e INCONCIV (s.f., Argentina)		X	X
Rondón Toro (2023, España)	X	X	X
Rondón Toro, López Martínez, y Lobo García de Cortázar (2023, Chile)	X	X	X
Iglesias Piña (2007, México)	X		
Meza Rivas (2021, Ecuador)	X		X
Nieto Ruiz (2017, México)	X	X	X

Los trabajos revisados muestran que en los últimos años ha incrementado la preocupación de los efectos negativos de los SDF, no solo desde el punto de vista económico, sino también social y ambiental. De acuerdo con los trabajos se propusieron los siguientes factores para realizar el análisis económico de los SDF, en todos los casos que fue necesario se utilizó el tipo de cambio actual para manejar todos los datos en pesos mexicanos y se actualizaron los costos utilizando el INDEX de la Chemical Engineering (CE) más reciente (542.29), que corresponde a de diciembre de 2022 (Tabla 3.14).

Tabla 3.14 Costos propuestos para el análisis económico

ASPECTO	AÑO/ INDICADOR (CE)	COSTO	COSTO EXTRAPOLADO AL 2023
Costo de un sitio no controlado (\$/t)	2018 / 603.1	34.23 - 171.20 ^a	132.21
Costo de un sitio controlado (\$/t)	2018 / 603.1	123.07 - 660.20 ^a	504.11
Costo de un Relleno sanitario (\$/t)	2018 / 603.1	171.20 - 684.68 ^a	550.84
Costo social del carbono (\$/tco _{2eq})	2019 / 605.2	443.34 ^b	568.68
Costo de tratamiento de lixiviados (\$/t)	1993 / 359.2	11.27 ^c	24.36

^a McGoodwin, 2018; ^b Alatorre *et al*, 2019; ^c European Commission, 2000.

Con la finalidad de comparar las diferentes opciones de disposición final, tomando en cuenta los aspectos económicos, sociales y ambientales, se hicieron los cálculos para el municipio de Zacualpan y Polotitlán, tomando en cuenta las siguientes consideraciones (Tabla 3.15).

Tabla 3.15 Consideraciones para el estudio

TIPO DE DISPOSICIÓN FINAL	DENSIDAD DE COMPACTACIÓN (t/m ³)	GENERACIÓN DE GEI (tCO ₂ eq/t) ^a	GENERACIÓN DE LIXIVIADOS (l/t) ^a
Sitio no controlado	0.15 ^b	1.26	4.55
Sitio controlado	0.40 ^c	1.42	2.25
Relleno sanitario	0.40 ^c	0.57	2.25

^a McGoodwin, 2018; ^b García Vargas, Rangel García y García Arreola, 2016; ^c DOF, 2004

a) Zacualpan. De acuerdo con fotografías satelitales de Google Earth (2023), la foto más reciente del SDF fue del 28 de enero de 2023, con la cual se realizó el cálculo del área de la celda actual, resultando 5019 m² (Figura 3.32). Se considero una altura de 20 m y una proporción de 3:1, con la que se obtuvo un volumen total de 63931.5 m³.

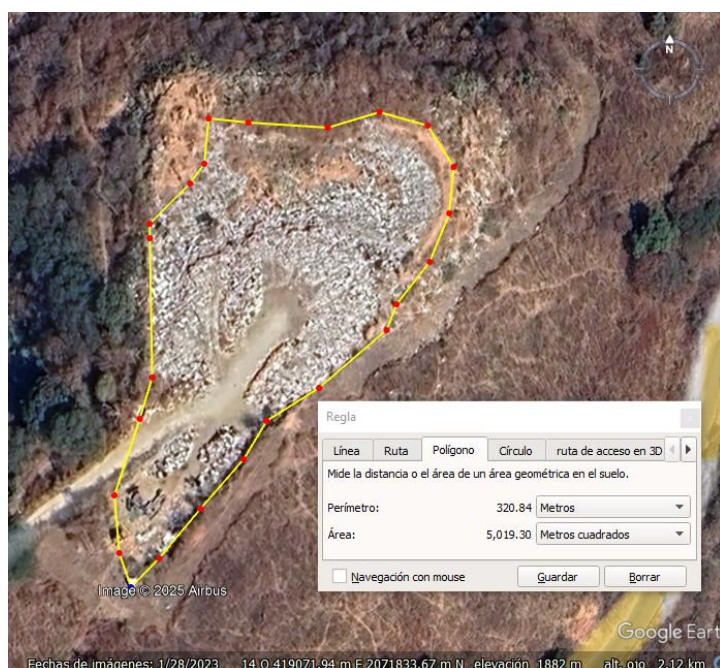


Figura 3.32 Área de la celda actual del sitio de Zacualpan.

De acuerdo con el volumen obtenido se calculó la capacidad que puede tener la celda (Tabla 3.16), observándose que la capacidad del SC y del RESA es más del doble que la que puede almacenar el SNC y esto se ve reflejado en la vida útil, pasando de 3 a 8 años.

Tabla 3.16 Capacidad del sitio de Zacualpan

Tipo de SDF	Toneladas recibidas (t)	Volumen (m ³)	Vida útil (años)
Sitio no controlado	9589.7	63931.5	4.4
Sitio controlado	9589.7	23974.3	11.8
Relleno sanitario	9589.7	23974.3	11.8

Con el fin de que sea demostrativo se ajustaron las toneladas que pueden recibir las tres opciones, determinándose un menor volumen requerido para el SC y el RESA; también se pudo determinar que se generan más GEI debido a que solo se considera que se haga cubrimiento de tierra, sin quema ni recuperación de gases (Tabla 3.17).

Tabla 3.17 Comparación de las opciones de tratamiento del sitio de Zacualpan

OPCIÓN DE DISPOSICIÓN	GEI GENERADOS (tCO _{2eq} /t)	LIXIVIADOS GENERADOS (l)
Sitio no controlado	12083.0	43633.2
Sitio controlado	7863.6	21576.9
Relleno sanitario	5466.1	21576.9

Tomando en cuenta las consideraciones, se realizaron las estimaciones de los tres costos implicados: privado, social y ambiental; como se muestra en la tabla 3.18.

Tabla 3.18 Costos social, técnico y ambiental de la celda de Zacualpan

OPCIÓN DE DISPOSICIÓN	COSTOS PRIVADOS (MXN)	COSTO SOCIAL DEL CARBONO (MXN)	COSTO DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS (MXN)	TOTAL (MXN)
Sitio no controlado	\$295,158.39	\$6,871,382.13	\$1,062,758.39	\$8,229,298.92
Sitio controlado	\$1,061,207.82	\$4,471,851.86	\$105,107.97	\$5,638,167.65
Relleno sanitario	\$1,476,223.11	\$3,108,482.39	\$0.00	\$4,584,705.50

Una vez considerados los aspectos sociales, ambientales y técnicos, la opción más económica es la del RESA, seguida del SNC y por último el SC. Teniéndose un mayor aporte a los costos debido al costo social del carbono y al tratamiento de lixiviados.

- b) Polotitlán. De acuerdo con fotografías satelitales de Google Earth (2023), la foto más reciente del SDF fue del 18 de junio de 2023, con la cual se realizó el cálculo del área de la celda actual, resultando 4655 m^2 (Figura 3.33). Se considero una altura de 20 m y una proporción de 3:1, con la que se obtuvo un volumen total de 44894.4 m^3 .

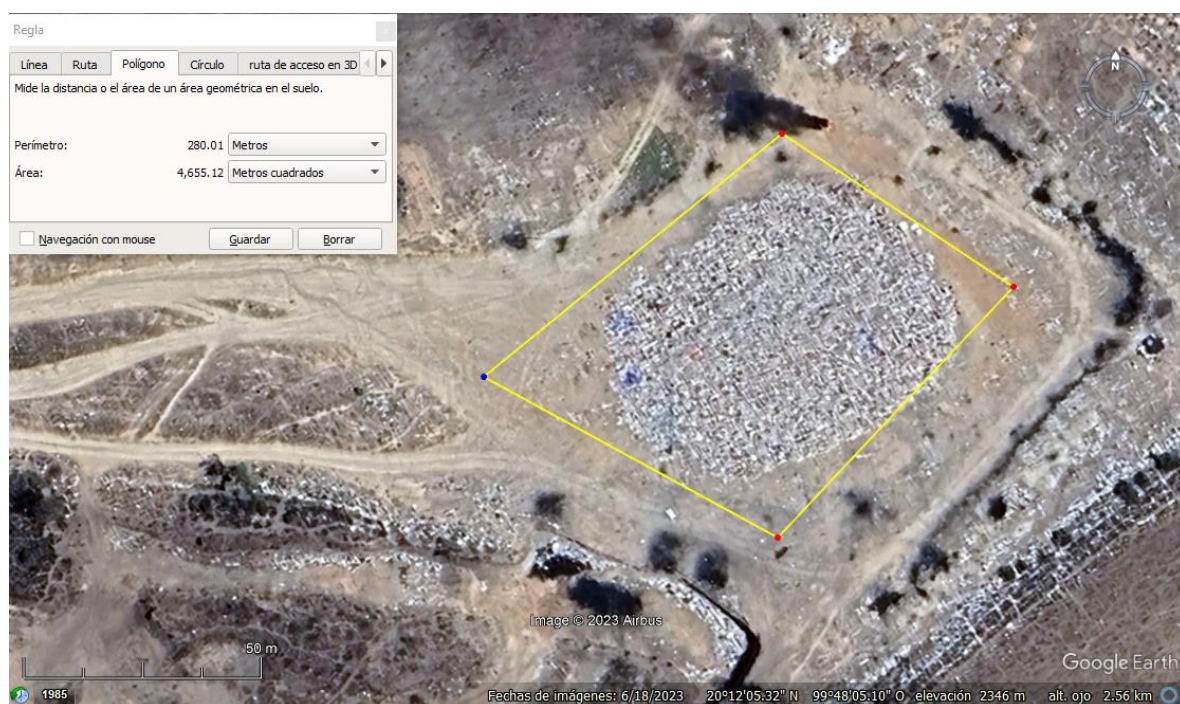


Figura 3.33 Área de la celda actual del sitio de Polotitlán.

De acuerdo con el volumen obtenido se calculó la capacidad que puede tener la celda (Tabla 3.20), observándose que las toneladas para las que tiene capacidad y la vida útil del SC y del RESA son más del doble que la del SNC.

Tabla 3.19 Capacidad del sitio de Polotitlán.

OPCIÓN DE DISPOSICIÓN	TONELADAS QUE PUEDE RECIBIR DE ACUERDO CON EL VOLUMEN	VIDA ÚTIL
Sitio no controlado	6734.2	1.2
Sitio controlado	17957.7	3.1
Relleno sanitario	17957.7	3.1

De igual manera se colocó una base de toneladas para las tres opciones para realizar el estudio, determinándose un menor volumen requerido para el SC y el RESA; también se determinó que se generan más GEI (Tabla 3.20).

Tabla 3.20 Comparación de las opciones de tratamiento del sitio de Polotitlán.

OPCIÓN DE DISPOSICIÓN	TONELADAS RECIBIDAS	VOLUMEN	GEI GENERADOS (tCO _{2eq} /t)	LIXIVIADOS GENERADOS
Sitio no controlado	6734.2	44894.4	8485.0	30640.4
Sitio controlado	6734.2	16835.4	9562.5	15151.8
Relleno sanitario	6734.2	16835.4	3838.5	15151.8

Tomando en cuenta estas consideraciones se realizó el coste de las opciones de disposición como se muestra en la tabla 3.21.

Tabla 3.21 Costos social, técnico y ambiental de la celda de Polotitlán

OPCIÓN DE DISPOSICIÓN	COSTO DE LA OPCIÓN	COSTO SOCIAL DEL CARBONO	COSTO DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS	TOTAL
Sitio no controlado	\$207,267.99	\$4,825,265.37	\$746,296.91	\$5,778,830.27
Sitio controlado	\$745,208.06	\$3,140,252.06	\$73,809.58	\$3,959,269.71
Relleno sanitario	\$1,036,642.72	\$2,182,858.14	\$-	\$3,219,500.86

El menor costo vuelve a presentarse para la opción de RESA, demostrando que el costo social y ambiental son de gran importancia y deberían de tomarse en cuenta a la hora de determinar la factibilidad de un proyecto.

3.3.4 Informe Técnico de Evaluación de Impacto Ambiental

Este Informe Técnico de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) tiene una estructura similar a la de una MIA Regional, la cual solicita que contenga los apartados que se muestran en la figura 3.34.

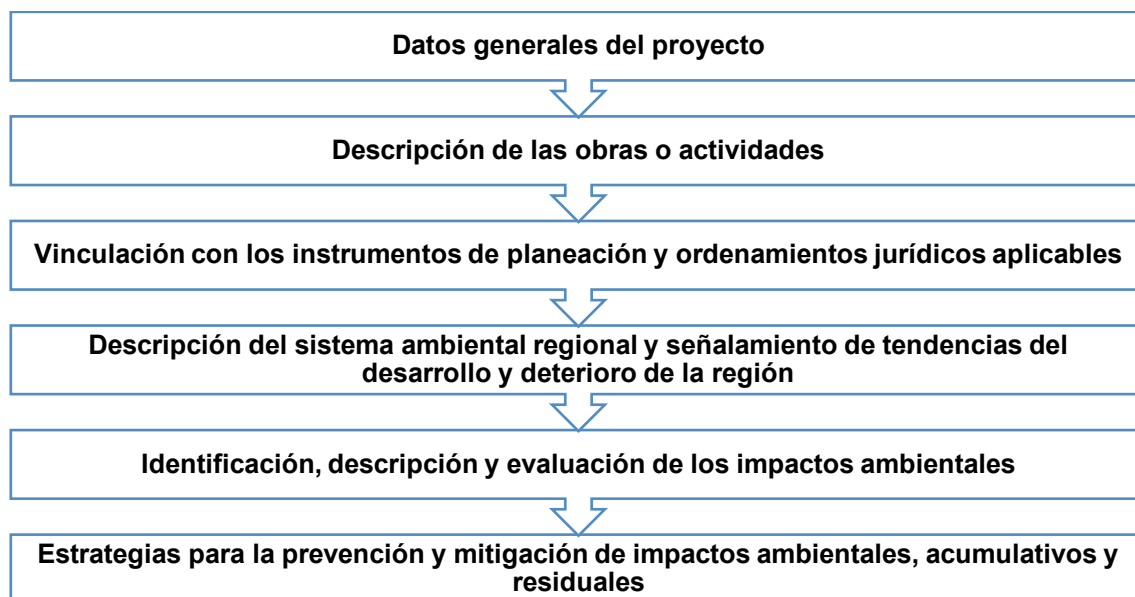


Figura 3.34 Contenido de la Manifestación de Impacto Ambiental tipo Regional

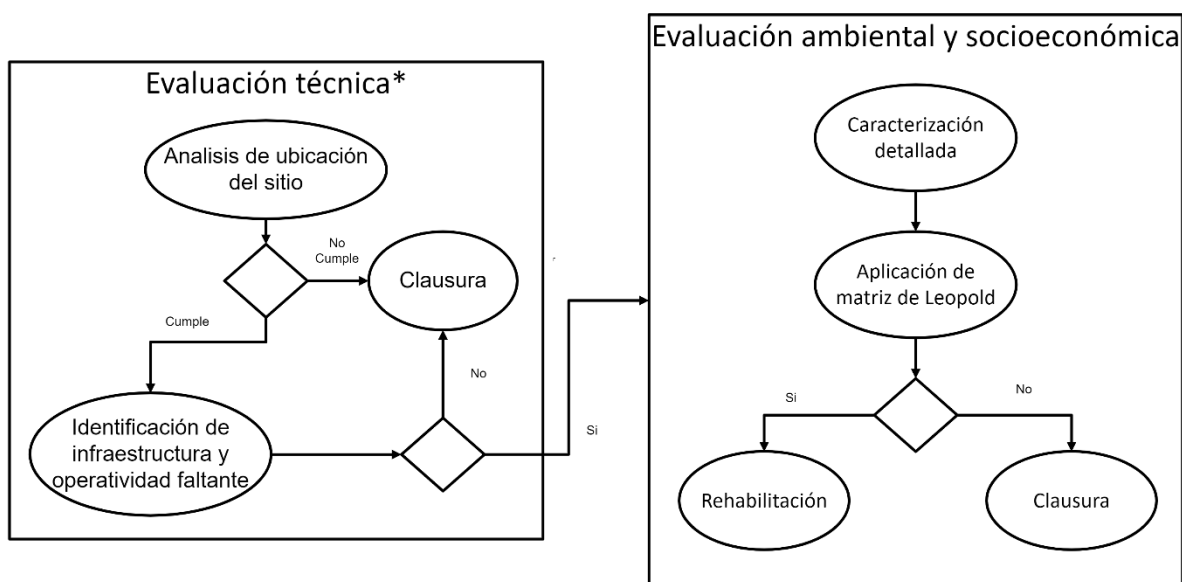
En los anexos J y K se presentan los Informes Técnicos de EIA de los SDF de los municipios de Zacualpan y Polotitlán, Estado de México (EdoMéx), respectivamente. Los cuales fueron entregados a las autoridades de los municipios con el objetivo de ser un documento de apoyo, que coadyuve en la toma de decisiones en pro de la salud y del medio ambiente.

3.4 ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ÁGIL PARA CLAUSURA VERSUS REHABILITACIÓN DE SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL

Definir si un SDF catalogado como STC o SNC debe ser clausurado o rehabilitado, requiere de estudios geológicos, hidrogeológicos, topográficos, geotécnicos, de

impacto ambiental y socioeconómicos, entre otros. El conjunto de estos estudios implica una alta inversión, la cual es inviable de costear para la mayoría de los municipios en México y países en vías de desarrollo. Consecuentemente, sólo en algunos SNC se realiza la evaluación de impacto ambiental, diagnóstico, propuesta de clausura o rehabilitación y en menor número, la ejecución (Cossu *et al.*, 2018; Ortiz-Huerta, 2013; Valizadeh & Hakimian, 2019).

Conforme a ello, con base a lo reportado por Hernández Berriel *et al.* (2022), tomando en cuenta las características técnicas, ambientales y económicas presentadas en los subapartados anteriores, se desarrolló la siguiente propuesta de una “Metodología Ágil”, para coadyuvar a los responsables del manejo de los RSU en los municipios, en la toma de decisiones con menores costos y tiempo, a fin de prevenir y controlar los impactos negativos que pueden afectar al ambiente y a la salud de la población. Esta “Metodología Ágil” consta de dos tipos de evaluación (Figura 3.35): la evaluación técnica que va a depender del país donde se encuentre el SDF bajo estudio y la evaluación ambiental y socioeconómica.



*La evaluación se realiza de acuerdo con lo estipulado en cada normatividad del país

Figura 3.35 Metodología propuesta

Como ejemplos se menciona que para el caso de Chile se debe observar el Decreto 189 “Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios” (Ministerio de Salud de Chile, 2008), para Argentina la Ley 25.916 “Gestión de residuos domiciliarios” (Honorable Congreso de la Nación Argentina, 2004), para España el Real Decreto 646/2020 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero (MTEyTD, 2020) y para México la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004).

3.4.1 Evaluación técnica

Para tomar la decisión de clausurar o rehabilitar un SDF, es indispensable el cumplimiento de la normatividad vigente, por lo que tras analizar distintas normatividades (Cobos *et al*, 2021, López-Gasca *et al.*, 2024), principalmente se regulan dos vertientes: la ubicación del sitio y la infraestructura y operación necesaria.

a) Evaluación de la ubicación del sitio. Consiste en identificar las restricciones que establece cada normatividad para la ubicación del SDF, que puede incluir distancia mínima a cuerpos de agua, zonas arqueológicas, poblaciones urbanas, entre otras; si en alguna de ellas se obtuviera un incumplimiento lo recomendable es la clausura de este. En la figura 3.35, se muestra un ejemplo de toma de decisión considerando las restricciones para la ubicación del SDF en México, de acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003.

Para el análisis de la ubicación del SDF se recomienda utilizar un SIG que ayuden a determinar las zonas idóneas para el establecimiento del sitio, con ayuda de capas en las cuales se pueda visualizar las restricciones y la distancia que existe con el SDF, un ejemplo de ellos es el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (SIGMIRSU), el cual es un Sistema de Información Geográfica (SIG) desarrollado con apoyo del proyecto SEMARNAT-2015-1-263315. El SIGMIRSU proporciona una serie de mapas binarios de los municipios de la periferia del Estado de México (60 municipios) y de los

municipios vecinos (61) de Estados aledaños (Querétaro, Michoacán, Guerrero, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Cd. de México). Para los municipios en cuestión, los mapas se generan con base a los criterios evaluados de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004) y al Método Analítico Jerárquico (AHP, Analytic Hierarchy Process), que al sobreponerse facilitan la visualización de áreas idóneas (color verde) y no idóneas (color rojo).

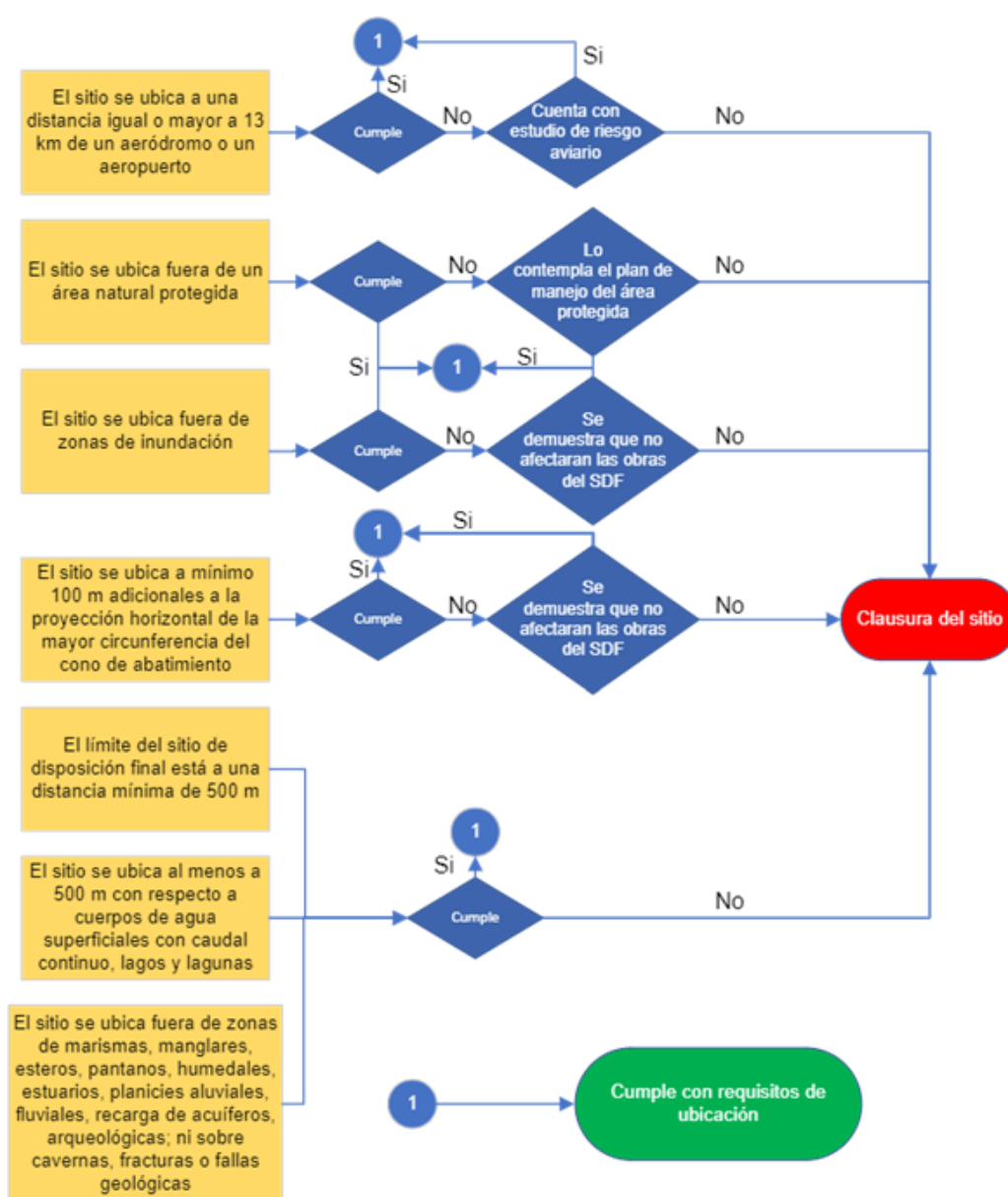


Figura 3.36 Restricciones de ubicación de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003

El usuario debe contar con las coordenadas reales de donde se encuentra su SDF y alimentarlas al SIGMIRSU, para que éste le brinde información que le permitirá verificar el cumplimiento de los criterios del apartado 6.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004): geología (fallas y fracturas, tipos de suelos), hidrología (ríos y cuencas), condiciones climatológicas (clima, precipitación y temperatura), topografía (curvas de nivel y pendientes), zonas urbanas y arqueológicas, áreas protegidas, plantas generadoras de energía renovable y vías de comunicación (aeropuertos, vías férreas y carreteras). La información proporcionada por el SIGMIRSU de áreas detectadas adecuadas y no adecuadas, se deben verificar mediante trabajo de campo y de manera satelital con herramientas como Mapa Digital V.6.3.0 de INEGI (2020), Google Earth y Google Maps (Google, 2020 a y b). Para la revisión del apartado 6.1 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 se recomienda utilizar el Anexo A “Información general para verificación” y la primera parte del Anexo B “Tabla de Verificación”. En este primer acercamiento si se incumple cualquiera de las restricciones mencionadas se debe de realizar la clausura del SDF y, en caso contrario se deberán realizar los pasos siguientes.

- b) Identificación de infraestructura y operatividad faltante. Como parte de este primer trabajo de campo, se debe recorrer y fotografiar el SDF y áreas aledañas, identificando si existen problemas de salud o ambientales: olores, contaminación de aguas superficiales o subterráneas, diseminación de residuos en el entorno, afección paisajística. De ser posible, se sugiere entrevistar a la población cercana al SDF, tratando de identificar fuentes y vías de transmisión de enfermedades. Para el trabajo de campo se recomienda realizar una tabla de verificación basada en la normatividad aplicable, para México se recomienda utilizar la “Tabla de Verificación” (Anexo B), explicada anteriormente.

Durante la inspección del lugar, se deben registrar la extensión que abarcan los residuos depositados, los tipos de residuos, el control de acceso, la operación (depósito, compactación y cubrimiento), la existencia de sistemas para biogás y

lixiviados, la afectación visible de flora y suelo del lugar por escurrimientos de lixiviado o migración de biogás, el esparcimiento de residuos fuera del SDF, las pendientes y vientos dominantes. En cuanto a flora y fauna del lugar donde se encuentra el SDF, es de suma importancia investigar previamente en fuentes secundarias, la existencia de alguna especie endémica o protegida.

Además, se requiere coleccionar información con los encargados y operadores del SDF sobre la cantidad y registro de RSU y RME que ingresan por día, los horarios y días de operación semanal, la antigüedad, la vida útil proyectada; así como el régimen de propiedad de la tierra en que se encuentra ubicado el SDF (se paga renta, es un predio prestado o es propio de la municipalidad). Además de indagar si se cuenta con estudios previos a la instalación del sitio, siendo la tabla 3.22.

Tabla 3.22 Estudios y análisis previos requeridos para la construcción de sitios de disposición final

ESTUDIOS Y ANÁLISIS	TIPO:	A	B	C
Geológico y Geohidrológico Regionales		X		
Evaluación Geológica y Geohidrológica		X	X	
Hidrológico		X	X	
Topográfico		X	X	X
Geotécnico		X	X	X
Generación y composición de los RSU y de Manejo Especial		X	X	X
Generación de biogás		X	X	
Generación de lixiviado		X	X	

Fuente: DOF, 2004

En el apartado 6.1 se evalúan las condicionantes para todos los tipos de SDF; entre ellas se tienen distancias a zonas urbanas y aeropuertos, zonas protegidas, identificación de fallas y fracturas, captación y tratamiento de lixiviados y biogás, compactación y cubrimiento de RSU, control de acceso, obras complementarias, etc; reafirmando con ello lo evaluado en el punto anterior, referente a las restricciones por la ubicación del SDF (Google, 2020a; Hernández-Berriel *et al.*, 2017; INEGI, 2020; López-Gasca, 2020; López-Gasca *et al.*, 2019).

Al final de cada apartado se menciona la puntuación máxima para cada tipo de SDF (A, B, C o D). Por ejemplo, después del numeral 6.5 se pregunta ¿qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 6.2 a 6.5? y mediante una nota se indica que la puntuación máxima con respecto al tipo de SDF es 21 para un SDF tipo A, 15 para un SDF tipo B y 8 un SDF tipo C. De manera similar se hace para los apartados 7, 8 y 9.

El apartado 8 es solo para SDF tipo D, donde las preguntas de la “Tabla de Verificación” contienen lo que menciona la NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF, 2004) y la puntuación máxima es 6 (Anexo B). En la tabla 3.23 se muestra lo que requiere la NOM-083-SEMARNAT-2003 para este tipo de SDF y las principales diferencias con respecto a los tipos A, B y C.

Tabla 3.23 Diferencias entre sitios tipo D y los tipos A, B y C, NOM-083-SEMARNAT-2003

NUMERALES	NOM-083-SEMARNAT-2003	NO MENCIONA
8.1	Garantizar un coeficiente de conductividad hidráulica de 1×10^{-5} cm/s, con un espesor mínimo de un metro, o su equivalente, por condiciones naturales del terreno, o bien, mediante la impermeabilización del sitio con barreras naturales o artificiales.	Manual de operación, registro e informe mensual de actividades. Sistemas para control y monitoreo de lixiviados, y biogás
8.2	Una compactación mínima de la basura, de 300 kg/m ³ .	
8.3	Cobertura de los residuos, por lo menos cada semana.	
8.4	Evitar el ingreso de residuos peligrosos en general.	Ingreso de lodos con más del 85% de humedad base húmeda (Hbh)
8.5	Control de fauna nociva y evitar el ingreso de animales.	Dispersión de materiales ligeros
8.6	Cercar en su totalidad el sitio de disposición final.	Caseta de vigilancia y control de acceso

Con la información obtenida hasta este punto de la evaluación del SDF, el o los responsables del mismo podrá(n) decidir conforme a la complejidad de los arreglos de las áreas de oportunidad encontradas con la aplicación de la “Tabla de Verificación” (Anexo B) y si estiman un grado de cumplimiento superior al 80% de lo requerido por la NOM-083-SEMARNAT-2003, se sugiere realicen los arreglos y seleccionen una Unidad de Verificación (UV), para que ésta lleve a cabo la Evaluación de la Conformidad para obtener el Dictamen de Cumplimiento de la

NOM, conforme a lo establecido en los apartados 10 y 11 de esta NOM (DOF, 2004; Hernández *et al.*, 2005).

3.4.2 Evaluación ambiental y socioeconómica

Si como resultado de la evaluación técnica, se concluye que el SDF podría rehabilitarse, entonces se recomienda realizar la etapa de evaluación ambiental y socioeconómica, para lo cual primero se requiere llevar a cabo la “Caracterización detallada” (Figura 3.35). Para la caracterización detallada es necesario que, en una segunda visita al lugar, se tomen muestras de RSU, suelo, lixiviados, cuerpos de agua y pozos cercanos. De ser posible, también se debe muestrear y caracterizar el biogás de manera superficial (emisiones difusas) y en pozos de venteo, si es que existieran (Díaz-Archundia *et al.*, 2017).

Las muestras colectadas en el trabajo de campo de RSU, suelos, lixiviados y cuerpos de agua cercanos al SDF, se deben caracterizar aplicando las técnicas que correspondan al país donde se ubique el SDF; en el caso de México, las tablas 3.24 y 3.25 presentan las normas y métodos aplicables. Los resultados de las caracterizaciones son la base para la evaluación ambiental y para la recomendación de clausura o rehabilitación (SEDESOL, 2004 y 2007; SEMARNAT 2002 y 2003).

Tabla 3.24 Normas para caracterizar residuos sólidos y suelo

NORMA	TITULO
NMX-AA-015-1985	Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales – Muestreo - Método de cuarteo
NMX-AA-022-1985	Protección al ambiente - Contaminación del suelo Residuos sólidos municipales - Selección y cuantificación de subproductos
NMX-AA-052-1985	Protección al ambiente- Contaminación del suelo-Residuos sólidos municipales-Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis
NMX-AA-132-SCFI-2016	Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.

Fuente: SEMARNAT (2015a)

Tabla 3.24 Normas para caracterizar residuos sólidos y suelo (Continuación)

NORMA	TITULO
NMX-AA-019-1985	Protección al ambiente - Contaminación del suelo residuos sólidos municipales - Peso volumétrico "in situ"
NMX-AA-013-SCFI-2006	Residuos sólidos – Determinación de pH – Método de prueba
NMX-AA-025-1984	Protección al ambiente – Contaminación del suelo - Residuos sólidos – Determinación del pH – Método potencio métrico
NMX-AA-016-1984	Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de humedad.
NMX-AA-018-1984	Protección al ambiente - Contaminación de suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de cenizas.
NMX-AA-021-1985	Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de materia orgánica.
NMX-AA-024-1984	Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de nitrógeno total
NMX-AA-067-1985	Protección al ambiente - Contaminación del suelo - Residuos sólidos municipales – Determinación de la relación carbono / nitrógeno
NMX-C-416-ONNCCE-2003	Industria de la construcción - Muestreo de estructuras térreas y métodos de prueba.
NMX-C-084-ONNCCE-2017	Industria de la construcción – Agregados para concreto - Partículas más finas que la criba 0,075 mm (no. 200) por medio de lavado – Método de ensayo
NMX-C-432-ONNCCE-2002	Industria de la construcción - Geotecnia - Cimentaciones - Ensayo de compresión triaxial - Método de prueba

Fuente: SEMARNAT (2015a)

Tabla 3.25 Normas para caracterizar cuerpos de agua y lixiviados

NORMA	TITULO
NMX-AA-003-1980 Cancelada por PROY- NMX-AA-003-SCFI-2019	Aguas Residuales. - Muestreo (PROY-NMX-AA-003-SCFI-2019, Análisis de agua-muestreo de aguas residuales y residuales tratadas)
NMX-AA-074-SCFI-2014	Análisis de agua – Medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba
NMX-AA-026-SCFI-2010 Cancela a NMX-AA-026- SCFI-2001	Análisis de agua- Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba
Método 8043 para DQO HACH ^a	Método autorizado por la EPA para Demanda Química de Oxígeno, también pueden viales de HANNA Instrument
NMX-AA-007-SCFI-2013	Análisis de agua – Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba
NMX-AA-008-SCFI-2016 ^b Cancela a	Análisis de agua - Determinación del pH - Método de prueba
NMX-AA-008-SCFI-2011	
NMX-AA-093-SCFI-2018 Cancela a	Análisis de agua – Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba
NMX-AA-093-SCFI-2000	

Fuentes: ^a HANNA Instrument (2019); ^bSE (2016a); ^cSE (2016b); SEMARNAT (2015b)

Tabla 3.25 Normas para caracterizar cuerpos de agua y lixiviados (Continuación)

NORMA	TITULO
NMX-AA-034-SCFI-2015	Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba
NMX-AA-051-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba
NMX-AA-051-SCFI-2016 ^c	Análisis de agua - Medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas método de prueba
Cancela a	
NMX-AA-051-SCFI-2001	

Fuentes: ^a HANNA Instrument (2019); ^bSE (2016a); ^cSE (2016b); SEMARNAT (2015b)

En caso de no poder tomar las muestras de biogás en el SDF a evaluar y requerirse el contar con mayor información sobre este, se recomienda hacer uso de software como el Modelo Mexicano de Biogás V2.0 (SCS Engineers, 2009), el Modelo de Biogás del IPCC (IPCC, 2006) y el software Moduelo 4.0 (GIA de UC, 2010); los cuales, con información de infraestructura y operación, así como generación y composición de residuos (de esta última se puede utilizar información existente en el software), pueden apoyar a la estimación y proyección de la generación de biogás y las emisiones en toneladas de CO₂ equivalentes (Iglesias, 2007; PNUMA. 2020). Para el caso del Modelo Mexicano de Biogás V.2.0 (SCS Engineers, 2009), son necesarios datos de la cantidad dispuesta por año de RSU y su composición, cobertura utilizada, inicio de disposición, vida de operación y zona geográfica donde se localiza el SDF para los parámetros k y Lo (López-Gasca, 2020; Mendoza-Delgado, 2017). Los subproductos determinados conforme a la NMX-AA-022-1985 (SEMARNAT, 2015a), se reagrupan considerando el grado de degradación, para ser introducidos en el Modelo Mexicano de Biogás V.2.0 (Cuarto-Gonzaga *et al.*, 2016; Tchobanoglous *et al.*, 1994). El SIGMIRSU tiene un apartado donde puede consultarse y descargarse este software.

Para el cálculo del dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) se puede utilizar la ecuación 3.1 (CFE, 2016). El CH₄ es el principal compuesto dentro del biogás con potencial energético y su composición puede superar el 70%, sin embargo, para fines prácticos, por lo general se considera en un 50%. El calentamiento global

(PCG) se reporta con valores de 21 a 28 $\frac{t\ CO_{2eq}}{año}$ (DOF, 2015).

$$CO_{2eq} = \sum t_{gas} \times PCG \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

CO_{2eq} , dióxido de carbono equivalente $\left(\frac{t\ CO_{2eq}}{año}\right)$

t_{gas} , toneladas de gas por año $\left(\frac{t}{año}\right)$

PCG , potencial de calentamiento global $\left(\frac{t\ CO_{2eq}}{t}\right)$

Para la evaluación ambiental se debe considerar la generación y composición de los lixiviados. La generación de lixiviados en el SDF se puede estimar mediante un balance hídrico como el propuesto por Tchobanoglous *et al.* (1994), o bien mediante el documento guía publicado por el Gobierno Vasco (2015). También puede hacerse uso por los valores de generación reportados por McGoodwin (2018) (Tabla 3.26).

Tabla 3.26 Generación de lixiviados de acuerdo con el sitio de disposición final

TIPO DE DISPOSICIÓN FINAL	GENERACIÓN DE LIXIVIADOS (l/t)
Sitio no controlado	4.55
Sitio controlado	2.25
Relleno sanitario	2.25

Fuente: McGoodwin (2018)

Si el grado de cumplimiento técnico del SDF es menor al 80% de lo que indica la normatividad del país y, se tienen afectaciones ambientales y socioeconómicas generales severas de acuerdo con la Matriz de Leopold, se recomienda que el o los responsables evalúen si con obras de ingeniería mayores, se pueden frenar los impactos ocasionados anteriormente, atender las afectaciones presentes y de esta manera, que el SDF llegue a operar conforme a la normatividad vigente, como un RESA o SC, que para el caso de México es la NOM-083-SEMARNAT-2003. Si es posible, entonces se requerirá que los responsables del SDF elaboren un Plan de Regulación (PR) para rehabilitación. En caso de que no sea posible, entonces se requerirá un PR para clausura. El PR se debe presentar a la autoridad competente,

para que en un plazo no mayor a seis meses decida autorizar la operación o la clausura del SDF, conforme a lo indicado en el apartado 11.2 a y b de la NOM-083-SEMARNAT-2003 o lo que marque la normatividad del país en el que esté el SDF (DOF, 2004; Honorable Congreso de la Nación Argentina, 2004; Ministerio de Salud de Chile, 2008).

En México el PR debe ser elaborado por profesionales con experiencia en la disposición final de RSU y RME, que formen parte del ayuntamiento o sean de empresas consultoras especializadas. Para el desarrollo del PR las autoridades ambientales estatales deben dar guía sobre los contenidos del PR a los municipios y/o a quien designe la autoridad municipal (en concordancia con la NOM-083-SEMARNAT-2003), sean personas públicas o privadas (Heredia-Cantillana *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2005; Ortiz-Conde & Hernández- Barrios, 2012).

Otro aspecto por considerar es el porcentaje de llenado del SDF, es decir el tiempo de vida útil que le resta al SDF, donde si ya se encuentra al 80% de su capacidad y cumple con las restricciones de la ubicación, se tendrá que evaluar la viabilidad económica de rehabilitarlo, con los factores que se muestran en la evaluación económica, tomando en cuenta la posibilidad de una ampliación del sitio para una nueva celda.

CONCLUSIONES

La evaluación de la ubicación se confirmó como un factor determinante para definir la viabilidad de clausurar o rehabilitar un Sitio de Disposición Final (SDF). Una localización inadecuada compromete no solo el funcionamiento técnico, sino también la salud y seguridad ambiental de la población circundante.

Las evaluaciones técnicas de los SDF seleccionados como caso de estudio, mostraron bajo cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003, con porcentajes de 28.6 % para Polotitlán y 15.62 % para Zacualpan. Esto pone de manifiesto la situación crítica en la que se encuentran y confirma la necesidad urgente de fortalecer la etapa final del manejo de los RSU, mediante acciones de saneamiento y clausura o rehabilitación, según las condiciones particulares de cada sitio y la decisión de las autoridades correspondientes.

Las evaluaciones ambiental y socioeconómica, sustentadas en la Matriz de Leopold, demostraron niveles de afectación severos (5.7 y 4.9), que reflejan impactos negativos significativos sobre suelo, agua y aire, así como riesgos para la salud, evidenciando la necesidad de incorporar de manera sistemática criterios ambientales y sociales en la planeación y toma de decisiones municipales.

La integración de los costos sociales y ambientales dentro del análisis económico corroboró que el Relleno Sanitario (RESA) representa una alternativa más eficiente y sostenible que el Sitio No Controlado (SNC). La visión integral con externalidades y beneficios sociales permite trascender el enfoque puramente financiero y de impacto estético negativo, para avanzar hacia la gestión sostenible de los residuos.

La “Metodología Ágil” desarrollada para decidir si un sitio debe ser clausurado o rehabilitado consta de dos tipos de evaluaciones. Una evaluación técnica que incluye el uso de SIG y el cumplimiento de la normatividad del país donde se encuentre el SDF bajo estudio; además de una evaluación ambiental y

socioeconómica mediante la Matriz de Leopold, que incluye costos sociales y ambientales.

La “Metodología Ágil” propuesta constituye una herramienta técnica más sencilla y económica que los procedimientos empleados en la actualidad para evaluar SDF, que puede apoyar a los municipios con recursos limitados para tomar decisiones fundamentadas en el cumplimiento normativo, la reducción de impactos ambientales y la mejora en la calidad de vida de las comunidades aledañas, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible.

La investigación aporta una base metodológica replicable para la toma de decisiones sobre los SDF de residuos en países con contextos socioeconómicos similares a México, promoviendo la transición hacia una gestión más sostenible de los RSU en América Latina y otras regiones del mundo.

4. REFERENCIAS

Ace Disposal (2013), Página oficial de la empresa Ace Disposal, Estados Unidos de Norteamérica <http://www.acedisposal.com/history/history_garbage.aspx> (7 de febrero de 2014).

Alatorre, J., Caballero, K., Ferrer, J. y Galindo, L. (2019). El costo social del carbono: una visión agregada desde América Latina. Editor CEPAL. 50 hojas

Alfonso M. y Bueno C. (2005). SIMULADORES UMTS. Redes y Servicios e Radios (Documento Web, último acceso 11/012021) <http://trajano.us.es/~fornes/RSR/2005/UMTS/Simuladores%20UMTS%20-%202005.pdf>

Álvarez Torres C. (2018). Propuesta de la clausura del tiradero a cielo abierto de la ciudad de reforma, Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

APHA. (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewaters, 21 th edition, American Public Health Association, Washington.

Atencio R., Reyes-López J. y Guevara-García J. (2013). Evaluación de riesgo ambiental en un tiradero con quema de basura. Rev. Int. Contam. Ambie. 29 (Sup. 3) 107-117, 2013.

ATSDR. (2022). Resúmenes de Salud Pública – Sulfuro de hidrógeno (Ácido sulfhídrico) (Hydrogen Sulfide). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Riesgo de Enfermedades (ATSDR). (Documento Web, último acceso 12/10/2022) https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs114.html#:~:text=Cuando%20se%20libera%20en%20forma,sulph%C3%ADrico%20es%20soluble%20en%20agua.

Ayala rincón, D. y Sánchez Maldonado, D. (2005). Evaluación financiera asociada

al proyecto de implementación de la biotecnología en los desechos sólidos, su viabilidad económica y la relación de riesgo beneficio en la ciudad de Bucaramanga. (Documento web, ultimo acceso 17/08/2021) https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/14131/2005_Tesis_Ayala_Rincon_Diana_Andrea.pdf?sequence=1

Azham, U., Fina, B., Septian, H., Minoru, Y. y Yasuto, M. (2023). Exposure particulate matter (PM2.5) and health risk assessment on informal workers in landfill site, Indonesia. Environmental Challenges Volume 13, December 2023, 100795. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100795>.

Balet, Jean Michel (2011) Aide-Memoire de gestion des déchets, Tercera Edición, París, Editorial Dunod, Pp. 265.

Barles, Sabine (2005) L'invention des déchets urbains. France 1790-1970, Francia, Ediciones Champ Vallon, Pp. 304.

Barles, Sabine (2012) "Une histoire des déchets urbains" en André Le Bozec, Sabine Barles, Nicolas Buclet, Gérard Keck, Que faire des déchets ménagers?, Versailles, Ediciones Quae, Pp. 27-44.

Barreda A. (2009). Evaluación de los impactos de los residuos sólidos bajo el cambio climático en la Ciudad de México. Informe Técnico. Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México. (Documento web, ultimo acceso 17/01/2021) http://132.248.8.252/sis_admin/archivos/rsu_barreda_informe_tecnico.pdf

Bolivar M. (2019). Evaluación de impactos ambientales del botadero municipal del Cantón Arenillas. Tesis de licenciatura. Machala, Ecuador. (Documento web, ultimo acceso 17/01/2021) <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15022/1/TTFCs-2019-GEA-DE00011.pdf>

Cardenas-Ferrer, T., Santos-Herrero, R., Contreras-Moya, A., Rosa-Domínguez, E. y Domínguez-Núñez, J. (2019). Propuesta Metodológica Para el Sistema de Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos en Villa Clara. <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v39n2/2224-6185-rtq-39-02-471.pdf>

CEAMSE e INCONCIV. (s.f.). Capítulo 6 – Condiciones de Salud y de Calidad de Vida de la Población Ligada a los RSU. (Documento Web, último acceso 12/01/2023) <https://www.entrerios.gov.ar/ambiente/userfiles/files/archivos/Plan%20Girsu/A%20-%20Area%20de%20Estudio/6%20-%20Condiciones%20de%20salud/Salud.pdf>

Chen, Y. C. (2018). Effects of urbanisation on municipal solid waste composition. *Waste Management* 79, 828-836. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.017>. Accessed 26 January 2024.

CMM. (2015). Estudio de valorización y aprovechamiento de residuos sólidos urbanos en el Estado de México. Centro Mario Molina (CMM) (Documento Web, último acceso 12/01/2021) https://valorsum.com/wp-content/uploads/2018/06/Producto-6-Plan-GIRSU_VFfinal.pdf

Collins, D. (2009). The full cost of landfill disposal in Australia. Reporte preparado para el Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts.

Cortinas de Nava C. (2018). Prevención y Gestión Integral de Los Residuos Para Lograr Un Ambiente Sano. (Documento Web, último acceso: 13/12/2020). <https://cristinacortinas.org/sustentabilidad/>

Devore J. (2005). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencia. Ciudad de México, México: International Thomson Editores.

Díaz D. (2013). Sistemas de información geográfica aplicados a la optimización del servicio de recolección de residuos sólidos domiciliarios. El caso de la administración zonal Eloy Alfaro. Tesis de Título. Ecuador. (Documento web, ultimo acceso 17/01/2021) <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8700/merged%20%2816%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DNP (Departamento Nacional de Planeación). (2022). Guía nacional para la adecuada separación de residuos sólidos. Colombia. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Vivienda%20Agua%20y%20Desarrollo%20Urbano/Guia_Residuos%20Solidos_Digital.pdf

DOF. (1992a). Protección al ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos sólidos municipales - Determinación de humedad. Diario Oficial de la Federación (DOF). (Documento WEB, último acceso 18/11/2021). <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa016.pdf>

DOF. (1992b). Protección al ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos sólidos - Determinación del pH - Método potenciométrico. Diario Oficial de la Federación (DOF). (Documento WEB, último acceso 18/11/2021). <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa025.pdf>

DOF. (1992c). Protección al ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos Municipales - Determinación de Materia Orgánica. Diario Oficial de la Federación (DOF). (Documento WEB, último acceso 18/11/2021). <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFs/NMX-AA-021-1985.pdf>

DOF. (1997). NORMA Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación (DOF), Ciudad de México, México, 06 de enero de 1997.

DOF. (2003a). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. Diario Oficial de la Federación (DOF) Ciudad de México, 8 de octubre de 2003

DOF. (2003b). NMX-CC-416-ONCCE-2003, Especificaciones de muestreo de estructuras terreas, Diario Oficial de la Federación, 10/10/2003.

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 (DOF), 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 (DOF), Ciudad de México, México, 22 de mayo de 2015.

Domínguez-Vargas D. (2021). Evaluación de los aspectos socio-económicos para la evaluación de un centro integral de residuos regional en el Estado de México. ITTol. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Toluca

Durán, D. (1995). Historia de las Indias de Nueva España e islas de tierra firme, México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.

ECOCE. (2023). Cifras y Estadísticas. Los datos que debes conocer. https://www.ecoce.mx/cifras_y_estadisticas

Ecoresiduos, desechos y reciclados S. A. de C. V. (2011). Manifestación de impacto ambiental Modalidad Particular (Documento Web, último acceso 17/01/2021) <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/chih/estudios/2011/08CI2011ID071.pdf>

Ellison, B., Fan, L. y Wilson, N.L.W. (2022). Is it more convenient to waste? Trade-offs between grocery shopping and waste behaviors. *Agricultural Economics* 53, 75-89. <https://doi.org/10.1111/agec.12720>.

Enciso D., Antonio P., Robles F. y Castro D. (2015). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la etapa del transporte y disposición final de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal y zona metropolitana del Valle de México. 2º Congreso Nacional AMICA 2015.

EPA. (2024a). Basic Information about Landfill Gas. Agencia de protección ambiental. [Documento WEB]. [https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas#:~:text=Landfill%20gas%20\(LFG\)%20is%20a,Landfill%20Gas%20Energy%20Project%20Types](https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas#:~:text=Landfill%20gas%20(LFG)%20is%20a,Landfill%20Gas%20Energy%20Project%20Types)

EPA. 2008. Background Information Document for Updating AP42 Section 2.4 Municipal Solid Waste Landfills, EPA/600/R-08-116. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/>.

ESPINOSA LLORENS, María del Carmen, LÓPEZ, Matilde, PELLÓN, Alexis, ROBERT, Marlen, DIAZ, Susana, GONZÁLEZ, Aimée, RODRÍGUEZ, Niurka, & FERNÁNDEZ, Alejandro. (2010). Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 26(4), 313-325. Recuperado en 24 de julio de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000400006&lng=es&tlng=es.

European Commission. (2000). A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste. (Documento Web, último acceso 12/09/2023) https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/studies/econ_eva_landfill_report.pdf

Fernández A. y Sánchez M. (2007). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (Documento Web, último acceso 12/Enero/2021) <https://open.unido.org/api/documents/4745768/download/GUIA%20PARA%20LA%20GESTI%C3%93N%20INTEGRAL%20DE%20LOS%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS%20URBANOS>

Flores Bernal, J. (s.f.). Análisis de viabilidad de la implementación de estaciones de transferencia de residuos sólidos con el fin de reducir costos asociados a su transporte. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstreams/906d2df8-9e06-411b-86a9-848211ae0c27/download#:~:text=%2D%20Transporte:%20traslado%20de%20los%20residuos%20recolectados,sistema%20al%20reducir%20el%20costo%20de%20viaje.>

FNS. (2013). Manual práctico de análisis de agua. Brasilia. (Documento WEB, último acceso 12/01/2021). http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manual_aguaespanholweb_2.pdf.

García G., López K. y Castro D. (2015). Sistema de información geográfica sobre la situación de los residuos sólidos urbanos en los municipios de la República Mexicana. AMICA. (Documento web, ultimo acceso 17/01/2021) <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/173.pdf>

GDA. (2024). La importancia de las Geomembranas en los rellenos sanitarios. Geoproyectos y diseños ambientales. [Documento WEB]. <https://geoproyectos.com.mx/la-importancia-de-las-geomembranas-en-los-rellenos-sanitarios/>

GIA DE UC. (2010). Software MODUELO 4.0. Universidad de Cantabria, España.

Google Earth. (2023). Google Earth Pro. (Aplicación WEB, último acceso: 29/04/2021). <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>

González E., Tornero M., Ángeles Y. y Bonilla N. (2009). Concentración Total y Especiación de Metales Pesados en Biosólidos de Origen Urbano. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (1) 15-22, 2009

Grau J, Terraza H, Rodríguez V, Diana M, Rihm A, y Sturzenegger G (2015). Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe

Gutiérrez Avedoy V. (2006). Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos. Primera edición: octubre de 2006. ISBN: 968-817-803-9, (Documento Web última revisión 20/12/2020) https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/196519/Diagnostico_basico_pgir_2006.pdf

Hampel Milagrosa, A. y Castro Wooldridge, V. (2023). Using Ex-ante Cost-Benefit Analysis to improve waste management in the Pacific. ADB BRIEF. No. 246.

Hernández-Berriel M.C., López-Gasca S.O., García-Cortazar A.L., Mañón-Salas M.C., Colomer-Mendoza F.J. y Buenrostro-Delgado O. (2023). Metodología ágil para clausurar o regularizar sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos. Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT. En proceso de impresión.

Hockman, O., Hwang, E. y Rudzitis, G. (1976). The environmental costs of landfills and incinerators. (Documento WEB, último acceso 16/09/2023) <https://www.osti.gov/servlets/purl/7319370>

Honorable Congreso de la Nación Argentina. (2004). Ley 25.916 Gestión de residuos domiciliarios. (Documento WEB, último acceso 11/11/2025)

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25916-98327/texto>

Iglesias D. (2007). Costos económicos por la generación y manejo de residuos sólidos en el municipio de Toluca, Estado de México. *Equilibrio Económico*, Año VIII, Vol. 3 No. 2, pp. 131-148 Segundo Semestre de 2007

INE. (2006). The benefits and cost of a bus rapid system in México City. Final Report. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT.

INEGI. (2014). Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2013 (CNGMD), Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol. 5. Desechos.

Jawwad, M., Murti, R. y Citrasari, N. (2023) Análisis de dispersión y modelo de emisiones al aire en el vertedero de Klotok, Kediri. J. Pengendali. Pencemaran Lingkungan. (JPPL), págs. 31 – 37. <https://doi.org/10.35970/jppl.v5i1.1786>

Jian, Y., Boyang, L. y Xi, J. (2023). Jiang, Yijing y Leng, Boyang y Xi, Jingxin, Evaluación del costo social total de la gestión de residuos sólidos municipales en Beijing: un análisis sistemático del ciclo de vida. Disponible en SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4530924> o <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4530924>

LANDTEC. (2009). GEM2000 Instruments Operation Manual, Gas Analyzer & Extraction Monitors. (Documento WEB, último acceso 16/08/2018) <http://www.landtecnica.com/wp-content/uploads/2015/11/GEM2xxxManualEN-RevD1.pdf>

Linersintallers. (2012). Clausura de Rellenos sanitarios. Soluciones integrales para

la calidad ambiental. (Documento web, 18/01/2021) <https://www.liner.com.mx/captacion-conduccion-de-gases.html>

Lobo A., Szantó M. y Llamas S. (2016). Cierre, sellado y reinserción de antiguos vertederos. Experiencias en Iberoamérica. Rev. Int. Contam. Ambie. 32 (Especial Residuos Sólidos) 123-139, 2016 DOI: 10.20937/RICA.2016.32.05.09

López-Gasca S. (2020). Propuesta de Ubicación y Prediseño de un Relleno Sanitario Sustentable Intermunicipal, Entre Morelos y el Estado de México. ITTol. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Toluca.

López-Gasca, S., Hernández-Berriel, M., Lobo-Garcia de Cortazar, A., Buenrostro-Delgado, O., Mañón-Salas, M. y Colomer-Mendoza, F. (2024). Análisis de la NOM-083-SEMARNAT-2003 y su proyecto de modificación 2021 bajo categorías de sostenibilidad. Aplicación a tres sitios de disposición final. Rev. Int. Contam. Ambie. 40, 167-180, 2024. <https://doi.org/10.20937/RICA.54977>

López P., Sánchez J. y Ramírez S. (2006). SANEAMIENTO DEL TIRADERO DE LA CIUDAD DE OAXACA DE JUÁREZ. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, desarrollo y práctica. ISSN 0718-378X

Lozano Lazo, D.P., Bojanic Helbingen, C. and Gasparatos, A. (2022). Household waste generation, composition and determining factors in rapidly urbanizing developing cities: Case study of Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Journal of Material Cycles and Waste Management 25(1), 565-581. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01535-1>.

Mañón-Salas, M.C. y Hernández-Berriel, M.C. (2021). Manual del Usuario del SIGMIRSU. Sistema de Información Geográfica para el Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos (SIGMIRSU), desarrollado en el proyecto de investigación "Ubicación de rellenos sanitarios intermunicipales futuros en el

Estado de México y estados aledaños” clave: SEMARNAT-2015-1-263315. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca y Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos, S.A. de C.V. (SOMERS S.A. de C.V.). En proceso de impresión.

Mañón, M. C., Hernández, M. C., Olay, E., Carreño, M. C. y 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

McCubbin, D. y Deluchi, M. (2011). The health costs of Motor-Vehicle-Related Air Pollution. *Journal of Transport Economics and Policy* 33, 253-286.

McGoodwin, A. (2018). Mitigating the Municipal Waste Management Crisis in Emerging Markets: A Cost-benefit Analysis of Enhancing Waste Management Interventions.

Melosi, M. (1981). *Garbage in the Cities. Refuse, Reform and the Environment, 1880-1980*, Texas, A&M University Press.

Méndez-Lucas O. L. (2010). Sellado y clausura del vertedero de RSU de Fuenlabrada de los Montes para la recuperación de su emplazamiento. Máster profesional en Ingeniería y Gestión Medioambiental 2009-2010. España (Documento Web último acceso 13/12/2020) <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19380/proyecto-fin-de-master-sellado-y-clausura-del-vertedero-de-rsu-de-fuenlabrada-de-los-montes-para-la-recuperacion-de-su-emplazamiento>

Mendoza-Delgado J.G. (2017). Evaluación del impacto ambiental de tiraderos a cielo abierto de municipios vecinos del Estado de México, Morelos y Guerrero. Estado de México, ITTol. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Toluca.

- Mercado-Espiridión N. (2019). Ubicación de un relleno sanitario sustentable entre Michoacán y el Estado de México, ITTol. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Toluca
- Meza Rivas, M. (2021). Análisis económico y financiero en el manejo integral de residuos sólidos en los municipios de la zona 4 del Ecuador. M+A. Revista Electrónica de Medio Ambiente 2021, Volumen 21, número 2: 40-59
- MINERGIA, PNUD, FAO y GEF. (2011). Manual de biogás. Ministerio de Energía, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Global Environment Facility. ISBN 978-95-306892-0. <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>
- Ministerio de medio ambiente de Nueva Zelanda. (2001). A Guide for the Management of Closing and Closed Landfills in New Zealand. Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos. ISBN 0-478-24021-X ME number 390
- Ministerio de salud de Chile. (2008). Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios. (Documento Web, ultimo acceso 11/11/2025). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=268137>
- Mohamed Hgaig, B. (2021). Evaluación económica y ambiental de un sistema de tratamiento y eliminación de los RSU en Misurata (libia) utilizando la metodología coste/beneficio. Proyecto de vertedero controlado. Universidad Jaume I. Tesis de de Máster. España.
- Mondragón M. (2014). Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. Mov.cient.Vol.8 (1): 98-104 ISSN: 2011-7191. Enero a diciembre de 2014

MTEyTD (2020). Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Boletín Oficial del Estado BOE-A-2020-7438, Madrid, España. 08 de julio de 2020.

Municipio de Aculco, Estado de México. (2020). Plan de regularización para rehabilitación del sitio de disposición final categoría C perteneciente al municipio de Aculco

Nieto Ruiz, J. (2017). Evaluación económica-ecológica de las alternativas para mitigar gases de efecto invernadero en la Ciudad de México. Cuadernos de Investigación del Posgrado en Economía, sede IIEc. (Documento Web, último acceso 23/11/2023) https://ru.iiec.unam.mx/4038/1/Cuaderno_investigacion_posgrado_IIEc_1.pdf

Ochoa Chi J. (2014). Los tiraderos de basura y sus impactos sociambientales en la población circunvecina. Tesis doctoral. UNAM

Opara, A., Akaolisa, C., Akakuru, C., Nkwoada, A., Ibe, F., Verla, A. y Chukwuemeka, I. (2021) Evaluación de los riesgos para la salud derivados de la exposición a partículas y la inhalación no cancerígena de los principales vertederos de la metrópoli de Owerri, Nigeria. *Environmental Analysis Health and Toxicology*, 36 (2021), Artículo e2021025 <https://doi.org/10.5620/eaht.2021025>

Osorio Quintero, E. (2016). Valoración Costo-Beneficio, del manejo de los residuos sólidos, aplicable a conjuntos residenciales de Cali. Universidad del Valle, Trabajo de grado. Ecuador.

Parlamento Europeo. (2023). Cambio climático: gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20230316STO77629/cambio-climatico-gases-de-efecto-invernadero-que->

causan-el-calentamiento-global

Pacheco J. & Contreras E. (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), CEPAL, Naciones Unidas. Manual.

Pellón Arrechea, A., López Torres, M., Espinosa Lloréns, MD, & Escobedo Acosta, R. (2009). Tecnología para el tratamiento de lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos. Tecnología Química, XXIX, 113-121.

PNUMA. (2020). Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020. Resumen. Nairobi. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Asociación PNUMA-DTU. (Documento Web, último acceso 16/12/2020) <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34438/EGR20ESS.pdf?sequence=35>

Prevent Control. (2020). AHP: un método para fortalecer la toma de decisiones en SST (Documento Web, último acceso 16/12/2020) <https://prevencontrol.com/prevenblog/ahp-un-metodo-para-fortalecer-la-toma-de-decisiones-en-sst/>

Raza, S., Hafeez, S., Ali, Z., Nasir, Z., Butt, M., Saleem, I., Wu, J., Chen, Z. y Xu Y. (2021) An assessment of air quality within facilities of municipal solid waste management (MSWM) sites in Lahore, Pakistan Processes, 9 (2021), p. 1604. <https://doi.org/10.3390/pr9091604>

Rivera de Jesús, C. (2021). Capitalización de externalidades causadas por rellenos sanitarios en el precio de las casas: un análisis con precios hedónicos. El semestre de las especializaciones 3-1, 145-176.

Rondón Toro, E. (2023). Evaluación del tratamiento de residuos municipales considerando su circularidad: herramienta para la selección de alternativas y

caso de aplicación. Universidad de Cantabria. Tesis doctoral. España.

Rondón Toro, E., López Martínez, A. y Lobo García de Cortázar, A. (2023). Sequential Methodology for the Selection of Municipal Waste Treatment Alternatives Applied to a Case Study in Chile. *Sustainability* 2023, 15, 7734. <https://doi.org/10.3390/su15097734>

Saaty, T. L. (1980). *Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process*. New York: McGraw Hill.

Sáez, Alejandrina, Urdaneta G. y Joheni A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia* [en línea]. 2014, 20(3), 121-135[fecha de Consulta 7 de enero de 2021]. ISSN: 1315-8856. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>

Sánchez-Zarco Y. (2021). Evaluación de sinergias entre municipalidades y empresas para el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos al sur del Estado de México. ITTol. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Toluca.

Sandoval, L. (2024). Bonos de carbono generan 2 mdp. *Diario de Queretaro* [Documento WEB] <https://www.diariodequeretaro.com.mx/local/se-han-recaudado-mas-de-2-mdp-en-venta-de-bonos-de-carbono-12386156.html>

Savas, E.S (1977), *The Organization and Efficiency of Solid Waste Collection*, Lexington, Massachusetts, Lexington Books, D.C. Heath and Company.

SCS Engineers. (2009). *Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0*.

SCFI. (2000). NMX-AA-093-SCFI-2000 Análisis de agua - determinación de la conductividad electrolítica - Método de prueba. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). (Documento WEB, último acceso: 16/11/2014)

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166800/NMX-AA-093-SCFI-2000.pdf>

SE. (2010). NMX-AA-026-SCFI-2010 Análisis de agua - Medición de Nitrógeno Total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de Prueba. Secretaria de Economía (SE). (Documento WEB, último acceso: 16/11/2021) <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166772/NMX-AA-026-SCFI-2010.pdf>

SE. (2014). NMX-AA-074-SCFI-2014. Análisis de agua – Medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. Secretaria de Economía (SE) (Documento WEB, último acceso: 16/11/2021) <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166149/nmx-aa-074-scfi-2014.pdf>

SE. (2013). NMX-AA-007-SCFI-2013 Análisis de agua – Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. Secretaría de economía (SE). (Documento WEB, último 22/06/2020). http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa007-2014_01.pdf

SE. (2015). NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. Secretaria de economía (SE). (Documento WEB, último 22/08/2020). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf>

SE. (2016a). NMX-AA-008-SCFI-2016 Análisis de agua. - Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. - Método de prueba. Secretaria de economía (SE). (Documento WEB, último acceso 20/04/2021) <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>

SE. (2016b). NMX-AA-051-SCFI-2016. Análisis de agua. -Medición de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas- Método de prueba. (Documento WEB, último acceso 02/04/2016) <http://transparencia.japac.gob.mx/wp-content/uploads/art95/fxvi/normas/nmx-aa-051-scfi-2016.pdf>

SEDESOL. (2004). Manual para la rehabilitación y clausura de tiraderos a cielo abierto. Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos. <http://www.ambides.com/material-de-consulta/27-manual-para-la-rehabilitacion-y-clausura-de-tiraderos-a-cielo-abierto-san-bartolo-sedesol-pdf/file>

SEDESOL, SIMEPRO, DEFRA, GOBNL y EBM. (2008). Proyecto de limpieza de tiraderos a cielo abierto en 22 municipios de Nuevo León, 2008-2009. Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos. <https://docplayer.es/13198056-Proyecto-de-limpieza-de-tiraderos-a-cielo-abierto-en-22-municipios-de-nuevo-leon-2008-2009-closure-of-municipal-dumps.html>

SEMARNAT & GTZ, S. del M.A. y R.N. & A. de C.T.A. (2004). Guía de Cumplimiento de la NOM – 083 – SEMARNAT – 2003. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_Cumplimiento_NOM_083.pdf

SEMARNAT & GTZ. (2005). Guía para la realización de planes de regularización conforme a la NOM-083-SEMARNAT-2003. Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (Documento Web, último acceso 16/12/2020) http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_regularizacin_NOM_083.pdf

SEMARNAT & GTZ. (2006). Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) &

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). (Documento Web, último acceso 02/11/2020). <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-de-tecnologias-en-girs/disposicion/rellenos-sanitarios/1411-manual-de-rellenos/file>

SEMARNAT & INECC. (2018). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015, Libro Primera edición: 2018

SEMARNAT. (2010). Criterios para la ubicación, operación y cierre de infraestructura ambiental para el acopio, transferencia, separación y tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. (Documento Web, ultimo acceso 18/01/2021) <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD000929.pdf>

SEMARNAT. (2012). Informe del Medio Ambiente – Residuos. Diagnóstico básico extenso 2012. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (Documento Web, último acceso 16/12/2020) https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf

SEMARNAT. (2013). Residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Secretaria del medio ambiente y recursos naturales. México. (Documento WEB, último acceso 20/12/2016). <http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos/solidos/Paginas/solidos.aspx>.

SEMARNAT. (2014). Compendio de Estadísticas Ambientales. Residuos Sólidos Urbanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México. (Documento Web, último acceso 16/12 /2020). http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_2.html.

SEMARNAT. (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño

Ambiental y de Crecimiento Verde (Documento Web, último acceso 07/01 /2021).
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap7_Residuos.pdf

SEMARNAT. (2017a). Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México (Documento Web, último acceso 16/12/2020) <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>

SEMARNAT. (2017b). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2017-2018. http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/PNPGIR%20_2017-2018.pdf

SEMARNAT. (2020). Diagnostico Básico para la Gestión Integral de Residuos. (Documento web, ultimo acceso 13/01/2021) <file:///C:/Users/lechu/OneDrive/Documentos/Sergio/Articulos%20anteproyecto/Semarnat%20DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

SEMARNAT. (2021a). Normas Mexicanas. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (Documento WEB, último acceso 29/04/2021). <https://www.semarnat.gob.mx/gobmx/biblioteca/nmx.html>

SEMARNAT. (2021b) Partículas suspendidas PM10 y PM2.5 dañan salud y medio ambiente. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/particulas-suspendidas-pm10-y-pm2-5-danan-salud-y-medio-ambiente#:~:text=Esta%20orientaci%C3%B3n%2C%20precisa%2C%20est%C3%A1%20sustentada,%C3%A1cidos%2C%20metales%20y%20carbono%20negro.>

SEPA. (2003). Interim SEPA Technical Guidance Note Closure Procedures for Landfill Sites currently operating under Waste Management Licences. Scottish Environment Protection Agency (SEPA)

SERE. (2021). México se adhirió al Compromiso Global de Metano en la COP26. <https://mision.sre.gob.mx/oea/index.php/comunicados/38-comunicados-2021/809-mexico-se-adhirio-al-compromiso-global-de-metano-en-la-cop26-03-nov-2021>

SHCP. (2017). Informe Anual 2016 Banobras. Secretario de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (Documento Web, último acceso 02/01/2021). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/238294/Informe_Anual_de_Actividades_2016__comprimido__07.07.2017.pdf

SHCP. (2020). Informe Anual 2019 Banobras. Secretario de Hacienda y Crédito Público (SHCP). (Documento Web, último acceso 02/01 /2021). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/581850/INFORME_ANUAL_2019_Versio_n_Final_25AGOSTO_r2.pdf Statgraphics

Technologies, Inc. (2020). Software Statgraphics. <https://www.statgraphics.com/>

Tchobanoglous G., Vigil S. y Theisen H. (1994). Gestión integral de residuos sólidos. McGraw-Hill Interamericana de España. ISBN: 84-481-1830-8

Tchobanoglous, G. y Kreith, F. (2002). Handbook of solid waste management. Second Edition. McGraw-Hill.

Torquemada, Juan de (1986), Monarquía indiana 3 vols., Introducción de Miguel León-Portilla, México, Editorial Porrúa.

UN-HABITAD. (2010). Mejorar el manejo de los residuos sólidos municipales es fundamental para el desarrollo urbano sostenible. (Documento Web, último acceso 02/010 /2023). <https://onuhabitat.org.mx/images/onu-habitat/octubre-urbano/2018/pdf/ES-nota-conceptual-Dia-del-Habitat.pdf>

UNEP (United Nations Environment Programme) (2024a). Global Waste Management Outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into a resource. Nairobi. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>

UNEP (United Nations Environment Programme) (2024b). Global Waste Management Outlook 2024 for Youth: Beyond an age of waste – Turning rubbish into a resource. Nairobi. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44992> URL: <https://www.unep.org/resources/global-wastemanagement-outlook-2024>

United Nations Human Settlements Programme. (2010). Solid waste management in the world's cities water and sanitation in the world's cities. ISBN 978-1-84971-169-2

USDA. (2021). Soil Texture. Natural Resources Conservation Service Soils, United States Department of Agriculture (USDA). Recuperado el 03 de noviembre del 2021 de <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal>

Vaverková, M. D. (2019). Landfill Impacts on the Environment—Review. *Geosciences*, 9(10), 431. <https://doi.org/10.3390/geosciences9100431>

Wehenpohl G., Heredia P., Hernández P., Richkarday H. (2004). Guía de Cumplimiento de la NOM – 083 – SEMARNAT – 2003. (Documento WEB, último acceso 29/04/2021). http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/Guia_Cumplimiento_NOM_083.pdf

Wehenpohl G. y Hernández-Barrios C. (2006). Guía para la elaboración de programas municipales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. SEMARNAT y GTZ. (Documento web, último acceso 17/01/2021) http://www.medioambiente.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2016/02/Gu%C3%ADa_PMPGIRSU.pdf

ANEXOS

ANEXO A. INFORMACIÓN GENERAL PARA VERIFICACIÓN

Nombre del SDF: _____

Dirección del SDF: _____

Coordenadas geográficas: _____

Municipio: _____ Estado: _____

Teléfono: _____ Correo Electrónico: _____

Nombre de la(s) persona(s) que apoyó(aron) en el llenado de la Tabla de Verificación (TV) por parte del municipio:

Cargo / puesto: _____

Dirección: _____

Teléfono _____ correo electrónico: _____

Nombre(s) de la(s) persona(s) evaluadora(s) que realizó(ron) el llenado de la Tabla de Verificación

Cargo / puesto: _____

Responsable de la evaluación del Proyecto: _____

Dirección: _____

Teléfono: _____ correo electrónico: _____

5. Disposiciones Generales del sitio de disposición final

5.1 ¿Qué tipo de residuos reciben: residuos sólidos urbanos (RSU), de manejo especial (RME), ¿peligrosos (RP) y u otros?:

5.2 ¿Qué cantidad diaria de residuos depositan? _____ Marcar el tipo:

TIPO	TON/DIA
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
C	10 y menor a 50
D	Menor a 10

¿De qué localidades reciben residuos? _____

¿Cuál es el área total del sitio? _____ m²

¿Cuál es el área disponible para la disposición final de residuos? _____ m²

¿Cuál es el área ocupada actualmente por residuos dispuestos? _____ m²

Fecha: _____

¿En qué año se inició la disposición final? _____

¿En qué año estiman terminará la disposición final? _____

¿Cuál es el volumen estimado disponible del sitio para disposición de residuos? _____ m³

¿Cuál es la vida útil estimada? _____ años

¿Hay pepenadores en el sitio de disposición final? _____ No. mujeres _____ No. hombres _____ No. niñas _____

No. niños _____

Si el personal que labora en el SDF cuenta con equipo de protección personal, describa _____

ANEXO B. TABLA DE VERIFICACIÓN

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
6. Especificaciones para la selección del sitio						
6.1 Restricciones para la ubicación del sitio (Aplica para los sitios A, B, C y D)						
¿El sitio se ubica a una distancia igual o mayor a 13 km de un aeródromo o un aeropuerto?	6.1.1					
¿La distancia elegida se determinó mediante un estudio de riesgo aviario? Nota: si el sitio se encuentra a 13 km o más, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación						
¿El sitio se ubica fuera de un área natural protegida?	6.1.2					
¿El plan de manejo del área protegida contempla un sitio de disposición? Nota: si el sitio se encuentra fuera de un área protegida, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación						
Para localidades mayores a 2500 habitantes ¿El límite del sitio de disposición final está a una distancia mínima de 500 m, contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano?	6.1.3					
¿El sitio se ubica fuera de zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas?	6.1.4					
¿El sitio se ubica fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años?	6.1.5					
En caso de estar dentro de zonas de inundación ¿Se demuestra que no existe obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integran el sitio? Nota: si el sitio se encuentra fuera de zonas de inundación, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación						
¿El sitio se ubica al menos a 500 m con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas?	6.1.6					
¿El sitio se ubica a mínimo 100 m adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, con respecto a pozos de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados?	6.1.7					
En caso de que no se pueda determinar el cono de abatimiento ¿La distancia al pozo es mayor a 500 m? Nota: si se conoce el cono de abatimiento, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación						
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 6.1.1 al 6.1.7?	Nota: La puntuación máxima para todo tipo de SDF es 7					

ANEXO B. TABLA DE VERIFICACIÓN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
6.2 Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio (solo aplica al SDF tipo A)						
6.2.1 Estudio geológico regional						
¿El marco geológico regional comprende la descripción estratigráfica, su geometría y distribución e identificación de discontinuidades (fallas y fracturas)?	6.2.1					
6.2.2 Estudio hidrogeológico regional						
¿Se cuenta con evidencias de la ubicación de agua subterránea (manantiales, pozos y norias), en la zona de influencia para conocer el gradiente hidráulico?	a) Evidencias y usos del agua subterránea					
¿Se cuenta con el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio? Nota: si no se cuenta con evidencias de la ubicación de agua subterránea, marcar “No aplica” y colocar 0 en puntuación						
¿Se tienen identificadas las unidades hidrogeológicas y la relación entre ellas que definen el sistema acuífero?	b) Identificación del tipo de acuífero					
¿Se tiene identificado el tipo de acuífero (confinado o semiconfinado) de la región? Nota: si no identifican las unidades hidrogeológicas y la relación entre ellas, marcar “No aplica” y colocar 0 en puntuación						
¿Se tiene determinada la dirección del flujo subterráneo regional? Nota: si no identifican las unidades hidrogeológicas y la relación entre ellas, marcar “No aplica” y colocar 0 en puntuación	c) Análisis del sistema de flujo					
6.3 Estudios y análisis, en el sitio, previos a la construcción y operación de un sitio de disposición final.						
¿Se cuenta con un estudio topográfico que incluya planimetría y altimetría a detalle del sitio seleccionado?	a) Estudio topográfico (aplica para tipo A, B y C)					
b) Estudio geotécnico (aplica para tipo A, B y C)						
¿Se ha realizado la exploración y el muestreo de suelo del lugar donde se localiza el SDF?	b.1 Exploración y muestreo					
¿Se cuenta con los resultados del análisis de permeabilidad de campo y peso volumétrica <i>in situ</i> ?						
¿La clasificación de muestras se realizó según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos?	b.2 Estudios en laboratorio					
¿Se tienen los resultados de: análisis granulométrico, permeabilidad, prueba Proctor, límites de Atterberg, consolidación unidimensional, ¿análisis de resistencia al esfuerzo cortante y humedad?						
¿Se cuenta con los resultados de los análisis de estabilidad de taludes de las obras de terracería correspondientes?						

ANEXO B. TABLA DE VERIFICACIÓN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM- 083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
c) Evaluación geológica (aplica para tipo A y B)						
¿Se cuenta con la litología de los materiales, geometría, distribución y presencia de fracturas y fallas geológicas en el sitio?	c.1					
¿Se cuenta con las características estratigráficas del sitio?	c.2					
¿Se tienen determinados los parámetros hidráulicos, dirección del flujo subterráneo, características físicas, químicas y biológicas del agua?	d.1					
¿Se tienen determinadas las unidades hidrogeológicas que componen el subsuelo y las características que las identifican (espesor y permeabilidad)?	d.2					
6.4 Estudios de generación y composición						
¿Se cuenta con los estudios de generación de RSU y RME de la población por servir, con proyección para al menos la vida útil del SDF?	a) aplica para tipo A, B y C					
¿Se cuenta con los estudios de composición de los RSU y RME de la población por servir?						
¿Se cuenta con la estimación de la cantidad de generación esperada de biogás en el SDF?	b) aplica para tipo A y B					
¿La estimación de la generación esperada de biogás comprende la composición química de los residuos dispuestos en el SDF?						
¿Se tiene la cuantificación del lixiviado mediante algún balance hídrico?	c) aplica para tipo A y B					
6.5 Cumplimiento de estudios y análisis previos conforme a Tabla 2 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 que corresponde a la Tabla 3.1 en este manual.						
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 6.2 a 6.5?	Nota: La puntuación máxima con respecto al tipo de SDF es: A=21, B=15 y C=8					
7. Características constructivas y operativas del SDF (Proyecto ejecutivo para tipo A, B y C)						
¿El SDF cuenta con una barrera geológica natural o equivalente a un espesor de 1 m y un coeficiente de conductividad hidráulica de al menos 1x10 ⁻⁷ cm/s sobre la zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final?	7.1 (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
¿La zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final cuenta con un sistema de impermeabilización equivalente, que garantice un coeficiente de conductividad hidráulica de al menos 1x10 ⁻⁷ cm/s? Nota: si se cuenta con barrera geológica natural, marcar “No aplica” y colocar 0 en puntuación						

ANEXO B. TABLA DE VERIFICACIÓN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)												
¿Se garantiza la extracción, captación, conducción y control del biogás generado en el SDF?	7.2 (Aplica para sitios tipo A, B y C)																	
¿Se cuenta con un sistema de aprovechamiento de biogás que evite que el CH ₄ se emita a la atmosfera?																		
¿Se realiza el quemado del biogás generado a través de pozos individuales o mediante una red con quemadores centrales? Nota: si se cuenta con un sistema de aprovechamiento de biogás, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación																		
¿Cuenta con un sistema que garantice la captación y extracción del lixiviado generado en el SDF?	7.3 (Aplica para sitios tipo A, B y C)																	
¿El lixiviado se recircula en las celdas de los RSU confinados en función de los requerimientos de humedad, es tratado o una combinación de ambos?																		
¿Se cuenta con el diseño de un drenaje pluvial para el desvío de escurrimientos pluviales y el desalojo del agua de lluvia?	7.4 (Aplica para sitios tipo A, B y C)																	
¿El SDF cuenta con un área de emergencia para la recepción de RSU y RME, cuando una eventualidad, desastre natural o emergencia de cualquier orden no permita la operación en el frente de trabajo?	7.5 (Aplica para sitios tipo A, B y C)																	
¿El área de emergencia proporciona la misma seguridad ambiental y sanitaria que las celdas de operación ordinarias?	7.5 (Aplica para sitios tipo A, B y C)																	
De acuerdo con la Tabla No. 3 de la NOM-083, ¿se alcanzan los niveles mínimos de Compacción?	7.6 (Aplica para sitios tipo A, B y C)																	
<table><tr><td>TIP O DE SDF</td><td>RECEPCI ON DE RSU (t/día)</td><td>COMPAC-TACIÓN (kg/m³)</td></tr><tr><td>A</td><td>> 750 (A1) 100 a 750 (A2)</td><td>> 700 > 600</td></tr><tr><td>B</td><td>50 a 100</td><td>> 500</td></tr><tr><td>C</td><td>10 a 50</td><td>> 400</td></tr></table>		TIP O DE SDF	RECEPCI ON DE RSU (t/día)	COMPAC-TACIÓN (kg/m ³)	A	> 750 (A1) 100 a 750 (A2)	> 700 > 600	B	50 a 100	> 500	C	10 a 50	> 400					
TIP O DE SDF		RECEPCI ON DE RSU (t/día)	COMPAC-TACIÓN (kg/m ³)															
A		> 750 (A1) 100 a 750 (A2)	> 700 > 600															
B	50 a 100	> 500																
C	10 a 50	> 400																
¿Los residuos son cubiertos en forma continua y dentro de un lapso menor a 24 h posteriores a su depósito?	7.7 (Aplica para sitios tipo A, B y C)																	
¿Con la cobertura de los RSU, se controla la dispersión de materiales ligeros, la fauna nociva y la infiltración pluvial?																		

ANEXO B. TABLA DE VERIFICACIÓN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
¿Se cuenta con medidas para evitar la admisión de aguas residuales, líquidos industriales de proceso y lodos con más del 85% de humedad base húmeda?	7.8 (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
¿Se cuenta con medidas para no permitir el ingreso de aceites minerales?						
¿Se cuenta con medidas para no permitir el ingreso de RP de acuerdo con la normatividad vigente?						
¿Los lodos deshidratados admitidos, son tratados o acondicionados, previo a su disposición final conforme a la normatividad vigente?	7.8.1 (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
Caminos de acceso adecuados, delimitados y bien (aplica para sitios tipo A, B y C)	7.9 ¿El SDF cuenta con estas áreas complementarias?					
Caminos interiores adecuados, delimitados y bien (aplica para sitios tipo A y B)						
Cerca perimetral (aplica para sitios tipo A, B y C)						
Caseta de vigilancia y control de acceso (aplica para sitios tipo A, B y C)						
Bascula (aplica para sitios tipo A y B)						
Agua potable, electricidad y drenaje (aplica para sitios tipo A y B)						
Vestidores y servicios sanitarios (aplica para sitios tipo A, B y C)						
Franja de amortiguamiento (Mínimo 10 metros) (aplica para sitios tipo A, B y C)						
Oficinas (aplica para sitios tipo A)						
Servicio médico y seguridad personal (aplica para sitios tipo A)						
7.10 El sitio de disposición final deberá contar con:						
Dispositivos de control de accesos para: personal, vehículos, materiales, RP (prohibición de ingreso) y radiactivos o inaceptables	a) ¿El SDF cuenta con un manual de operación y comprende todos estos puntos? (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
Método de registro de tipo y cantidad de RSU y RME ingresados						
Cronogramas de operación						
Programas específicos de control de calidad, mantenimiento y monitoreo ambiental de biogás, lixiviados y acuíferos						
Dispositivos de seguridad y planes de contingencia para: incendios, explosiones, sismos, fenómenos meteorológicos y manejo de lixiviados, sustancias reactivas, explosivas e inflamables.						
Procedimientos de operación						
Perfil de puestos						
Reglamento interno						

ANEXO B. TABLA DE VERIFICACIÓN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
Ingreso de RSU, RME, materiales, vehículos, personal y visitantes	b) ¿El SDF cuenta con Control de registros para estos puntos? (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
Secuencia de llenado del sitio de disposición final						
Generación y manejo de lixiviados y biogás						
Contingencias						
¿El SDF cuenta con un informe mensual de actividades?	c) (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
¿Se tiene instrumentado un programa para la medición y control de los impactos ambientales?	7.11 (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
¿Se tiene instrumentado un programa de monitoreo ambiental para el SDF?						
¿Se conservan y mantienen los registros correspondientes a los programas?						
¿Se tiene un programa de monitoreo de biogás que contenga objetivo, grado de estabilización de los residuos, detección de migraciones fuera del predio, parámetros de composición, explosividad y flujo?	7.11.1 (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
¿Se tiene un programa de monitoreo del lixiviado que contenga: objetivo, Potencial de Hidrogeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), ¿Demanda Química de Oxígeno (DQO) y metales pesados?	7.11.2 (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
¿Se tiene programas de monitoreo de acuíferos, con pozos de muestreo, al menos uno aguas arriba y otras aguas abajo del SDF?	7.11.3 (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
Para el diseño de pozos de muestreo se consideraron: gradientes superior y descendente hidráulico, variaciones naturales del flujo del acuífero, variaciones estacionales del flujo del acuífero, calidad del agua antes y después del establecimiento del sitio de disposición final (la calidad de referencia estará definida por las características del agua nativa)						
Si se realiza separación de RSU en el SDF ¿Se afecta el cumplimiento de las especificaciones de operación de esta norma, de manera que son un riesgo para las personas que la realizan?	7.12 (Aplica para sitios tipo A, B y C)					
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 7.1 al 7.12	Nota: La puntuación máxima con respecto al tipo de SDF es: A=46, B=44 y C=41					

ANEXO B. TABLA DE VERIFICACIÓN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
8. Requisitos mínimos que deben cumplir los Sitios de Disposición Final de los RSU y RME, tipo D (menos de 10 t/día)						
¿Se garantiza un coeficiente de conductividad hidráulica de 1×10^{-5} cm/s, con un espesor mínimo de un metro, o su equivalente, por condiciones naturales del terreno, o bien, mediante la impermeabilización del sitio con barreras naturales o artificiales?	8.1					
¿Se cuenta con una compactación mínima de los residuos dispuestos de 300 kg/m³?	8.2					
¿Se realiza la cobertura de los residuos por lo menos cada semana?	8.3					
¿Se evita el ingreso de los RP en general?	8.4					
¿Se controla la fauna nociva y evita el ingreso de animales?	8.5					
¿Se cuenta con cerca en la totalidad el SDF?	8.6					
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 8?1 al 8.6?	Nota: La puntuación máxima del SDF tipo D es 6					
9. Clausura del sitio (aplica a sitio A, B, C y D)						
¿La cobertura final de clausura aísla los residuos, minimiza la infiltración de los líquidos en las celdas, controla el flujo del biogás generado, minimiza la erosión y brinda un drenaje adecuado?	9.1 Cobertura final de clausura					
¿Las áreas que tienen una extensión de más de dos hectáreas, cuando alcanzan su altura final, son cubiertas conforme al avance de los trabajos y el diseño específico del SDF?						
¿La conformación final del SDF contempla las restricciones relacionadas con el uso del sitio, estabilidad de taludes y límites del predio?	9.2 Conformación final del sitio					
¿La conformación final del SDF contempla características de la cobertura final de clausura, los drenajes superficiales y la infraestructura para el control del lixiviado y biogás?						
¿Se tiene y opera un programa de mantenimiento posclausura para todas las instalaciones del SDF, por un periodo de al menos 20 años?	9.3 Mantenimiento					
¿El programa incluye el mantenimiento de la cobertura final de clausura, para reparar grietas y hundimientos provocados por la degradación de los RSU y RME, así como los daños ocasionados por erosión (escurrimientos pluviales y viento)?						
¿Se tiene y opera un programa de monitoreo por un periodo de al menos 20 años, para detectar condiciones inaceptables de riesgo al ambiente, por la emisión de biogás y generación de lixiviado?	9.4 Programa de monitoreo					

ANEXO B. TABLA DE VERIFICACIÓN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
¿El uso final del SDF es acorde con el uso del suelo aprobado por la autoridad competente, con las restricciones inherentes de baja capacidad de carga, posibilidad de hundimientos diferenciales y presencia de biogás?	9.5 Uso final del SDF					
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 9?1 al 9.5?	Nota: La puntuación máxima para todo tipo de SDF es 8					

ANEXO C. INFORMACIÓN GENERAL PARA VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN

Nombre del SDF: Basurero Municipal Zacualpan

Dirección del SDF: Carretera Federal No. 7 Texcaltitlán – Zacualpan, Zacualpan, EdoMéx

Coordenadas geográficas: 18.7365, -99.7675 (18° 44' 11.3994" de latitud y -99° 46' 2.9994" de longitud)

Municipio: Zacualpan

Estado: México

Teléfono: 7757550899

Correo Electrónico: sistema_tzacualli@yahoo.com.mx

Nombre de la(s) personas que apoyó(aron) en el llenado de la Tabla de Verificación (TV) por parte del municipio: Humberto Edwin Saucedo Castañeda

Cargo / puesto: Coordinador de Medio Ambiente

Dirección:

Teléfono:

Correo Electrónico:

Nombre(s) de la(s) persona(s) evaluadora(s) que realizó(ron) el llenado de la Tabla de Verificación:

Cargo / puesto:

Responsable de la evaluación del Proyecto: Dra. María del Consuelo Hernández Berriel

Dirección: Avenida Tecnológico 100 s/n. Colonia Agrícola, Bellavista, La Virgen, 52149 Metepec, Méx.

Teléfono: 7222087224 Correo Electrónico: mhernandezb@toluca.tecnm.mx

5. Disposiciones Generales del sitio de disposición final

5.1 ¿Qué tipo de residuos reciben: residuos sólidos urbanos (RSU), de manejo especial (RME), peligrosos (RP) u otros RSU?:

5.2 ¿Qué cantidad diaria de residuos depositan? 16 t / día (2017) y 6 t/día (2021) Marcar el tipo:

TIPO	TON/DÍA
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
<u>C</u>	10 y menor a 50
D	Menor a 10

¿De qué localidades reciben residuos? _____ Localidades de Zacualpan, EdoMéx

¿Cuál es el área total del sitio? _____ ¿Cuál es el área disponible para la disposición final de residuos? _____

¿Cuál es el área ocupada actualmente por residuos dispuestos? _____ Fecha: _____

¿En qué año se inició la disposición final? ____ se estima que más de 13 años atrás ____

¿En qué año estiman terminará la disposición final? _____

¿Cuál es el volumen estimado disponible del sitio para disposición de residuos? Información no proporcionada

¿Cuál es la vida útil estimada? _____

¿Hay pepenadores en el sitio de disposición final? Si _____ No. Mujeres _____ No. Hombres _____

No. niñas ____ 0 ____ No. niños ____ 0 ____

Si el personal que labora en el SDF cuenta con equipo de protección personal, describa ____ Guantes, cubrebocas y gorras ____

ANEXO D. TABLA DE VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
6. Especificaciones para la selección del sitio						
6.1 Restricciones para la ubicación del sitio (Aplica para los sitios A, B, C y D)						
¿El sitio se ubica a una distancia igual o mayor a 13 km de un aeródromo o un aeropuerto?	6.1.1	X				1
¿La distancia elegida se determinó mediante un estudio de riesgo aviario? Nota: si el sitio se encuentra a 13 km o más, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
¿El sitio se ubica fuera de un área natural protegida?	6.1.2	X				1
¿El plan de manejo del área protegida contempla un sitio de disposición? Nota: si el sitio se encuentra fuera de un área protegida, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
Para localidades mayores a 2500 habitantes ¿El límite del sitio de disposición final está a una distancia mínima de 500 m, contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano?	6.1.3	X				1
¿El sitio se ubica fuera de zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas?	6.1.4	X				1
¿El sitio se ubica fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años?	6.1.5	X				1
En caso de estar dentro de zonas de inundación ¿Se demuestra que no existe obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integran el sitio? Nota: si el sitio se encuentra fuera de zonas de inundación, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
¿El sitio se ubica al menos a 500 m con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas?	6.1.6	X				1
¿El sitio se ubica a mínimo 100 m adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, con respecto a pozos de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados?	6.1.7	X				1
En caso de que no se pueda determinar el cono de abatimiento ¿La distancia al pozo es mayor a 500 m? Nota: si se conoce el cono de abatimiento, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 6.1.1 al 6.1.7?	Nota: La puntuación máxima para todo tipo de SDF es 7					7

ANEXO D. TABLA DE VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
6.2 Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio (solo aplica al SDF tipo A)						
6.2.1 Estudio geológico regional						
¿El marco geológico regional comprende la descripción estratigráfica, su geometría y distribución e identificación de discontinuidades (fallas y fracturas)?	6.2.1			X		0
6.2.2 Estudio hidrogeológico regional						
¿Se cuenta con evidencias de la ubicación de agua subterránea (manantiales, pozos y norias), en la zona de influencia para conocer el gradiente hidráulico?	a) Evidencias y usos del agua subterránea			X		0
¿Se cuenta con el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio? Nota: si no se cuenta con evidencias de la ubicación de agua subterránea, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
¿Se tienen identificadas las unidades hidrogeológicas y la relación entre ellas que definen el sistema acuífero?	b) Identificación del tipo de acuífero			X		0
¿Se tiene identificado el tipo de acuífero (confinado o semiconfinado) de la región? Nota: si no identifican las unidades hidrogeológicas y la relación entre ellas, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
¿Se tiene determinada la dirección del flujo subterráneo regional? Nota: si no identifican las unidades hidrogeológicas y la relación entre ellas, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación	c) Análisis del sistema de flujo			X		0
6.3 Estudios y análisis, en el sitio, previos a la construcción y operación de un sitio de disposición final.						
¿Se cuenta con un estudio topográfico que incluya planimetría y altimetría a detalle del sitio seleccionado?	a) Estudio topográfico (aplica para tipo A, B y C)		X			0
b) Estudio geotécnico (aplica para tipo A, B y C)						
¿Se ha realizado la exploración y el muestreo de suelo del lugar donde se localiza el SDF?	b.1 Exploración y muestreo		X			0
¿Se cuenta con los resultados del análisis de permeabilidad de campo y peso volumétrica <i>in situ</i> ?			X			0
¿La clasificación de muestras se realizó según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos?	b.2 Estudios en laboratorio		X			0
¿Se tienen los resultados de: análisis granulométrico, permeabilidad, prueba Proctor, límites de Atterberg, consolidación unidimensional, ¿análisis de resistencia al esfuerzo cortante y humedad?			X			0
¿Se cuenta con los resultados de los análisis de estabilidad de taludes de las obras de terracería correspondientes?			X			0

ANEXO D. TABLA DE VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM- 083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
c) Evaluación geológica (aplica para tipo A y B)						
¿Se cuenta con la litología de los materiales, geometría, distribución y presencia de fracturas y fallas geológicas en el sitio?	c.1			X		0
¿Se cuenta con las características estratigráficas del sitio?	c.2			X		0
d) Evaluación hidrogeológica (aplica para tipo A y B)						
¿Se tienen determinados los parámetros hidráulicos, dirección del flujo subterráneo, características físicas, químicas y biológicas del agua?	d.1			X		0
¿Se tienen determinadas las unidades hidrogeológicas que componen el subsuelo y las características que las identifican (espesor y permeabilidad)?	d.2			X		0
6.4 Estudios de generación y composición						
¿Se cuenta con los estudios de generación de RSU y RME de la población por servir, con proyección para al menos la vida útil del SDF?	a) aplica para tipo A, B y C		X			0
¿Se cuenta con los estudios de composición de los RSU y RME de la población por servir?			X			0
¿Se cuenta con la estimación de la cantidad de generación esperada de biogás en el SDF?	b) aplica para tipo A y B			X		0
¿La estimación de la generación esperada de biogás comprende la composición química de los residuos dispuestos en el SDF?				X		0
¿Se tiene la cuantificación del lixiviado mediante algún balance hídrico?	c) aplica para tipo A y B			X		0
6.5 Cumplimiento de estudios y análisis previos conforme a Tabla 2 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 que corresponde a la Tabla 3.1 en este manual.						
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 6.2 a 6.5?	Nota: La puntuación máxima con respecto al tipo de SDF es: A=21, B=15 y C=8					0
7. Características constructivas y operativas del SDF (Proyecto ejecutivo para tipo A, B y C)						
¿El SDF cuenta con una barrera geológica natural o equivalente a un espesor de 1 m y un coeficiente de conductividad hidráulica de al menos 1x10 ⁻⁷ cm/s sobre la zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final?	7.1 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
¿La zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final cuenta con un sistema de impermeabilización equivalente, que garantice un coeficiente de conductividad hidráulica de al menos 1x10 ⁻⁷ cm/s? Nota: si se cuenta con barrera geológica natural, marcar “No aplica” y colocar 0 en puntuación			X			0

ANEXO D. TABLA DE VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)												
¿Se garantiza la extracción, captación, conducción y control del biogás generado en el SDF?	7.2 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0												
¿Se cuenta con un sistema de aprovechamiento de biogás que evite que el CH ₄ se emita a la atmosfera?			X			0												
¿Se realiza el quemado del biogás generado a través de pozos individuales o mediante una red con quemadores centrales? Nota: si se cuenta con un sistema de aprovechamiento de biogás, marcar “No aplica” y colocar 0 en puntuación			X			0												
¿Cuenta con un sistema que garantice la captación y extracción del lixiviado generado en el SDF?	7.3 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0												
¿El lixiviado se recircula en las celdas de los RSU confinados en función de los requerimientos de humedad, es tratado o una combinación de ambos?			X			0												
¿Se cuenta con el diseño de un drenaje pluvial para el desvío de escurrimientos pluviales y el desalojo del agua de lluvia?	7.4 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0												
¿El SDF cuenta con un área de emergencia para la recepción de RSU y RME, cuando una eventualidad, desastre natural o emergencia de cualquier orden no permita la operación en el frente de trabajo?	7.5 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0												
¿El área de emergencia proporciona la misma seguridad ambiental y sanitaria que las celdas de operación ordinarias?	7.5 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0												
De acuerdo con la Tabla No. 3 de la NOM-083, ¿se alcanzan los niveles mínimos de Compacción?	7.6 (Aplica para sitios tipo A, B y C)					0												
<table><tr><td>TIP O DE SDF</td><td>RECEPCI ON DE RSU (t/día)</td><td>COMPAC-TACIÓN (kg/m³)</td></tr><tr><td>A</td><td>> 750 (A1) 100 a 750 (A2)</td><td>> 700 > 600</td></tr><tr><td>B</td><td>50 a 100</td><td>> 500</td></tr><tr><td>C</td><td>10 a 50</td><td>> 400</td></tr></table>		TIP O DE SDF	RECEPCI ON DE RSU (t/día)	COMPAC-TACIÓN (kg/m³)	A		> 750 (A1) 100 a 750 (A2)	> 700 > 600	B	50 a 100	> 500	C	10 a 50	> 400				
TIP O DE SDF		RECEPCI ON DE RSU (t/día)	COMPAC-TACIÓN (kg/m³)															
A		> 750 (A1) 100 a 750 (A2)	> 700 > 600															
B	50 a 100	> 500																
C	10 a 50	> 400																
¿Los residuos son cubiertos en forma continua y dentro de un lapso menor a 24 h posteriores a su depósito?	7.7 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0												
¿Con la cobertura de los RSU, se controla la dispersión de materiales ligeros, la fauna nociva y la infiltración pluvial?			X			0												

ANEXO D. TABLA DE VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
¿Se cuenta con medidas para evitar la admisión de aguas residuales, líquidos industriales de proceso y lodos con más del 85% de humedad base húmeda?	7.8 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
¿Se cuenta con medidas para no permitir el ingreso de aceites minerales?			X			0
¿Se cuenta con medidas para no permitir el ingreso de RP de acuerdo con la normatividad vigente?			X			0
¿Los lodos deshidratados admitidos, son tratados o acondicionados, previo a su disposición final conforme a la normatividad vigente?	7.8.1 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
Caminos de acceso adecuados, delimitados y bien (aplica para sitios tipo A, B y C)	7.9 ¿El SDF cuenta con estas áreas complementarias?	X				1
Caminos interiores adecuados, delimitados y bien (aplica para sitios tipo A y B)		X				1
Cerca perimetral (aplica para sitios tipo A, B y C)			X			0
Caseta de vigilancia y control de acceso (aplica para sitios tipo A, B y C)			X			0
Bascula (aplica para sitios tipo A y B)			X			0
Agua potable, electricidad y drenaje (aplica para sitios tipo A y B)				X		0
Vestidores y servicios sanitarios (aplica para sitios tipo A, B y C)			X			0
Franja de amortiguamiento (Mínimo 10 metros) (aplica para sitios tipo A, B y C)			X			0
Oficinas (aplica para sitios tipo A)				X		0
Servicio médico y seguridad personal (aplica para sitios tipo A)				X		
7.10 El sitio de disposición final deberá contar con:						
Dispositivos de control de accesos para: personal, vehículos, materiales, RP (prohibición de ingreso) y radiactivos o inaceptables	a) ¿El SDF cuenta con un manual de operación y comprende todos estos puntos? (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
Método de registro de tipo y cantidad de RSU y RME ingresados			X			0
Cronogramas de operación			X			0
Programas específicos de control de calidad, mantenimiento y monitoreo ambiental de biogás, lixiviados y acuíferos			X			0
Dispositivos de seguridad y planes de contingencia para: incendios, explosiones, sismos, fenómenos meteorológicos y manejo de lixiviados, sustancias reactivas, explosivas e inflamables.			X			0
Procedimientos de operación			X			0
Perfil de puestos			X			0
Reglamento interno			X			0

ANEXO D. TABLA DE VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
Ingreso de RSU, RME, materiales, vehículos, personal y visitantes	b) ¿El SDF cuenta con Control de registros para estos puntos? (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
Secuencia de llenado del sitio de disposición final			X			0
Generación y manejo de lixiviados y biogás			X			0
Contingencias			X			0
¿El SDF cuenta con un informe mensual de actividades?	c) (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
¿Se tiene instrumentado un programa para la medición y control de los impactos ambientales?	7.11 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
¿Se tiene instrumentado un programa de monitoreo ambiental para el SDF?			X			0
¿Se conservan y mantienen los registros correspondientes a los programas?			X			0
¿Se tiene un programa de monitoreo de biogás que contenga objetivo, grado de estabilización de los residuos, detección de migraciones fuera del predio, parámetros de composición, explosividad y flujo?	7.11.1 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
¿Se tiene un programa de monitoreo del lixiviado que contenga: objetivo, Potencial de Hidrogeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), ¿Demanda Química de Oxígeno (DQO) y metales pesados?	7.11.2 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
¿Se tiene programas de monitoreo de acuíferos, con pozos de muestreo, al menos uno aguas arriba y otras aguas abajo del SDF?	7.11.3 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
Para el diseño de pozos de muestreo se consideraron: gradientes superior y descendente hidráulico, variaciones naturales del flujo del acuífero, variaciones estacionales del flujo del acuífero, calidad del agua antes y después del establecimiento del sitio de disposición final (la calidad de referencia estará definida por las características del agua nativa)			X			0
Si se realiza separación de RSU en el SDF ¿Se afecta el cumplimiento de las especificaciones de operación de esta norma, de manera que son un riesgo para las personas que la realizan?	7.12 (Aplica para sitios tipo A, B y C)		X			0
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 7.1 al 7.12	Nota: La puntuación máxima con respecto al tipo de SDF es: A=46, B=44 y C=41					3

ANEXO D. TABLA DE VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
8. Requisitos mínimos que deben cumplir los Sitios de Disposición Final de los RSU y RME, tipo D (menos de 10 t/día)						
¿Se garantiza un coeficiente de conductividad hidráulica de 1x10 ⁻⁵ cm/s, con un espesor mínimo de un metro, o su equivalente, por condiciones naturales del terreno, o bien, mediante la impermeabilización del sitio con barreras naturales o artificiales?	8.1			X		0
¿Se cuenta con una compactación mínima de los residuos dispuestos de 300 kg/m ³ ?	8.2			X		0
¿Se realiza la cobertura de los residuos por lo menos cada semana?	8.3			X		0
¿Se evita el ingreso de los RP en general?	8.4			X		0
¿Se controla la fauna nociva y evita el ingreso de animales?	8.5			X		0
¿Se cuenta con cerca en la totalidad el SDF?	8.6			X		0
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 8?1 al 8.6?	Nota: La puntuación máxima del SDF tipo D es 6					NA
9. Clausura del sitio (aplica a sitio A, B, C y D)						
¿La cobertura final de clausura aísla los residuos, minimiza la infiltración de los líquidos en las celdas, controla el flujo del biogás generado, minimiza la erosión y brinda un drenaje adecuado?	9.1 Cobertura final de clausura		X			0
¿Las áreas que tienen una extensión de más de dos hectáreas, cuando alcanzan su altura final, son cubiertas conforme al avance de los trabajos y el diseño específico del SDF?			X			0
¿La conformación final del SDF contempla las restricciones relacionadas con el uso del sitio, estabilidad de taludes y límites del predio?	9.2 Conformación final del sitio		X			0
¿La conformación final del SDF contempla características de la cobertura final de clausura, los drenajes superficiales y la infraestructura para el control del lixiviado y biogás?			X			0
¿Se tiene y opera un programa de mantenimiento posclausura para todas las instalaciones del SDF, por un periodo de al menos 20 años?	9.3 Mantenimiento		X			0
¿El programa incluye el mantenimiento de la cobertura final de clausura, para reparar grietas y hundimientos provocados por la degradación de los RSU y RME, así como los daños ocasionados por erosión (escurrimientos pluviales y viento)?			X			0
¿Se tiene y opera un programa de monitoreo por un periodo de al menos 20 años, para detectar condiciones inaceptables de riesgo al ambiente, por la emisión de biogás y generación de lixiviado?	9.4 Programa de monitoreo		X			0

ANEXO D. TABLA DE VERIFICACIÓN DE ZACUALPAN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
¿El uso final del SDF es acorde con el uso del suelo aprobado por la autoridad competente, con las restricciones inherentes de baja capacidad de carga, posibilidad de hundimientos diferenciales y presencia de biogás?	9.5 Uso final del SDF		X			0
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 9?1 al 9.5?	Nota: La puntuación máxima para todo tipo de SDF es 8					0

ANEXO E. INFORMACIÓN GENERAL PARA VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN

Nombre del SDF: Tiradero "Rancho del municipio"
 Dirección del SDF: Comunidad de San Antonio el Viejo
 Coordenadas geográficas: 20.201935, -99.801273
 Municipio: Polotitlán Estado: México
 Teléfono: 01(427) 2660683 Correo Electrónico: mpiopolotitlan@gmail.com
 Nombre de la(s) persona(s) que apoyó(aron) en el llenado de la Tabla de Verificación (TV) por parte del municipio: Dra. María del Consuelo Hernández Berriel, MIC. Iris Margarita Pérez Palacios, Dra. María de la Luz Jiménez Núñez, MC. Sergio Omar López Gasca
 Cargo / puesto: Profesora Investigadora/ investigadores en formación del Instituto Tecnológico de Toluca
 Dirección: Portal Hidalgo # 7 Col. Centro, Polotitlán, Estado de México
 Teléfono: 01(427) 2660683 Correo Electrónico: mpiopolotitlan@gmail.com
 Nombre(s) de la(s) persona(s) evaluadora(s) que realizó (ron) el llenado de la Tabla de Verificación: L.Q. Roberto Ruiz Sánchez
 Cargo / puesto: Director de Medio Ambiente
 Responsable de la evaluación del Proyecto: Dra. María del Consuelo Hernández Berriel
 Dirección: Ave. Tecnológico 100 s/n. Colonia Agrícola, Bellavista, La Virgen, 52149 Metepec, Méx.
 Teléfono: 7222087224 correo electrónico: mhernandezb@toluca.tecnm.mx
 Disposiciones Generales del sitio de disposición final
 ¿Qué tipo de residuos reciben: residuos sólidos urbanos (RSU), de manejo especial (RME), ¿peligrosos (RP) y u otros?:
 RSU
 ¿Qué cantidad diaria de residuos depositan? 9 t / día Marcar el tipo:
 ¿De qué localidades reciben residuos? Localidades de Polotitlán EdoMéx.
 ¿Cuál es el área total del sitio? 2 ha ¿Cuál es el área disponible para la disposición final de residuos? 2 ha
 ¿Cuál es el área ocupada actualmente por residuos dispuestos? estimada en 52 000 m²
 ¿En qué año se inició la disposición final? Desconocido
 ¿En qué año estiman terminará la disposición final? No hay estimaciones
 ¿Cuál es el volumen estimado disponible del sitio para disposición de residuos? No proporcionada
 ¿Cuál es la vida útil estimada? 22 años
 ¿Hay pepenadores en el sitio de disposición final? Si No. Mujeres: 1 No. Hombres: 3 No. niñas 1 No. niños
 Si el personal que labora en el SDF cuenta con equipo de protección personal, describa

Tipo	TON/DÍA
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
C	10 menor a 50
D	Menor a 10

ANEXO F. TABLA DE VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
6. Especificaciones para la selección del sitio						
6.1 Restricciones para la ubicación del sitio (Aplica para los sitios A, B, C y D)						
¿El sitio se ubica a una distancia igual o mayor a 13 km de un aeródromo o un aeropuerto?	6.1.1	X				1
¿La distancia elegida se determinó mediante un estudio de riesgo aviario? Nota: si el sitio se encuentra a 13 km o más, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
¿El sitio se ubica fuera de un área natural protegida?	6.1.2		X			0
¿El plan de manejo del área protegida contempla un sitio de disposición? Nota: si el sitio se encuentra fuera de un área protegida, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
Para localidades mayores a 2500 habitantes ¿El límite del sitio de disposición final está a una distancia mínima de 500 m, contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano?	6.1.3	X				1
¿El sitio se ubica fuera de zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas?	6.1.4	X				1
¿El sitio se ubica fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años?	6.1.5	X				1
En caso de estar dentro de zonas de inundación ¿Se demuestra que no existe obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integran el sitio? Nota: si el sitio se encuentra fuera de zonas de inundación, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
¿El sitio se ubica al menos a 500 m con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas?	6.1.6		X			0
¿El sitio se ubica a mínimo 100 m adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento, con respecto a pozos de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados?	6.1.7			X		0
En caso de que no se pueda determinar el cono de abatimiento ¿La distancia al pozo es mayor a 500 m? Nota: si se conoce el cono de abatimiento, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación		X				1
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 6.1.1 al 6.1.7?	Nota: La puntuación máxima para todo tipo de SDF es 7					5

ANEXO F. TABLA DE VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
6.2 Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio (solo aplica al SDF tipo A)						
6.2.1 Estudio geológico regional						
¿El marco geológico regional comprende la descripción estratigráfica, su geometría y distribución e identificación de discontinuidades (fallas y fracturas)?	6.2.1			X		0
6.2.2 Estudio hidrogeológico regional						
¿Se cuenta con evidencias de la ubicación de agua subterránea (manantiales, pozos y norias), en la zona de influencia para conocer el gradiente hidráulico?	a) Evidencias y usos del agua subterránea			X		0
¿Se cuenta con el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio? Nota: si no se cuenta con evidencias de la ubicación de agua subterránea, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
¿Se tienen identificadas las unidades hidrogeológicas y la relación entre ellas que definen el sistema acuífero?	b) Identificación del tipo de acuífero			X		0
¿Se tiene identificado el tipo de acuífero (confinado o semiconfinado) de la región? Nota: si no identifican las unidades hidrogeológicas y la relación entre ellas, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación				X		0
¿Se tiene determinada la dirección del flujo subterráneo regional? Nota: si no identifican las unidades hidrogeológicas y la relación entre ellas, marcar "No aplica" y colocar 0 en puntuación	c) Análisis del sistema de flujo			X		0
6.3 Estudios y análisis en el sitio, previos a la construcción y operación de un sitio de disposición final.						
¿Se cuenta con un estudio topográfico que incluya planimetría y altimetría a detalle del sitio seleccionado?	a) Estudio topográfico (aplica para tipo A, B y C)			X		0
b) Estudio geotécnico (aplica para tipo A, B y C)						
¿Se ha realizado la exploración y el muestreo de suelo del lugar donde se localiza el SDF?	b.1 Exploración y muestreo			X		0
¿Se cuenta con los resultados del análisis de permeabilidad de campo y peso volumétrica <i>in situ</i> ?				X		0
¿La clasificación de muestras se realizó según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos?	b.2 Estudios en laboratorio			X		0
¿Se tienen los resultados de: análisis granulométrico, permeabilidad, prueba Proctor, límites de Atterberg, consolidación unidimensional, análisis de resistencia al esfuerzo cortante y humedad?				X		0
¿Se cuenta con los resultados de los análisis de estabilidad de taludes de las obras de terracería correspondientes?				X		0

ANEXO F. TABLA DE VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
c) Evaluación geológica (aplica para tipo A y B)						
¿El marco geológico regional comprende la descripción estratigráfica, su geometría y distribución e identificación de discontinuidades (fallas y fracturas)?	c.1			X		0
¿Se cuenta con las características estratigráficas del sitio?	c.2			X		0
d) Evaluación hidrogeológica (aplica para tipo A y B)						
¿Se tienen determinados los parámetros hidráulicos, dirección del flujo subterráneo, características físicas, químicas y biológicas del agua?	d.1			X		0
¿Se tienen determinadas las unidades hidrogeológicas que componen el subsuelo y las características que las identifican (espesor y permeabilidad)?	d.2			X		0
6.4 Estudios de generación y composición						
¿Se cuenta con los estudios de generación de RSU y RME de la población por servir, con proyección para al menos la vida útil del SDF?	a) aplica para tipo A, B y C			X		0
¿Se cuenta con los estudios de composición de los RSU y RME de la población por servir?				X		0
¿Se cuenta con la estimación de la cantidad de generación esperada de biogás en el SDF?	b) aplica para tipo A y B			X		0
¿La estimación de la generación esperada de biogás comprende la composición química de los residuos dispuestos en el SDF?				X		0
¿Se tiene la cuantificación del lixiviado mediante algún balance hídrico?	c) aplica para tipo A y B			X		0
6.5 Cumplimiento de estudios y análisis previos conforme a Tabla 2 de la NOM-083-SEMARNAT-2003 que corresponde a la Tabla 3.1 en este manual.						
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 6.2 a 6.5?	Nota: La puntuación máxima con respecto al tipo de SDF es: A=21, B=15 y C=8					0
7. Características constructivas y operativas del SDF (Proyecto ejecutivo para tipo A, B y C)						
¿El SDF cuenta con una barrera geológica natural o equivalente a un espesor de 1 m y un coeficiente de conductividad hidráulica de al menos 1x10-7 cm/s sobre la zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final?	7.1 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
¿La zona destinada al establecimiento de las celdas de disposición final cuenta con un sistema de impermeabilización equivalente, que garantice un coeficiente de conductividad hidráulica de al menos 1x10-7 cm/s? Nota: si se cuenta con barrera geológica natural, marcar “No aplica” y colocar 0 en puntuación				X		0

ANEXO F. TABLA DE VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)		
¿Se garantiza la extracción, captación, conducción y control del biogás generado en el SDF?	7.2 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0		
¿Se cuenta con un sistema de aprovechamiento de biogás que evite que el CH4 se emita a la atmosfera?				X		0		
¿Se realiza el quemado del biogás generado a través de pozos individuales o mediante una red con quemadores centrales? Nota: si se cuenta con un sistema de aprovechamiento de biogás, marcar “No aplica” y colocar 0 en puntuación				X		0		
¿Cuenta con un sistema que garantice la captación y extracción del lixiviado generado en el SDF?	7.3 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0		
¿El lixiviado se recircula en las celdas de los RSU confinados en función de los requerimientos de humedad, es tratado o una combinación de ambos?				X		0		
¿Se cuenta con el diseño de un drenaje pluvial para el desvío de escurrimientos pluviales y el desalojo del agua de lluvia?	7.4 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0		
¿El SDF cuenta con un área de emergencia para la recepción de RSU y RME, cuando una eventualidad, desastre natural o emergencia de cualquier orden no permita la operación en el frente de trabajo?	7.5 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0		
¿El área de emergencia proporciona la misma seguridad ambiental y sanitaria que las celdas de operación ordinarias?				X		0		
De acuerdo con la Tabla No. 3 de la NOM-083, ¿se alcanzan los niveles mínimos de compactación?	7.6 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0		
TIPO DE SDF							RECEPCION DE RSU (t/día)	COMPACTACIÓN (kg/m3)
A							> 750 (A1) 100 a 750 (A2)	> 700 > 600
B							50 a 100	> 500
C							10 a 50	> 400
.								
¿Los residuos son cubiertos en forma continua y dentro de un lapso menor a 24 h posteriores a su depósito?	7.7 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0		
¿Con la cobertura de los RSU, se controla la dispersión de materiales ligeros, la fauna nociva y la infiltración pluvial?				X		0		

ANEXO F. TABLA DE VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
¿Se garantiza la extracción, captación, conducción y control del biogás generado en el SDF?	7.8 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
¿Se cuenta con medidas para no permitir el ingreso de aceites minerales?				X		0
¿Se cuenta con medidas para no permitir el ingreso de RP de acuerdo con la normatividad vigente?				X		0
¿Los lodos deshidratados admitidos, son tratados o acondicionados, previo a su disposición final conforme a la normatividad vigente?	7.8.1 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
Caminos de acceso adecuados, delimitados y bien (aplica para sitios tipo A, B y C)	7.9 ¿El SDF cuenta con estas áreas complementarias?			X		0
Caminos interiores adecuados, delimitados y bien (aplica para sitios tipo A y B)				X		0
Cerca perimetral (aplica para sitios tipo A, B y C)				X		0
Caseta de vigilancia y control de acceso (aplica para sitios tipo A, B y C)				X		0
Bascula (aplica para sitios tipo A y B)				X		0
Agua potable, electricidad y drenaje (aplica para sitios tipo A y B)				X		0
Vestidores y servicios sanitarios (aplica para sitios tipo A, B y C)				X		0
Franja de amortiguamiento (Mínimo 10 metros) (aplica para sitios tipo A, B y C)				X		0
Oficinas (aplica para sitios tipo A)				X		0
Servicio médico y seguridad personal (aplica para sitios tipo A)				X		0
7.10 El sitio de disposición final deberá contar con:						
Dispositivos de control de accesos para: personal, vehículos, materiales, RP (prohibición de ingreso) y radiactivos o inaceptables	a) ¿El SDF cuenta con un manual de operación y comprende todos estos puntos? (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
Método de registro de tipo y cantidad de RSU y RME ingresados				X		0
Cronogramas de operación				X		0
Programas específicos de control de calidad, mantenimiento y monitoreo ambiental de biogás, lixiviados y acuíferos				X		0
Dispositivos de seguridad y planes de contingencia para: incendios, explosiones, sismos, fenómenos meteorológicos y manejo de lixiviados, sustancias reactivas, explosivas e inflamables.				X		0
Procedimientos de operación				X		0
Perfil de puestos				X		0
Reglamento interno				X		0

ANEXO F. TABLA DE VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
Ingreso de RSU, RME, materiales, vehículos, personal y visitantes	b) ¿El SDF cuenta con Control de registros para estos puntos? (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
Secuencia de llenado del sitio de disposición final				X		0
Generación y manejo de lixiviados y biogás				X		0
Contingencias				X		0
¿El SDF cuenta con un informe mensual de actividades?	c) (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
¿Se tiene instrumentado un programa para la medición y control de los impactos ambientales?	7.11 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
¿Se tiene instrumentado un programa de monitoreo ambiental para el SDF?				X		0
¿Se conservan y mantienen los registros correspondientes a los programas?				X		0
¿Se tiene un programa de monitoreo de biogás que contenga objetivo, grado de estabilización de los residuos, detección de migraciones fuera del predio, parámetros de composición, explosividad y flujo?	7.11.1 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
¿Se tiene un programa de monitoreo del lixiviado que contenga: objetivo, Potencial de Hidrogeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y metales pesados?	7.11.2 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
¿Se tiene programas de monitoreo de acuíferos, con pozos de muestreo, al menos uno aguas arriba y otro aguas abajo del SDF?	7.11.3 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
Para el diseño de pozos de muestreo se consideraron: gradientes superior y descendente hidráulico, variaciones naturales del flujo del acuífero, variaciones estacionales del flujo del acuífero, calidad del agua antes y después del establecimiento del sitio de disposición final (la calidad de referencia estará definida por las características del agua nativa)				X		0
Si se realiza separación de RSU en el SDF ¿Se afecta el cumplimiento de las especificaciones de operación de esta norma, de manera que son un riesgo para las personas que la realizan?	7.12 (Aplica para sitios tipo A, B y C)			X		0
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 7.1 al 7.12?	Nota: La puntuación máxima con respecto al tipo de SDF es: A=46, B=44 y C=41					0

ANEXO F. TABLA DE VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
8. Requisitos mínimos que deben cumplir los Sitios de Disposición Final de los RSU y RME, tipo D (menos de 10 t/día)						
¿Se garantiza un coeficiente de conductividad hidráulica de 1x10-5 cm/s, con un espesor mínimo de un metro, o su equivalente, por condiciones naturales del terreno, o bien, mediante la impermeabilización del sitio con barreras naturales o artificiales?	8.1		X			0
¿Se cuenta con una compactación mínima de los residuos dispuestos de 300 kg/m3?	8.2		X			0
¿Se realiza la cobertura de los residuos por lo menos cada semana?	8.3		X			0
¿Se evita el ingreso de los RP en general?	8.4	X				1
¿Se controla la fauna nociva y evita el ingreso de animales?	8.5		X			0
¿Se cuenta con cerca en la totalidad el SDF?	8.6		X			0
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 8.1 al 8.6?	Nota: La puntuación máxima del SDF tipo D es 6					1
9. Clausura del sitio (aplica a sitio A, B, C y D)						
¿La cobertura final de clausura aísla los residuos, minimiza la infiltración de los líquidos en las celdas, controla el flujo del biogás generado, minimiza la erosión y brinda un drenaje adecuado?	9.1 Cobertura final de clausura			X		0
¿Las áreas que tienen una extensión de más de dos hectáreas, cuando alcanzan su altura final, son cubiertas conforme al avance de los trabajos y el diseño específico del SDF?				X		0
¿La conformación final del SDF contempla las restricciones relacionadas con el uso del sitio, estabilidad de taludes y límites del predio?	9.2 Conformación final del sitio			X		0
¿La conformación final del SDF contempla características de la cobertura final de clausura, los drenajes superficiales y la infraestructura para el control del lixiviado y biogás?				X		0
¿Se tiene y opera un programa de mantenimiento posclausura para todas las instalaciones del SDF, por un periodo de al menos 20 años?	9.3 Mantenimiento		X			0
¿El programa incluye el mantenimiento de la cobertura final de clausura, para reparar grietas y hundimientos provocados por la degradación de los RSU y RME, así como los daños ocasionados por erosión (escurrimientos pluviales y viento)?				X		0
¿Se tiene y opera un programa de monitoreo por un periodo de al menos 20 años, para detectar condiciones inaceptables de riesgo al ambiente, por la emisión de biogás y generación de lixiviado?	9.4 Programa de monitoreo		X			0

ANEXO F. TABLA DE VERIFICACIÓN DE POLOTITLÁN (continuación)

Requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Numeral	Cumple	No Cumple	No Aplica	Indicar como se da cumplimiento o no para cada punto de la NOM-083-SEMARNAT-2003	Puntuación (1/0)
¿El uso final del SDF es acorde con el uso del suelo aprobado por la autoridad competente, con las restricciones inherentes de baja capacidad de carga, posibilidad de hundimientos diferenciales y presencia de biogás?	9.5 Uso final del SDF			X		0
¿Qué grado de cumplimiento se tiene para los puntos de los apartados 9.1 al 9.5?	Nota: La puntuación máxima para todo tipo de SDF es 8					0

ANEXO G. MATRIZ DE LEOPOLD DEL SDF DE ZACUALPAN

MATRIZ DE LEOPOLD			ACTIVIDADES DE LA DISPOSICION DE RSU EN TCA														AFECTACIONES				NIV. DE SIG.					
Leyenda																										
MAGNITUD																										
IMPORTANCIA																										
Magnitud: Intensidad del impacto que se puede ocasionar, siendo su valor máximo de 10 y mínimo 0																										
Importancia: Escala del impacto (local, regional, etc.), siendo su valor máximo de 10 y mínimo 0. No tiene signo																										
Agregación de impactos determinado conforme a sección 2,5,2 y nivel de significado respecto																										
CATEGORIA			ATRIBUTO																							
COMPONENTES BIOTICOS	SUELO	Calidad del suelo	-4	-2	-8	2			-5	2	-5	4	-9	5	-5	2	0	6	6	-93			3.9			
		Cambio de uso de suelo	-4	-2	-8	5			-5	5	-6	5	-9	8	-5	2	0	6	6	-169			5.3			
		Estabilidad del suelo	-4	-2	-6	3			-6	6	-6	5	-9	8	-5	2	0	6	6	-158			5.1			
	AGUA	Subterránea															0	1	1	-72			8.5			
		Calidad de agua	-2	4	-5	5			-4	4			-9	8	-2	2	0	5	5	-125			5.0			
	ATMOSFERA	Material particulado	-5	4	-4	2			-5	4	-5	5			-5	4	0	5	5	-93			4.3			
		Ruidos	-4	1					-4	1					-4	1	0	2	2	-12		2.4				
		Gases	-2	1	-6	8			-4	1	-8	8			-4	5	0	5	5	-138			5.3			
		Olores	-2	1	-6	5			-2	1	-5	5			-2	4	0	5	5	-67			3.7			
	FLORA	Productos agrícolas (Maíz)															0	0	0	0						
		Remoción de cobertura vegetal	-5	3	-6	3			-4	2	-8	4	-9	8	-4	5	0	5	5	-165			5.7			
	FAUNA	Ahuyentamiento de especies nativas	-5	5	-5	5			-4	2	-5	5	-9	5	-5	5	0	5	5	-153			5.5			
		Proliferación de nuevas especies			-9	5			-4	2					-4	5	0	2	2	-73			6.0			
COMPONENTES SOCIOECONOMICOS	ESTETICA	Vistas escénicas y panorámicas	-4	1	-6	2			5	2			-4	5	-5	2	1	3	4	-36			3.0			
		Calidad de espacio abierto	-4	4	-6	5			5	2	-5	5	-6	5	-4	2	1	4	5	-99			4.4			
		Parques y reservas forestales																0	0							
	SOCIAL	Salud poblacional y laboral	3	5	-6	8			3	2	-9	8	-8	5	-5	2	2	3	5	-149			5.5			
		Seguridad laboral	-9	2	-9	5			-2	2	-9	2	-8	5	-5	2	0	5	5	-135			5.2			
	ECONOMICO	Calidad de vida	-2	4	-2	4			-2	4	-2	4	-2	4	-2	2	0	4	4	-44			3.3			
		Ingresos económicos adicionales	-5	5	-5	5											0	2	2	-50			5.0			
		Sitios de interés arqueológico cultural															0	0	0	0						
		Uso potencial del suelo	-4	5	-5	5			-4	5			-4	5	-4	2	0	4	4	-93			4.8			
		Emprendimiento productivos	-4	5	-8	5							-4	5		0	3	3	3	-80			5.2			
AFECTACIONES	AFECTACIONES POSITIVAS		1	0				3	0		0	0	0		4											
	AFECTACIONES NEGATIVAS		17	18			14	12		14	17					81										
	NUMERO DE INTERACCIONES		18	18			17	12		14	17						85									
	AGREGACION DE IMPACTOS		-148	-506			-147	-374		-628	-201									-2004						
NIV. DE SIG.	BAJO																									
	MODERADO		2.9	5.3			2.9																	4.86		
	SEVERO							5.6		6.7																
	CRITICO																									

ANEXO H. MATRIZ DE LEOPOLD DEL SDF DE POLOTITLÁN

MATRIZ DE LEOPOLD			ACTIVIDADES DE LA DISPOSICION DE RSU EN SDF										AFECTACIONES				NIV. DE SIG.					
Leyenda	MAGNITUD	IMPORTANCIA	1. Transporte y descarga	2. Disposición de RSU y RME	3. Disposición de RP	4. Compactación y cobertura	5. Manejo del biogás generado	6. Manejo de lixiviados	7. Contratación de maquinaria, personas y servicios	AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	NUMERO DE INTERACCIONES	AGREGACIÓN DE IMPACTOS	BAJO	MODERADO	SEVERO	CRITICO					
Magnitud: Intensidad del impacto que se puede ocasionar, siendo su valor máximo de 10 y mínimo de 1 Impacto positivo (+) / Impacto negativo (-) Importancia: Escala del impacto (local, regional, etc.), siendo su valor máximo de 10 y mínimo de 1 No tiene signo																						
Agregación de impactos determinado conforme a seccion 2,5,2 y nivel de significado respecto a la seccion 2,5,3 y tabla 1.4																						
	CATEGORIA	ATRIBUTO																				
COMPONENTES BIOSFISICOS	SUELO	Calidad del suelo	-5	5	-5	5				-9	7	-9	7		0	4	4	-176			6.6	
		Cambio de uso de suelo								-1	4	-8	1		0	2	2	-12	2.4			
		Estabilidad del suelo	7	2	-5	8				-9	3	-9	3		1	3	4	-80		4.5		
	AGUA	Subterránea	-5	5	-8	2				-8	9				0	3	3	-113			6.1	
		Calidad de agua	-8	7	-8	7				-8	7				0	3	3	-168			7.5	
	ATMOSFERA	Material particulado	-8	7	-8	7				-10	9	-5	7		0	4	4	-237			7.7	
		Ruidos	-5	4	-5	4									0	2	2	-40		4.5		
		Gases	-5	7	-5	7				-8	8	-5	8		0	4	4	-174			6.6	
		Olores	-5	5	-5	5				-8	8	-5	8		0	4	4	-154			6.2	
	FLORA	Productos agricolas (Maiz)	-3	4	-3	4				-5	7	-5	5		0	4	4	-84		4.6		
		Remocion de cobertura vegetal	-3	2	-5	5				-5	5	-7	4		0	4	4	-84		4.6		
	FAUNA	Ahuylamiento de especies nativas													0	0	0	0				
		Proliferacion de nuevas especies													0	0	0	0				
	COMPONENTES SOCIOECONOMICOS	ESTETICA	Vistas escenicas y panoramicas	-7	2	-7	2				-8	8			0	3	3	-92		5.5		
			Calidad de espacio abierto	-1	4	-5	5				-7	7	-7	7		0	4	4	-127			5.6
			Parques y reservas forestales													0	0	0	0			
SOCIAL		Salud poblacional y laboral	-5	5	-5	5				-7	7	-4	3		0	4	4	-111		5.3		
		Seguridad laboral													0	0	0	0				
ECONOMICO		Calidad de vida		-5	7					-5	3	-5	3		0	3	3	-65		4.7		
		Ingresos economicos adicionales		-10	3					-10	3				0	2	2	-60		5.5		
		Sitios de interes arqueologico cultural	-7	7	-5	3									0	2	2	-64			5.7	
		Uso potencial del suelo													0	0	0	0				
		Emprendimiento productivos		-10	3					-10	3				0	2	2	-60		5.5		
AFECTACIONES	AFECTACIONES POSITIVAS		1	0	0	0	0	0	0	1												
	AFECTACIONES NEFATIVAS		13	17	0	0	13	14	0	57												
	NUMERO DE INTERACCIONES		14	17	0	0	13	14	0		58											
	AGREGACION DE IMPACTOS		-338	-484	0	0	-545	-534	0		-1901											
NIV. DE SIG.	BAJO																					
	MODERADO		4.9	5.3																		
	SEVERO						6.5	6.2														
	CRITICO																					

ANEXO I. ESTANCIA EN EL RESA DE TENANGO DEL VALLE

La evaluación económica se llevó a cabo una Estancia de Investigación de dos semanas en el RESA de Tenango del Valle, EdoMéx (del 31 de octubre a 5 de noviembre y del 14 al 19 de noviembre); con la intención de observar su operación y recabar información sobre los costos implicados durante su vida útil y la clausura de la celda 1. A continuación se describen las actividades realizadas:

- a) RSU y RME: Con respecto al tratamiento y recepción de los residuos, se brindó apoyo para el acomodo de vehículos en el frente de tiro; así como el registro en una bitácora (Figura AI.1).



Figura A1.1 Registro y acomodo de vehículos que disponen en el RESA

Se tuvo acceso al registro de las toneladas vertidas por municipio en el RESA durante 15 días del mes de junio 2022 (Tabla AI. 1). Con la bitácora de la Compactadora modelo CAT 826 C (comúnmente denominada “pata de cabra”), se obtuvieron las horas trabajadas en esas mismas fechas y las toneladas esparcidas y compactadas por hora en el frente de tiro; con ello se estimó el consumo de Diesel, considerando un rendimiento de 13.2 l/h (Tabla AI. 2).

Tabla Al.1 Toneladas recibidas en el RESA de Tenango del Valle

RECEPCIÓN DE TONELADAS (T)										
FECHA	Tenango	Villa Guerrero	Joquicingo	Tenancingo	Ocuilán	Almoloya	Zumpahuacán	Tonatico	Ixtapan de la Sal	Total
01/06/2022	81.40	23.00	28.50	88.69	26.66	12.78	7.00	6.67	18.57	316.60
03/06/2022	50.68	46.00	21.00	71.79	26.33	12.78	0.00	0.00	23.24	275.15
04/06/2022	105.79	23.00	0.00	69.47	13.33	8.45	0.00	13.34	38.47	295.18
06/06/2022	105.81	46.00	28.50	94.30	0.00	17.11	15.45	6.67	57.04	370.88
08/06/2022	123.57	69.00	49.50	136.93	26.66	25.35	12.45	20.01	39.93	526.73
09/06/2022	83.39	23.00	28.50	87.46	26.66	25.35	0.00	0.00	55.37	376.39
10/06/2022	72.01	46.00	21.00	61.02	13.33	16.90	15.45	20.01	30.05	319.10
11/06/2022	71.80	46.00	0.00	30.06	13.33	0.00	0.00	13.34	21.57	196.10
13/06/2022	130.00	69.00	36.00	122.87	26.33	25.35	8.45	6.67	57.49	505.49
14/06/2022	28.90	23.00	7.50	30.06	13.33	0.00	8.45	6.67	13.12	131.03
15/06/2022	134.00	46.00	36.00	92.70	39.99	25.35	15.45	13.34	70.16	496.32

Tabla Al.2 Consumo de Compactadora modelo CAT 826 C

FECHA	HORAS TRABAJADAS	CANTIDAD DE RSU REMOVIDAS (t/h)	CONSUMO DE DIESEL (l)
01/06/2022	7.40	42.78	97.68
02/06/2022	6.40	50.08	84.48
03/06/2022	5.50	50.03	72.60
04/06/2022	5.20	56.77	68.64
05/06/2022	0.00	0.00	0.00
06/06/2022	7.90	46.95	104.28
07/06/2022	7.10	18.69	93.72
08/06/2022	5.60	94.06	73.92
09/06/2022	7.40	50.86	97.68
10/06/2022	7.00	45.59	92.40
11/06/2022	4.00	49.03	52.80
12/06/2022	0.00	0.00	0.00
13/06/2022	6.20	81.53	81.84
14/06/2022	3.90	33.60	51.48
15/06/2022	6.50	76.36	85.80

b) Lixiviados. Se realizó la toma de muestra en la laguna de lixiviados del RESA de Tenango del Valle, EdoMéx (Figura Al.2) y la determinación de los parámetros de acuerdo con las normas y métodos vigentes (Tabla Al. 3), en el Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) del Instituto Tecnológico de Toluca.



Figura A1.2 a) Punto de muestreo b) Toma de muestra en punto de muestreo

En la tabla 3.16 se listan los resultados de las caracterizaciones realizadas a los lixiviados. Los valores determinados a la muestra de lixiviados no representan en lo general un gran riesgo ambiental, debido a que la mayoría de los parámetros resultaron dentro de los máximos permisibles (LMP) de la NOM-ECOL-001-1996 (DOF, 1997).

El pH se encuentra dentro del límite máximo permitido, aunque ligeramente básico, por lo cual se debe de estar monitoreando con mayor periodicidad. Los valores de las cargas orgánicas (DQO y SVT), ST, Conductividad Eléctrica y Nitrógeno amoniacal (N-NH_3) en los lixiviados, pueden atribuirse a los residuos orgánicos, residuos de pañal, papel y cartón depositados en el SDF.

Los valores determinados para N-NH_3 y Sulfatos (SO_4^{-2}) no representan riesgo para la metanogénesis, por lo que los lixiviados podrían recircularse; especialmente en cuanto a N-NH_3 , con valores de 568 mg/L; ya que sus concentraciones son menores a las reportadas por Gerardi (2003) como inhibitorias a $\text{pH} > 7.00$ (1500-3000 mg N-NH_3 /L).

Tabla Al.3 Resultados de la caracterización de la laguna de lixiviados del RESA de Tenango del Valle, EdoMéx

PARÁMETRO	NORMA O MÉTODO	UNIDADES	LAGUNA DE LIXIVIADOS	LMP en Ríos P.D. NOM-ECOL- 1996	P.M- 001-
Temperatura "in situ"	NMX-AA-007-SCFI-2000	°C	15.4	NA-40	
pH "in situ"	NMX-AA-008-SCFI-2011	NA	8.43	5.0 A 10.0	
Conductividad Eléctrica "in situ"	NMX-AA-093-SCFI-2000	mS/cm	8.63	NA	
DQO	NMX-AA-030-SCFI-2001	mg/L	460150	NA	
ST	NMX-AA-034-SCFI-2015	mg/L	5983.33	NA	
SVT	NMX-AA-034-SCFI-2015	mg/L	3028.89	NA	
N-NH ₄	NMX-AA-026-SCFI-2001	mg/L	568.14	NA	
SO ₄ ⁻²	NMX-AA-074-SCFI-2014	mg/L	83.419	NA	

Los lixiviados son recirculados a los pozos de venteo por medio de una bomba (Figura Al.3a), desde los cárcamos a los pozos de venteo como se muestra en la figura Al.3b.

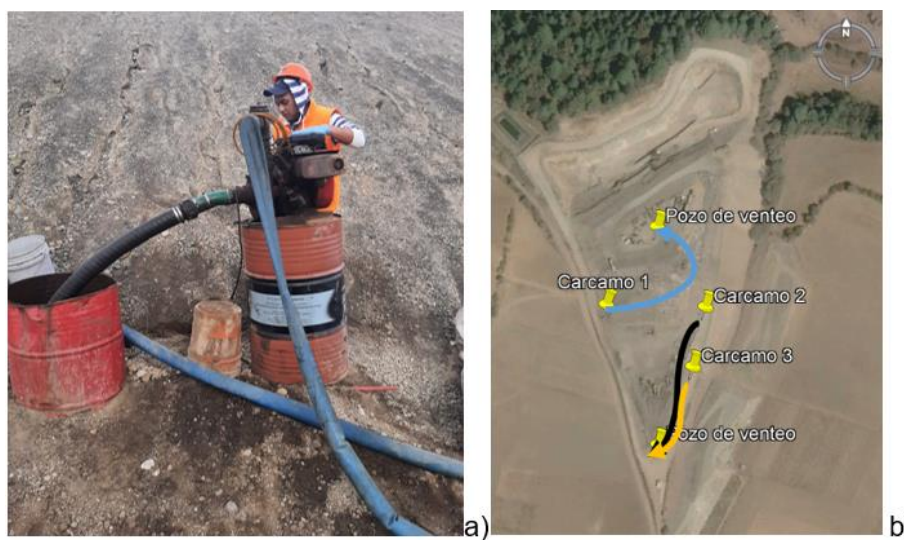


Figura Al.3 a) Extracción de lixiviados b) Recirculación de lixiviados

c) Biogás. Se realizaron mediciones de biogás en tres pozos de venteo por duplicado (Figura Al.4), para determinar la composición y el flujo del biogás generado en la celda 1 y en la celda rehabilitada (Tabla Al. 4).



Figura Al.4 Mediciones de biogás en pozos de venteo

Tabla Al.4 Resultado de caracterización de biogás

Pozo/ Celda	Metano (CH ₄)	Bióxido de carbono (CO ₂)	Oxígeno (O ₂)	Balance	Monóxido de carbono (CO)	Ácido sulfhídrico (H ₂ S)	Tempe- ratura	Flujo	Poder calorí- fico
	% mol B.S.	% mol B.S.	% mol B.S.	% mol B.S.	ppm	ppm	°C	m ³ /h	BTU
5/C ₁	53.6	45.4	0.5	0.5	0.0	225.2	41.7	30.4	162.0
6/C ₁	59.5	40.2	0.0	0.3	0.0	152.1	39.9	29.7	166
3/C _R	20.0	15.5	6.9	57.6	0.0	7.7	30.8	5.5	12.0

C₁: Celda 1; C_R: Celda Rehabilitada; ND: No Detectado; NQ: No cuantificable.

Los valores superiores al 50% de CH₄ y sus respectivas concentraciones de CO₂ en los dos pozos muestreados de la celda 1, son característicos de la biodegradación metanogénica acelerada; la cual no ha sido entorpecida por la presencia del O₂, debido a su baja concentración; en cuanto al pozo 3, sus valores son indicio de que puede encontrarse tapado, por lo que se sugiere que sea revisado.

Las concentraciones de H₂S en el biogás de los pozos 5 y 6, podrían deteriorar

sus quemadores debido a corrosión, por lo que se recomienda se supervisen periódicamente y, de ser necesario se cambien con regularidad. Este compuesto puede formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) y es altamente corrosivo, así como mezclas explosivas con el aire (ATSDR, 2022).

Durante la Estadía de Investigación se contó con el apoyo del C.P. Jesús Herrera y el Ing. Ismael Martínez, los cuales brindaron la siguiente información:

- a) Los principales factores que se deben de tomar en cuenta al momento de pretender ubicar un RESA son: voluntad municipal, capacidad de superficie y carencia de conflictos sociales.
- b) Los estudios previos requeridos por la NOM-083-SEMARNAT-2003 para los SDF tipo A tienen un costo de \$500,000 (Quinientos mil pesos 00/100 MN), sin impuestos ni utilidad.
- c) Antes de realizar una inversión, es importante contar con el informe técnico de prefactibilidad emitido por la SEMARNAT (previa solicitud de la empresa), el cual no tiene costo.
- d) Los requisitos que solicita la Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México (PROPAEM) para la remediación y clausura de un SDF son:
 - Levantamiento topográfico
 - Conducción, extracción y tratamiento de biogás
 - Conducción, extracción y tratamiento de lixiviados
 - Cerca perimetral
 - Caminos internosCabe mencionar que no solicitan la manifestación de impacto ambiental, ni un proyecto ejecutivo.
- e) El desplantado de pozos de venteo, ranurado, con piedra bola, malla electrosoldada calibre 66 de acero al carbón tiene un costo aproximado de \$50,000.00 por 6 m de altura.
- f) La instalación de ducto de lixiviado tiene un costo de \$1,200.00 (mil doscientos pesos 00/100 MN) el metro lineal.

- g) El metro lineal de cerca perimetral ya instalada tiene un costo de \$1,000.00 (mil pesos 00/100 MN).
- h) La renta de una excavadora con operador sin combustible tiene un costo de \$200,000.00 (doscientos mil pesos 00/100 MN) al mes.
- i) La renta de una Compactadora de RSU con operador, sin combustible, tiene un costo de \$250,000.00 (doscientos mil quinientos pesos 00/100 MN) al mes con turnos de 8 horas.
- j) Se necesita mínimo el ingreso de 120 t/día de RSU, para que un RESA sea rentable.

**ANEXO J. INFORME TÉCNICO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO
AMBIENTAL DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE
ZACUALPAN, ESTADO DE MÉXICO**

EDUCACIÓN

TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Toluca

Metepec, Edo. de México, 30/noviembre/2021

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

DEPI-3200-434/2021

ASUNTO: ENTREGA INFORME

C. JAVIER GARCÍA POLO
PRESIDENTE MUNICIPAL CONSTITUCIONAL
DE POLOTITLÁN, ESTADO DE MÉXICO
PRESENTE

At'n. C. Roberto Ruiz Sánchez
Director de Medio Ambiente
Municipio de Polotitlán, EdoMéx.

Anteponiendo un cordial saludo, el que suscribe tiene a bien presentar a sus finas atenciones a la **Dra. María del Consuelo Hernández Berriel**, Profesora Investigadora, al **M.C. Sergio Omar López Gasca**, a la **M.A. Iris Margarita Pérez Palacios** y al **Ing. Salvador Flores Reyes**, Investigadores, en formación de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Toluca, quienes le harán entrega del **Informe Técnico de la Evaluación de Impacto Ambiental del Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos de Polotitlán**, el cual fue elaborado como parte de los trabajos comprometidos del Proyecto de Investigación 10312.21-R, financiado por el Tecnológico Nacional de México, utilizando el **Sistema de Información Geográfica para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (SIGMIRSU)**, que fue desarrollado gracias al proyecto **SEMARNAT-2015-1-263315** del Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT. Cabe mencionar que en ambos proyectos de investigación, la **Dra. Hernández Berriel** es la Responsable Técnico.

Agradezco su atención y quedo a sus gentiles órdenes

ATENTAMENTE

Excmo. Sr. Presidente Municipal Constitucional
del Municipio de Polotitlán

JOSÉ LUIS GARCÍA RIVAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

EDUCACIÓN
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN

c.c.p. Dra. Subeña Liliben Díaz Contreras, Directora General de Manejo Integral de Residuos
de la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México.

J.LGR/mb

Av. Tecnológico s/n, Ex-Hacienda Belkán y Cofre de
Metepec, 40600 Metepec, Toluca (México) Tel: 01 (777) 710 7100
Toluca, México Tel: 01 (777) 710 7100 Fax: 01 (777) 710 7100
Correo Electrónico: 3200-434@itctoluca.mx
e-mail: 3200-434@itctoluca.mx

Logo of the Secretaría de Educación Nacional de México
Logo of the Instituto Tecnológico de Toluca
Logo of the Gobierno del Estado de México
Logo of the Ayuntamiento de Polotitlán

México
2021
El año de la
independencia



INSTITUTO TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

RECIBIDO



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**"EVALUACIÓN PARA CLAUSURA O REHABILITACIÓN DE DOS SITIOS DE DISPOSICIÓN
FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL ESTADO DE MÉXICO"**

CLAVE: 10312.21-P

Informe Técnico de la Evaluación de Impacto Ambiental del Sitio de
Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos de Polotitlán, EdoMéx



Responsable Técnico:
Dra. María del Consuelo
Hernández Barriel

Colaboradores:
M. en C. Iris Margarita Pérez Palacios, Dra. María de la Luz Jiménez Núñez, Dra.
María del Consuelo Mañón Salas, Dr. Isaias de la Rosa Gómez, Dr. Benigno Ortiz
Muñiz, Dr. Héctor Jaime Mora López

Informe Técnico de la Evaluación de Impacto Ambiental del Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos de Polotitlán, EdoMéx.

Responsable Técnico: Dra. María del Consuelo Hernández Berriel

Colaboradores:

- M. en C. Iris Marganta Pérez Palacios
- Dra. María de la Luz Jiménez Núñez
- Dra. María del Consuelo Mañón Salas
- Dr. Isaías de la Rosa Gómez
- Dr. Benigno Ortiz Muñiz
- Dr. Héctor Jaime Mora López

Fecha de elaboración: 30 de noviembre de 2021.

Para: Ayuntamiento de Polotitlán 2019-2021.

Dirección: Portal Hidalgo No. 07, Centro, 54200 Polotitlán, Méx.

Agradecimientos

Al **Tecnológico Nacional de México**, por el financiamiento del proyecto de investigación "Evaluación para clausura o rehabilitación de dos sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en el Estado de México", con clave 10312.21-P.

Al **Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT**, por el Proyecto de Investigación "Ubicación de rellenos sanitarios intermunicipales futuros en el Estado de México y estados aledaños", clave SEMARNAT-2015-1-263315.

A la **Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México**, por el apoyo en la gestión con las autoridades municipales y en la impartición de cursos.

A la **Administración 2019-2021 del Municipio de Polotitlán, Estado de México**, por la información proporcionada en las Cédulas de Entrevista y las facilidades brindadas para los trabajos de campo en su sitio de disposición de residuos sólidos urbanos.

Al **Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca**, por el apoyo del personal especializado y sus instalaciones, así como con el transporte de estudiantes y profesores para los trabajos de campo.