



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**Diseño de un plan estratégico para el manejo eficiente
de residuos orgánicos e inorgánicos en el municipio de
Apizaco**

Titulación integral informe de residencia profesional

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA:

**Laura Carmina Maldonado Ramírez
Eduardo Hernández Aguilar**

NOMBRE DEL ASESOR:

Dr. Miguel Ángel Rodríguez Lozada



APIZACO, TLAX., ABRIL 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
Ingeniería Industrial

Apizaco, Tlax. 4/febrero/2025

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación integral

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación integral:

Nombre del Egresado:	LAURA CARMINA MALDONADO RAMÍREZ
Carrera:	INGENIERÍA INDUSTRIAL
No. De control:	19370632
Nombre del proyecto:	"DISEÑO DE UN PLAN ESTRATÉGICO PARA EL MANEJO EFICIENTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE APIZACO"
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

EXCELENCIA EN EDUCACION TECNOLÓGICA. ®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO

ARMANDO BARRAZA HINIESTA

JEFE DEL DEPTO. INGENIERÍA INDUSTRIAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL

MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ LOZADA

ASESOR INTERNO

c.c.p._ Div. Est. Prof. (interesado)
c.c.p._ Archivo



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala. Mex. C. P. 90491 Tel. (241)
4172010 Ext. 142, e-mail: industrial@apizaco.tecnim.mx tecnim.mx |
apizaco.tecnim.mx





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
Ingeniería Industrial

Apizaco, Tlax. 4/febrero/2025

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación integral

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación integral:

Nombre del Egresado:	EDUARDO HERNÁNDEZ AGUILAR
Carrera:	INGENIERÍA INDUSTRIAL
No. De control:	20370567
Nombre del proyecto:	"DISEÑO DE UN PLAN ESTRATÉGICO PARA EL MANEJO EFICIENTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE APIZACO"
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

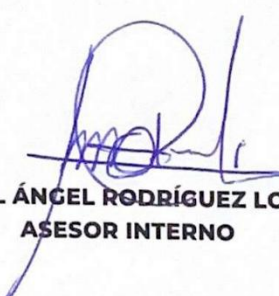
ATENTAMENTE

EXCELENCIA EN EDUCACION TECNOLÓGICA ®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL


ARMANDO BARRAZA HINIESTA
JEFE DEL DEPTO. INGENIERÍA INDUSTRIAL


MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ LOZADA
ASESOR INTERNO

c.c.p._ Div. Est. Prof. (interesado)
c.c.p._ Archivo



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec.
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex C P. 90491 Tel (241)
4172010 Ext. 142, e-mail: industrial@apizaco.tecnm.mx, tecnm.mx |
apizaco.tecnm.mx





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, **14/marzo/2025**

MALDONADO RAMÍREZ LAURA CARMINA.
EGRESADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL.
CON NÚMERO DE CONTROL 19370632.
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"DISEÑO DE UN PLAN ESTRATÉGICO PARA EL MANEJO EFICIENTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE APIZACO"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **2 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
ijss/aehs -



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 14/marzo/2025

HERNÁNDEZ AGUILAR EDUARDO.
EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL.
CON NÚMERO DE CONTROL 20370567.
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"DISEÑO DE UN PLAN ESTRATÉGICO PARA EL MANEJO EFICIENTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE APIZACO"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **2 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
ijss/aehs -



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este espacio a expresar mi profunda gratitud hacia todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo de investigación, quienes me acompañaron en todo mi proceso, me ayudaron, me dieron consejos, y sobre todo me apoyaron en momentos difíciles.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de proyecto, Dr. Miguel Ángel Rodríguez Lozada y el Dr. Jorge Luis Castañeda Gutiérrez. Su guía experta, paciencia y compromiso fueron pilares fundamentales en el desarrollo de este proyecto. Sus sugerencias, comentarios y críticas constructivas han enriquecido enormemente este trabajo y han sido una fuente constante de inspiración.

Quiero reconocer y agradecer al Instituto Tecnológico de Apizaco por brindarme el espacio y los recursos necesarios para llevar a cabo mi desarrollo en todo el tiempo transcurrido en el estudio de mi ingeniería. La biblioteca y las instalaciones proporcionadas fueron de gran ayuda en este proceso.

Mis compañeros/as de clase y amigos/as merecen un agradecimiento especial por su apoyo incondicional y por estar siempre dispuestos/as a escuchar mis ideas y ofrecer palabras de aliento en los momentos de duda y desánimo.

Mi familia merece un reconocimiento especial por su amor incondicional, su constante aliento y su sacrificio. Gracias por creer en mí y por ser mi mayor fuente de inspiración a lo largo de este viaje académico.

No puedo pasar por alto la contribución de todos los participantes de este estudio, cuya colaboración fue fundamental para la realización de esta investigación. Sus experiencias, opiniones y testimonios han sido invaluable y han dado forma al contenido de este trabajo.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todos aquellos que, de una forma u otra, han sido parte de mi trayectoria académica y personal, y cuya influencia ha dejado una marca indeleble en este proyecto.

En resumen, este logro no habría sido posible sin el apoyo, la orientación y la colaboración de todas estas personas. A cada uno/a de ustedes, mi más profundo agradecimiento.

ÍNDICE

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	5
RESUMEN.....	10
CAPITULO I: GENERALIDADES DEL PROYECTO	12
1.1 Introducción	12
1.2 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo	14
1.2.1 Sobre la empresa	14
1.2.2 Misión	14
1.2.3 Visión	14
1.2.4 Valores	14
1.3 Problemática.....	15
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo general.....	16
1.4.2 Objetivo específico	16
1.5 Justificación	17
1.6 Hipótesis	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1 Antecedentes.....	19
2.2 Problemática nacional y local.....	20
2.3 Viabilidad del manejo de residuos sólidos (RS) en Veracruz: Proyecto y casos exitosos	22
2.4 Características de los residuos	27
2.4.1 Concepto de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos	27
2.4.2 Clasificación de los residuos.....	28
2.5 Ciclo de residuos	29
2.6 Fuentes de generación	31
2.7 Características físicas, químicas y biológicas	33
2.7.1 Características físicas	34

2.7.2	Características químicas	34
2.7.3	Características biológicas	35
2.8	Composiciones de los residuos sólidos urbanos	35
2.9	Aspectos sociales y sanitarios de los residuos sólidos y urbanos	37
2.10	Métodos para el control y tratamiento de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos	39
2.10.1	Educación ambiental	39
2.10.2	Beneficios.....	40
2.10.3	Objetivos principio orientadores y metodología	41
2.10.4	Niveles de la educación ambiental.....	42
2.10.5	Participación comunitaria	43
2.11	Métodos correctivos	44
2.11.1	Compostaje	44
2.11.2	Beneficios.....	45
2.11.3	Relleno sanitario.....	46
2.11.4	Beneficios de los rellenos sanitarios	47
2.11.5	Desafíos y consideraciones.....	48
2.11.6	Reciclaje.....	49
2.11.7	Beneficios del reciclaje	49
2.12	Tipos de materiales reciclables y su impacto	52
2.13	Marco contextual	52
2.13.1	Ubicación geográfica municipio de Apizaco	52
2.13.2	Ubicación geográfica del relleno sanitario Mena	55
2.13.3	Ubicación geográfica del relleno sanitario Huamantla	56
2.13.4	Ubicación geográfica del relleno sanitario Panotla	57
CAPITULO III: DESARROLLO.....		59
3.1	Diagrama de flujo.....	59
3.2	Recolección de datos	60
3.2.1	Generación promedio de residuos producidos en Apizaco	67
3.2.2	Composición y generación de los RSU en la Región	69

3.2.3	Cálculo de vida útil del relleno sanitario de Mena	71
3.2.4	Cálculo de vida útil de relleno sanitario de Panotla	71
3.2.5	Cálculo de vida útil de relleno sanitario de Huamantla	72
CAPITULO IV: RESULTADOS		74
4.1	Cuadro comparativo	75
4.2	Realización de un relleno sanitario de manera ingenieril	75
4.3	Requisitos y Normatividad.....	76
CAPITULO V: CONCLUSIONES		97
CAPITULO VI: COMPETENCIAS DESARROLLADAS		98
FUENTES DE INFORMACIÓN		100
Bibliografía		100
ANEXOS.....		101

RESUMEN

La gestión de residuos sólidos urbanos representa uno de los mayores desafíos para el municipio de Apizaco, Tlaxcala, en un contexto de crecimiento poblacional y económico. Actualmente, la generación de residuos en la región alcanza alrededor de 130 toneladas diarias, superando la capacidad de manejo de las estrategias existentes y generando impactos negativos significativos en el medio ambiente y la calidad de vida de sus habitantes. Esta situación se ha visto agravada por la falta de infraestructura adecuada, como un relleno sanitario, y por la limitada participación ciudadana en prácticas de separación y reciclaje.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar un plan estratégico que aborde de manera integral la problemática de los residuos sólidos en Apizaco. La propuesta se basa en un enfoque sostenible que combina la reducción de residuos enviados a vertederos, el reciclaje, y el compostaje, con acciones concretas para mejorar la infraestructura, educar a la población y fomentar una cultura ambiental responsable.

Entre las estrategias clave se encuentra la implementación de un sistema de separación de residuos en la fuente, que permitirá un manejo más eficiente de los desechos orgánicos e inorgánicos. Para lograrlo, se contempla la adquisición de contenedores diferenciados, la capacitación del personal de recolección en técnicas avanzadas de manejo de residuos, y la creación de alianzas con empresas dedicadas al reciclaje y compostaje. Asimismo, el proyecto incluye la construcción de un relleno sanitario que cumpla con las normativas ambientales, como una solución sostenible para la disposición final de desechos no reciclables.

La educación ambiental será un pilar fundamental en este plan, con programas diseñados para sensibilizar a la población sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar. Estos programas se desarrollarán en escuelas, espacios comunitarios y a través de campañas en redes sociales, con el objetivo de generar un cambio cultural a largo plazo. Además, se implementarán incentivos para motivar a los ciudadanos a participar activamente en la separación de residuos y en otras prácticas sostenibles.

El éxito del plan dependerá de un enfoque colaborativo que involucre a diversos actores, incluyendo autoridades municipales, instituciones educativas, empresas privadas y la ciudadanía. Por ello, se propone la creación de grupos comunitarios y la realización de talleres para compartir conocimientos y experiencias sobre manejo de residuos.

Finalmente, el proyecto contempla mecanismos de evaluación y seguimiento que permitirán medir el impacto de las acciones implementadas y ajustar las estrategias según las necesidades del municipio. Esto garantizará que el plan evolucione y se mantenga alineado con los objetivos de sostenibilidad y bienestar comunitario.

Se espera que la ejecución de este plan no solo resuelva las problemáticas actuales de gestión de residuos en Apizaco, sino que también sienta las bases para un modelo de desarrollo urbano más sostenible. Esto contribuirá a la mejora de la calidad ambiental, reducirá los riesgos para la salud pública y fortalecerá el compromiso de los habitantes con un futuro más limpio y saludable.

CAPITULO I: GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

La gestión de residuos es uno de los principales retos que enfrentan los municipios en el contexto actual de urbanización y crecimiento poblacional. En Apizaco, la creciente generación de residuos orgánicos e inorgánicos, sumada a la falta de una estrategia eficiente, ha llevado a la necesidad urgente de implementar un plan que no solo gestione estos residuos de manera adecuada, sino que también promueva la sostenibilidad y el bienestar de la comunidad.

El municipio de Apizaco, situado en el estado de Tlaxcala, ha visto un incremento en su población y en las actividades comerciales e industriales, lo que ha generado una mayor producción de desechos. Según datos recientes, se estima que la generación de residuos sólidos ha crecido en unas 130 toneladas diarias en los últimos años. Este aumento pone de manifiesto la insuficiencia de las actuales estrategias de recolección y tratamiento, que a menudo terminan en vertederos saturados, contribuyendo a problemas de contaminación, olores desagradables y afectaciones a la salud pública.

Este plan estratégico busca abordar de manera integral la gestión de residuos en Apizaco mediante la implementación de prácticas sostenibles que reduzcan la cantidad de desechos generados, favorezcan el reciclaje y promuevan el compostaje de residuos orgánicos. La separación de residuos en la fuente es una de las piedras angulares de este plan, ya que facilita el reciclaje y reduce la carga de residuos en los vertederos. Para ello, se propone la implementación de

campañas de sensibilización dirigidas a la población, donde se les enseñe sobre la importancia de clasificar sus residuos y las consecuencias de una gestión inadecuada.

Asimismo, se contempla el desarrollo de una infraestructura adecuada para la recolección y el tratamiento de residuos. Esto incluye la adquisición de contenedores diferenciados para residuos orgánicos e inorgánicos, así como la capacitación del personal de recolección en técnicas de manejo eficiente. Además, se explorará la posibilidad de establecer alianzas con empresas de reciclaje y compostaje para optimizar el tratamiento de los residuos generados.

La participación de la comunidad es esencial en este proceso. Se planea implementar un programa de incentivos que motive a los ciudadanos a participar en la separación y reducción de residuos, así como la creación de grupos comunitarios que promuevan buenas prácticas y el intercambio de conocimientos sobre manejo de residuos. La educación ambiental jugará un papel fundamental, no solo en escuelas, sino también en espacios públicos y a través de redes sociales, para fomentar una cultura de responsabilidad y compromiso hacia el medio ambiente.

Finalmente, el plan estratégico incluirá mecanismos de evaluación y seguimiento que permitan medir el impacto de las acciones implementadas y ajustar las estrategias según sea necesario. A través de un enfoque colaborativo que involucre a autoridades locales, empresas y ciudadanos, se espera transformar la gestión de residuos en Apizaco en un modelo de sostenibilidad y cuidado ambiental, que no solo mejorará la calidad de vida de sus habitantes, sino que también sentará las bases para un futuro más limpio y saludable.

1.2 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo

1.2.1 Sobre la empresa

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico de Apizaco

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec, Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Méx. C.P. 90491

1.2.2 Misión

Formar profesionistas que sean líderes visionarios, emprendedores, con capacidad de generar soluciones disruptivas, innovando en la ciencia y la tecnología, comprometidos con el desarrollo económico, responsabilidad social teniendo una visión sostenible y sustentable.

1.2.3 Visión

Ser una Institución de educación superior tecnológica de vanguardia, formadora de ciudadanos del mundo, con conocimientos intercultural, respetando la diversidad social

1.2.4 Valores

- HONESTIDAD:

Se demuestra día a día a través de la transparencia con la ejecución de las actividades laborales cotidianas.

- **RESPONSABILIDAD:**

Es la actitud que caracteriza al personal en el cumplimiento de su tarea con eficacia y eficiencia en beneficio de la comunidad.

- **LEALTAD:**

Es la actitud que caracteriza al personal del Instituto Tecnológico de Apizaco, aplica sus conocimientos y habilidades en el logro de las metas institucionales, sin olvidar en ningún momento el lema:

“Pensar para servir, servir para triunfar”

1.3 Problemática

La gestión de residuos sólidos en el municipio de Apizaco se ha convertido en una problemática principal que impacta negativamente el medio ambiente y la calidad de vida de sus habitantes. La creciente generación de residuos, tanto orgánicos como inorgánicos, ha superado la capacidad de manejo y reciclaje, resultando en contaminación del suelo y del agua, así como en la proliferación de vectores de enfermedades.

La falta de un plan estratégico integral y de un relleno sanitario propio ha llevado a prácticas inadecuadas de disposición final, como el vertido en áreas no autorizadas y la quema de basura. Estas acciones generan emisiones nocivas y afectan la salud

pública. Además, la limitada conciencia ambiental de la población contribuye a la acumulación de desechos y a la subutilización de recursos reciclables.

Para abordar esta problemática, es urgente desarrollar un plan que incluya la separación en la fuente, la educación ambiental y la colaboración interinstitucional, lo que permitirá promover un desarrollo urbano sostenible y mejorar la calidad del medio ambiente en Apizaco

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un plan estratégico enfocado a la recolección de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos para mejorar una de las funciones de la dirección de servicios municipales de Apizaco, optimizando los recursos propios del municipio en el manejo de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.

1.4.2 Objetivo específico

- Caracterización del municipio de Apizaco.
- Identificar infraestructura física que cuenta el municipio para dar servicio en la cabecera del municipio de Apizaco
- Identificar antecedentes de generación de residuos en la cabecera municipal
- Elaboración del plan estratégico de recolección de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos para la cabecera del municipio de Apizaco.

1.5 Justificación

El manejo de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos es un desafío que actualmente enfrenta la población del municipio de Apizaco, Tlaxcala. La gestión inadecuada de estos residuos no solo afecta la salud pública, sino que también tiene un impacto ambiental significativo. En Apizaco, los residuos sólidos orgánicos son frecuentemente utilizados como alimento para los animales domésticos que tienen las familias en sus hogares, y también son depositados en los camiones recolectores.

Sin embargo, a pesar de estas prácticas, aún persisten problemas en la separación y el reciclaje de residuos. Los residuos sólidos inorgánicos, como plásticos y metales, son entregados directamente al camión recolector, pero muchas veces no se reciclan adecuadamente, lo que contribuye a la acumulación de basura en los sitios de disposición final.

1.6 Hipótesis

La implementación de un plan estratégico para el manejo eficiente de residuos orgánicos e inorgánicos en el municipio de Apizaco resultará en una disminución significativa de la cantidad de residuos enviados a los vertederos, mejorará la calidad del medio ambiente y aumentará la participación ciudadana en prácticas de reciclaje y compostaje. Esto se logrará a través de la educación ambiental, la creación de infraestructura adecuada para la recolección y separación de residuos, y la promoción de incentivos para la reducción y reutilización de desechos. Al abordar estos elementos de manera integral, se espera que Apizaco no solo

gestione mejor sus residuos, sino que también fomente una cultura de sostenibilidad entre sus habitantes.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Los primeros esfuerzos en México para gestionar los residuos sólidos urbanos (RSU) se iniciaron en la segunda década del siglo XX. En ese periodo, la Federación realizó estudios sobre la pulverización de estos residuos con el propósito de utilizarlos como abono agrícola y también llevó a cabo investigaciones de saneamiento en diferentes barrios de la Ciudad de México (SEMARNAT, 2024).

En 1964, la Dirección de Ingeniería Sanitaria intentó establecer un control sobre los RSU a nivel nacional, con el fin de mejorar los programas de recolección y disposición. Este organismo fue pionero en la incorporación de técnicas y métodos de ingeniería para abordar el creciente problema de los residuos.

Las asesorías técnicas del Gobierno Federal, que comenzaron en la década de 1960, finalizaron en 1981, aunque se continuaron las actividades del área de Ingeniería. Entre 1973 y 1976, un programa auspiciado por las Naciones Unidas proporcionó asesoría y desarrolló proyectos para el manejo y la disposición final de los RSU en diversas ciudades como Acapulco, Tijuana, Mexicali, Saltillo, Ciudad Juárez, Tuxtla Gutiérrez, Monterrey y Ensenada. Durante este tiempo, se llevaron a cabo los primeros cursos de capacitación para el personal municipal y se establecieron instancias para abordar el problema de los residuos sólidos industriales. Al final de la década de 1970 y hasta 1982, se implementaron varios proyectos y se elaboraron normas técnicas para controlar los RSU.

A partir de 1983, la Federación lanzó el programa R\$100, que consistió en la creación de proyectos ejecutivos de rellenos sanitarios en ciudades con más de 100,000 habitantes. También se elaboraron manuales para el diseño de rellenos sanitarios y se desarrollaron programas para optimizar las rutas de recolección utilizando computadoras, así como proyectos para el confinamiento de residuos industriales. Además, se continuaron ofreciendo cursos de capacitación y formación para el personal de los municipios en todo el país.

Más recientemente, el INE asumió la responsabilidad de desarrollar la normativa sobre residuos sólidos municipales. En 1996, se promulgó la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-083-1996, que establece los requisitos para la selección de sitios destinados a rellenos sanitarios (SEDESOL, 1992). Actualmente, esta norma ha sido actualizada para incluir la etapa de abandono de los sitios de disposición final, y ahora se conoce como NOM-083-SEMARNAT-1996.

2.2 Problemática nacional y local

A pesar de que el manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) está regulado en México, en Apizaco aún persiste la inadecuada disposición final de estos residuos, principalmente a través de tiraderos a cielo abierto. Esta práctica implica depositar los residuos directamente sobre el suelo sin ningún control, lo que genera numerosos impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. En la década de los 80, esta problemática cobró relevancia en ciudades como la Ciudad de México, debido al rápido crecimiento urbano e industrial, y recobró atención tras el incendio del basurero de Morelia, Michoacán, en marzo de 2005.

En México, según las cifras más recientes, publicadas en 2017,² la generación de RSU alcanzó 44.6 millones de toneladas, lo que representó un aumento del 35.6% con respecto a 2003 (11.73 millones de toneladas más generadas en ese período). Si se expresa por habitante, alcanzó 0.98 kilogramos en promedio diariamente en el mismo año (SEMARNAT, 2024)

En contraste con otros países, en México más del 95% de los desechos generados se destinan a sitios de disposición final (Estadísticas del INEGI/INE, 2000). Hasta ahora, no se han registrado avances significativos en sistemas de tratamiento, programas de reducción o iniciativas de educación ambiental que contribuyan a disminuir la generación de basura.

Uno de los efectos más visibles del manejo inadecuado de los RSM en Apizaco es el deterioro estético de la ciudad y sus alrededores, lo que afecta negativamente el valor de las propiedades cercanas a los tiraderos, debido a la acumulación y dispersión de basura.

Apizaco, aunque no es el estado más poblado, enfrenta desafíos similares en la gestión de residuos. La falta de un servicio de recolección adecuado ha llevado a que muchos residuos sean desechados en cuerpos de agua y terrenos baldíos. Actualmente, de los RSM generados en la región, una porción significativa no se recoge, y una pequeña fracción se destina a rellenos sanitarios.

Ante esta situación, es crucial buscar soluciones viables que consideren aspectos sociales, políticos, económicos y tecnológicos. Las variaciones en la generación de RSM entre diferentes poblaciones y sectores de Apizaco subrayan la importancia

de conocer los volúmenes y características de los residuos. Estas características, que dependen de factores como el estilo de vida, las actividades económicas y el clima, deben ser tenidas en cuenta al desarrollar estrategias efectivas para el manejo adecuado de los residuos.

Las operaciones básicas que requieren atención son el almacenamiento, la recolección y la disposición final de los RSM, y es fundamental implementar soluciones que aborden estas áreas de manera integral.

2.3 Viabilidad del manejo de residuos sólidos (RS) en Veracruz: Proyecto y casos exitosos

A pesar de que a nivel Municipal el manejo en su mayoría no ha sido adecuado existen algunos proyectos que han mostrado resultados parciales, aunque por tiempo prolongado. A continuación, se describen:

* Embotelladora de Coca Cola de Coatepec, Ver.

Con ejemplo de un manejo adecuado de los residuos sólidos industriales generados se encuentra en la embotelladora Coca Cola, localizada en Coatepec, Ver., la cual genera anualmente un promedio de 1,412,162 kg de subproductos. En esta industria se estableció que la mejor manera de canalizar los subproductos de los RS era un centro de compraventa, donde se estimó que la planta podría obtener ganancias del orden de \$ 913,342 anuales.

El manejo de basura en el municipio de Teocelo.

El H. Ayuntamiento de Teocelo, Ver., en conjunto con la Dirección de Ecología

Desarrollo Rural, propusieron en el año 2002 un programa para el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos, como una alternativa para el manejo de sus residuos, el cual a la fecha ha permitido un buen manejo y minimización de basura.

Uno de los principales objetivos de este programa fue aprovechar los residuos sólidos que se generan en el municipio; esto se logró utilizando los residuos orgánicos como alimento de lombrices compostadoras para la producción de abonos orgánicos y recuperando los residuos inorgánicos para su reutilización a través de reciclaje

Una característica del municipio de Teocelo que se caracteriza su cabecera por ser un poblado predominantemente rural es la de generar grandes cantidades de basura orgánica. Su proyecto consistió en 2 etapas, la primera en el manejo de residuos orgánicos con 11 fases y la segunda etapa en el manejo de residuos inorgánicos con 3 fases.

En la primera-etapa para el manejo de residuos orgánicos, la primera fase involucró la selección del sitio considerando que fuera de fácil acceso, que se encontrará cerca de las áreas de recolección, que tuviera una extensión de 2,000 m y que contará con una red de agua.

La segunda fase consistió en la organización para la difusión del programa a través de un grupo de estudiantes del mismo municipio, con un nivel de escolaridad y medio superiores, se les capacitó por medio de material didáctico y cada estudiante

visitó los lugares correspondientes para dar a conocer el programa de separación de basura.

En la tercera fase se llevaron a cabo pláticas para coordinar familias en la separación de los residuos sólidos, con la finalidad de dar a conocer con los jefes de calles las ventajas, beneficios, avances y logros que se obtendrían con el programa, al mismo tiempo para incitarlos a seguir separando la basura.

En la cuarta fase las familias participaron en la dinámica de la separación de sus residuos domésticos, logrando con ello un 97% de participación ciudadana. En la quinta fase se llevó a cabo la distribución de los separadores ecológicos para el depósito de residuos de forma ordenada y separada en las vías públicas y áreas Verdes.

Dentro de la sexta y séptima fase, se capacitaron a los trabajadores de limpia pública y al personal del centro de lombricomposta, realizándose diferentes pláticas teórico-práctico, con la finalidad de dar un buen manejo a los residuos orgánicos generados en el este municipio.

En la octava fase se llevó a cabo la recolección y tratamiento de residuos. La recolección hoy en día se realiza en dos turnos:

En el turno matutino de 7 a.m. a 2 p.m., sólo se recolecta basura orgánica (desperdicios de verdura, de frutas, papel, maleza de campo, etc.), horario vespertino de 2 a 8 p.m. en donde se recolecta basura inorgánica (vidrios, metales, plásticos, etc.).

Para la novena fase se construyeron las camas o habitáculos, protegiendo a la lombriz del frío, del calor, o de la lluvia excesiva y también y disponiendo de una buena ventilación. En la décima fase se llevó a cabo la alimentación en las camas compostadoras que se realizó de forma parcial, es decir incorporando tapas de 20 cm de altura con intervalos de 20 días de la carga animal que se estableció.

Para la onceava fase se diseñó y elaboró una máquina trituradora de desechos orgánicos, con la finalidad de mejorar el picado del sustrato ya que eso facilita el manejo de los residuos orgánicos para su transformación en lombricomposta.

También se presentaron exposiciones cada 15 días durante 12 meses en todo el municipio para dar a conocer los avances obtenidos hasta el momento y demostrar el manejo que se le da a los residuos sólidos para la transformación en abono orgánico. Por otro lado, se visitó a las instituciones educativas del municipio, con la finalidad de que los infantes obtuvieran información y concientización sobre la importancia que pueden tener los residuos orgánicos y los beneficios que se logran con un manejo adecuado.

El centro de lombricomposta permitió a los campesinos disponer de abono orgánico, el cual formó parte del proyecto integral que el municipio ha emprendido, en favor del medio ambiente. Los campesinos asociados del municipio han iniciado cultivos en invernaderos y con el apoyo del H. Ayuntamiento, se les estuvo dotando

En la segunda etapa para el manejo de residuos inorgánicos, su primera fase consistió en la selección del sitio, considerando las siguientes características para la elección del centro de acopio: que se tuviera fácil acceso al lugar, un lugar céntrico

en la ciudad y estratégico para su ubicación, que presentara una superficie de cuando menos 400 metros cuadrados.

En la segunda fase se llevó a cabo la organización con la Asociación de Estudiantes (AET) del municipio, fue capacitada por medio de material didáctico como: láminas, acetatos, diapositivas, trípticos, etc., para difundir el programa de una forma eficaz y oportuna a la sociedad en general. En la tercera fase se llevó a cabo la operación y difusión donde participaron aproximadamente 70 estudiantes, cada uno de ellos visitó los hogares correspondientes para informar a la ciudadanía que se instalaría un centro de acopio, cuyas funciones específicas: la compra de material que se puede reutilizar (vidrio, plástico, papel, aluminio, etc.)

Por último, se llevó a cabo la adquisición de materiales, recibiendo material que en casa ya no se utiliza como el vidrio, cartón, papel, fierro, plástico, aluminio, etc., para ser nuevamente reutilizados y transformados en nuevos productos.

Teocelo es reconocido como el pionero a nivel estatal con este tipo de programa. Por los grandes logros, avances y la viabilidad del programa, se ha tenido la visita de funcionarios municipales de diferentes estados de la República Mexicana.

Incluso se tienen visitas del personal de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), donde realiza un intercambio cultural y tecnológico entre los dos Países (México y Japón), pues Japón sabe poco de lombricomposta, pero es punta de lanza en cuestión de tecnología y maquinaria.

Entre los logros obtenidos en el municipio es que un 97% de personas que separan su basura y un 3% que aún no lo hace.

2.4 Características de los residuos

2.4.1 Concepto de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos

Residuos Sólidos Orgánicos: Los residuos orgánicos son desechos biodegradables de origen vegetal o animal que pueden descomponerse en la naturaleza sin demasiada dificultad y transformarse en otro tipo de materia orgánica. (Repsol, 2024)

Residuos Sólidos Inorgánicos: Los residuos inorgánicos son los desechos no biológicos derivados de procesos antropogénicos (producidos por el ser humano). Por su naturaleza, son residuos no biodegradables o degradables a muy largo plazo. En esta categoría entran los desechos químicos, basura eléctrica y electrónica, desechos metálicos, plásticos, papel y cartón, vidrio, telas sintéticas o neumáticos, entre otros. (Lifedear, 2024).

Las definiciones de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos destacan la importancia de clasificar adecuadamente los desechos generados en nuestras actividades diarias. Los residuos orgánicos, al ser biodegradables, ofrecen la oportunidad de ser transformados en compost y enriquecer el suelo, contribuyendo a prácticas sostenibles. Por otro lado, los residuos inorgánicos representan un desafío mayor, ya que su acumulación puede causar graves problemas ambientales si no se manejan correctamente. La gestión eficiente de ambos tipos de residuos es crucial para reducir la carga en los vertederos y mitigar el impacto ambiental, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de separación en la fuente y

reciclaje en comunidades como Apizaco. Esta dualidad en la naturaleza de los residuos subraya la urgencia de adoptar un enfoque integral para su manejo, promoviendo así un entorno más saludable y sostenible.

2.4.2 Clasificación de los residuos

Tipos de residuos derivados de las actividades humanas:

- Residuos sólidos urbanos
- Residuos Industriales
- Residuos rurales

Importancia de la Clasificación: La correcta clasificación de los residuos es fundamental para facilitar su manejo, tratamiento y disposición final. Promueve el reciclaje, reduce la cantidad de residuos enviados a vertederos y minimiza el impacto ambiental, contribuyendo a un desarrollo más sostenible.

En la tabla 1 se presenta el análisis, donde se clasifican los residuos en base a su origen, la cual implementa criterios basados en el cuidado del ambiente, disminución del impacto ambiental y la participación de los ciudadanos.

Tabla 1. Clasificación de los residuos sólidos en base a sus posibles usos

Material	Manufacturas alternas	Aprovechamiento de residuos alimenticios	Recuperación de energía	Disposición final
- Cartón - Envases de cartón - Lata - Material ferroso - Material no ferroso - Papel bond	- Loza y cerámica - Material de construcción - Llantas - Plástico rígido	- Huesos - Residuos alimenticios - Residuos de jardinería	- Algodón - Cartón - Cuero - Grasa - Hule - Madera - papel sanitario - Pañales - Poliestireno	- Abata lenguas - Jeringas - Toallas sanitarias - Medias - Residuos finos.

- Papel periódico - Vidrio de color - Vidrio transparente			- Trapo	
---	--	--	---------	--

2.5 Ciclo de residuos

Generación

- Descripción: Esta etapa se refiere a la creación de residuos a partir de actividades diarias, industriales, comerciales, y agrícolas.
- Ejemplos: Desperdicios de alimentos en hogares, empaques de productos en tiendas, y desechos de fábricas.
- Factores que influyen: Estilo de vida, hábitos de consumo, y nivel de desarrollo económico.

Recolección

- Descripción: Los residuos son recogidos por servicios de recolección municipales o empresas privadas.
- Métodos: Recolección puerta a puerta, contenedores en espacios públicos, y centros de acopio.
- Importancia: La eficiencia en esta etapa es crucial para evitar la acumulación de residuos en las calles y para fomentar la separación en la fuente.

Transporte

- Descripción: Los residuos recogidos son transportados a instalaciones de tratamiento o disposición final.

- Medios de transporte: Camiones recolectores, remolques, y sistemas de transporte especializado para residuos peligrosos.
- Desafíos: La optimización de rutas y la minimización de emisiones durante el transporte son fundamentales.

Clasificación

- Descripción: En esta fase, los residuos son separados en función de su tipo (orgánicos, inorgánicos, reciclables, etc.).
- Métodos: Clasificación manual o mecánica, con el uso de maquinaria especializada para mejorar la eficiencia.
- Beneficios: Facilita el reciclaje y la recuperación de materiales, reduciendo la cantidad de residuos que van a disposición final.

Tratamiento

- Descripción: Dependiendo de su tipo, los residuos pueden ser tratados de diferentes maneras:
- Reciclaje: Proceso de recuperar materiales reciclables (papel, plástico, vidrio, metales) para ser reutilizados en la fabricación de nuevos productos.
- Compostaje: Proceso biológico donde los residuos orgánicos se descomponen para crear compost, que puede ser utilizado como abono.
- Incineración: Quema controlada de residuos para reducir su volumen y generar energía.
- Digestión Anaerobia: Proceso que descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno, generando biogás.

Disposición Final

- Descripción: Los residuos que no pueden ser reciclados o tratados son enviados a vertederos o rellenos sanitarios.
- Tipos de disposición:
 - Vertederos: Lugares donde se depositan los residuos, que deben ser gestionados para evitar la contaminación del suelo y agua.
 - Rellenos Sanitarios: Instalaciones diseñadas para recibir residuos de manera controlada, con medidas de protección ambiental.
- Impacto ambiental: Es crucial gestionar adecuadamente esta etapa para prevenir la contaminación y proteger la salud pública.

2.6 Fuentes de generación

La generación de residuos significa que es el proceso del que el ser humano es el principal partícipe, mediante sus actividades comunes, lo que con lleva a la contaminación y/o alteraciones de las esferas ambientales y a quienes las componemos. (Tito, 2022)

Hogares

- Descripción: Los residuos generados en los hogares son principalmente orgánicos (restos de comida), plásticos, papel, cartón y otros materiales.
- Ejemplo: Alimentos desechados, empaques de productos, botellas de plástico.

Comercios

- Descripción: Incluyen tiendas, restaurantes y supermercados que generan residuos a partir de la venta de productos y servicios.
- Ejemplo: Envases, bolsas de plástico, papel de embalaje, restos de comida.

Industrias

- Descripción: La producción industrial genera residuos sólidos, líquidos y gaseosos, que pueden incluir materiales peligrosos.
- Ejemplo: Desechos de fabricación, envases de productos químicos, metales y plásticos.

Construcción y Demolición

- Descripción: La actividad de construcción y demolición produce grandes cantidades de residuos, incluidos materiales reutilizables y peligrosos.
- Ejemplo: Concreto, madera, metales, y residuos peligrosos como asbesto.

Agricultura

- Descripción: La actividad agrícola genera residuos orgánicos, así como plásticos de uso agrícola (por ejemplo, invernaderos).
- Ejemplo: Restos de cultivos, envases de productos químicos.

Instituciones y Oficinas

- Descripción: Las instituciones educativas, gubernamentales y empresas generan residuos a partir de la actividad administrativa y educativa.
- Ejemplo: Papel, cartón, plásticos de oficina, y residuos de alimentos en comedores.

La producción y el consumo de bienes y servicios generan inevitablemente algún tipo de residuos. Éstos pueden ser sólidos (ya sea de naturaleza orgánica o inorgánica), líquidos (que incluyen a los que se vierten disueltos como parte de las aguas residuales) y los que escapan en forma de gases. Todos ellos, en función de su composición, tasa de generación y manejo pueden tener efectos muy diversos en la población y el ambiente. (SEMARNAT, 2024)

En la siguiente grafica se presentan algunos datos de generación de residuos desde el año 2010 al 2020

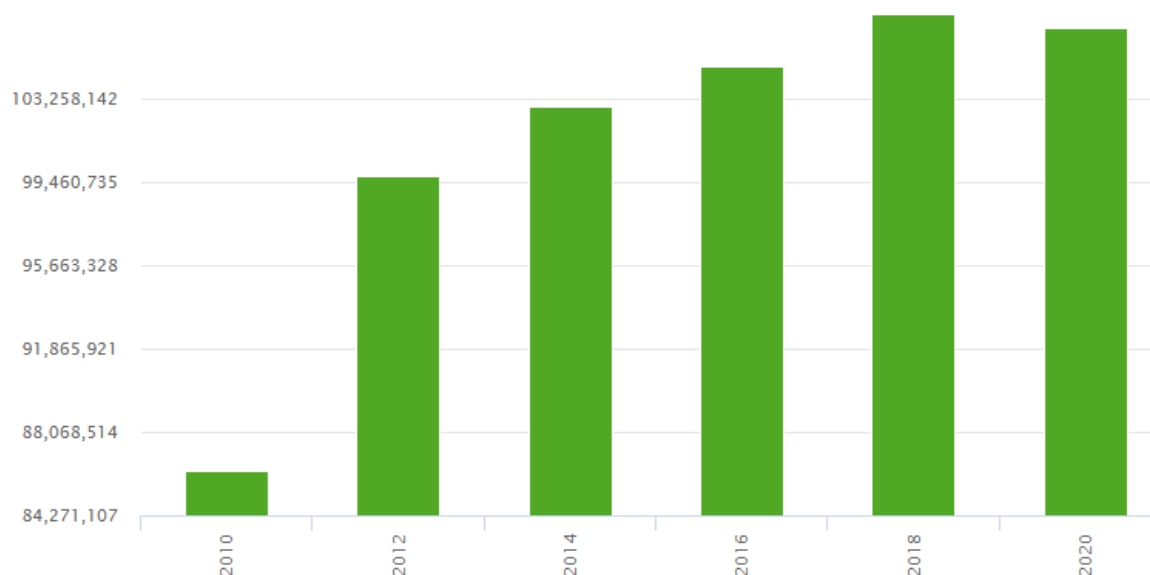


Ilustración 1. Cantidad promedio diaria de residuos sólidos urbanos recolectados

2.7 Características físicas, químicas y biológicas

Es necesario conocer las características físicas, químicas y biológicas de los residuos, ya que estas características son el punto de partida para el tratamiento que se pretende dar a los residuos, especificando los productos que tienen factibilidad de ser reciclados o utilizados en aprovechamiento de su energía.

Tabla 2. Parámetros Cualitativos y Cuantitativos

Cualitativas		Cuantitativas
Composición	Inflamabilidad	Volumen
Concentración de orgánicos	Zonificación	Producción per cápita
Porosidad	Reciclabilidad	Densidad
Pesos específico	Biodegradabilidad	Toxicidad
humedad	Reactividad	Manejabilidad
Olor	Compresibilidad	
Volatilidad	Poder Calorífico	

2.7.1 Características físicas

Son la composición gravimétrica (porcentaje de cada componente presente en una muestra), el peso específico (peso de una muestra en función al volumen que ella ocupa expresado en t/m^3 o kg/cm^3), la humedad (proporción de agua de la muestra en relación a su volumen seco, expresado en %), la compresibilidad (grado de compactación, reducción de volumen que una masa puede sufrir cuando es sometida a una presión de 4 kg/cm^2), la generación per cápita (cantidad de residuos generada por persona en una unidad de tiempo), la cual es variable según el poder adquisitivo, educación y hábitos de las comunidades y varía de 0.4kg hasta sobre $1,5\text{ kg}$, y características visuales que interfieren en la estética de los ambientes

2.7.2 Características químicas

Se refiere al poder calorífico, que es la capacidad de un material para liberar calor al ser quemado (medido en $Kcal/l$), kilo calórico, así como al pH, que indica el nivel de acidez. También se consideran el contenido de ceniza, materia orgánica,

carbono, nitrógeno, potasio, calcio, metales pesados, residuos minerales y grasas solubles.

2.7.3 Características biológicas

Se trata de los agentes microbianos, como virus, bacterias y protozoos, que pueden encontrarse en los desechos. Bajo ciertas condiciones, estos microorganismos pueden volverse patógenos y provocar enfermedades como hepatitis, fiebre tifoidea, malaria, fiebre amarilla y cólera, encontrando en la basura un ambiente propicio para su proliferación. Su transmisión a humanos y animales ocurre a través de vectores como insectos y roedores.

2.8 Composiciones de los residuos sólidos urbanos

La composición de los residuos sólidos urbanos varía según factores como la región, el nivel socioeconómico y los hábitos de consumo. Sin embargo, en términos generales, los RSU se pueden clasificar en varias categorías principales:

Residuos Orgánicos

- Descripción: Incluyen restos de alimentos, residuos de jardinería y otros materiales biodegradables.
- Porcentaje: Suelen representar entre el 30% y el 50% de la composición total de los RSU.
- Ejemplos: Frutas y verduras en descomposición, restos de comida cocinada, hojas, y restos de césped.

Residuos Inorgánicos Reciclables

- Descripción: Materiales que pueden ser reciclados y reutilizados, como plásticos, papel, cartón, y metales.
- Porcentaje: Componen alrededor del 20% al 30% de los RSU.
- Ejemplos: Botellas de plástico, latas de aluminio, papel de periódicos y cajas de cartón.

Residuos Inorgánicos No Reciclables

- Descripción: Materiales que no pueden ser reciclados o que son difíciles de procesar.
- Porcentaje: Representan entre el 20% y el 30% de la composición total.
- Ejemplos: Envases de productos contaminados, cerámica, y algunos tipos de plásticos.

Residuos Peligrosos

- Descripción: Incluyen productos que pueden ser dañinos para la salud y el medio ambiente, como baterías y productos químicos.
- Porcentaje: Aunque son en menor proporción (menos del 5%), su gestión es crucial.
- Ejemplos: Aceites, solventes, y productos farmacéuticos.

Otros Residuos

- Descripción: Pueden incluir textiles, electrónicos, y otros materiales que no encajan en las categorías anteriores.
- Porcentaje: Su proporción varía, pero puede representar un 5% a 10% de los RSU.

- ## Importancia de Conocer la Composición

- Mejorar el reciclaje: Identificar qué materiales se pueden recuperar y cómo.
- Reducir la generación de residuos: Fomentar la reducción en la fuente de ciertos tipos de desechos.
- Planificar la infraestructura: Diseñar sistemas de recolección y tratamiento adecuados

2.9 Aspectos sociales y sanitarios de los residuos sólidos y urbanos

Tabla 3. Enfermedades transmitidas por faunas nocivas.

Enfermedades transmitidas por vectores Relacionados con residuos sólidos.		
Factores	Forma de transmisión	Principales enfermedades
Ratas	- A través de mordida, orina y heces	- Peste bubónica tifus murino y leptospirosis
Moscas	- Por vía mecánica (alas, patas y cuerpo)	Fiebre, Salmonelosis, colera, amibiasis y disentería.

	- A través de heces y saliva	
Mosquitos	A través de la picazón de un mosquito hembra	Malaria, Fiebre amarilla y dengue
Cucarachas	Por vía mecánica (a través de alas, patas y cuerpo) y por heces	Colera y fiebre
Cerdos y ganados	Por ingestión de comida contaminada	Cisticercosis
Aves	A través de las heces	Toxoplasmosis.

Los residuos sólidos urbanos (RSU) pueden incluir sustancias orgánicas e inorgánicas que son dañinas para la salud humana y el medio ambiente. Un gran número de enfermedades, ya sean de origen biológico o químico, están vinculadas a la basura y pueden transmitirse a seres humanos y animales tanto por contacto directo con los desechos como de forma indirecta.

Los recolectores y pepenadores son quienes enfrentan mayores riesgos, ya que suelen manipular los residuos sin la protección adecuada. Además, las personas que consumen alimentos recuperados de la basura también están expuestas. Asimismo, los pepenadores y sus familias que residen cerca de los vertederos pueden propagar enfermedades al interactuar con otros individuos.

El humo producido por la quema de basura en vertederos a cielo abierto es un fuerte irritante para el sistema respiratorio, lo que aumenta la susceptibilidad de las poblaciones expuestas a enfermedades respiratorias.

2.10 Métodos para el control y tratamiento de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos

2.10.1 Educación ambiental

La educación ambiental es una poderosa herramienta para lograr y mantener el equilibrio y la salud del planeta. Se trata de un campo multidisciplinario que integra conceptos de las ciencias naturales, ciencias sociales y humanidades para promover una comprensión integral del medio ambiente y fomentar prácticas sostenibles.

El objetivo principal de la educación ambiental es desarrollar una población mundial que tenga el conocimiento, las habilidades, la actitud, la motivación y el compromiso para trabajar individual y colectivamente hacia la solución de los problemas existentes y la prevención de nuevos conflictos ambientales (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2024)

La educación ambiental es un enfoque clave para el manejo sostenible de los residuos sólidos, ya que busca concienciar a la población sobre la importancia de reducir, reutilizar y reciclar. A través de programas educativos, se puede fomentar el cambio de comportamiento en comunidades, escuelas y empresas.

Estrategias de Implementación

Talleres y Capacitación: Organizar sesiones informativas en escuelas y comunidades donde se enseñen prácticas de manejo de residuos, como la separación en la fuente y el compostaje.

Campañas de Concienciación: Utilizar medios de comunicación, redes sociales y carteles informativos para sensibilizar a la población sobre la problemática de los residuos y la importancia de su correcta gestión.

Incorporación en Currículos Educativos: Integrar la educación ambiental en los programas escolares para que los niños y jóvenes aprendan desde temprana edad sobre el impacto de sus acciones en el medio ambiente.

Colaboración con Organizaciones: Trabajar junto a ONG's y organismos gubernamentales para desarrollar y difundir materiales educativos y programas de sensibilización.

Proyectos Comunitarios: Involucrar a la comunidad en proyectos de limpieza, reciclaje y huertos urbanos, promoviendo la participación y el sentido de pertenencia

2.10.2 Beneficios

Reducción de Residuos: Al informar a las personas sobre cómo reducir su producción de residuos, se puede disminuir la cantidad de desechos que llegan a los vertederos.

Fomento de la Sostenibilidad: La educación ambiental promueve prácticas sostenibles que benefician tanto al medio ambiente como a la salud pública.

Empoderamiento Comunitario: Al capacitar a la población, se crea un sentido de responsabilidad colectiva hacia el cuidado del entorno.

2.10.3 Objetivos principio orientadores y metodología

La educación ambiental debe hacer ver a los estudiantes los problemas ambientales en su vida cotidiana, incitando a la lluvia de ideas que tiendan a un mejor planteamiento de estos y a la búsqueda de alternativas de solución, promoviendo, de este modo, una actitud crítica, responsable y participativa.

Perfilar la transición al desarrollo sustentable depende de la comprensión efectiva de la naturaleza sistemática de las crisis que amenazan el futuro del planeta en un contexto global. En el logro de esta comprensión y de los planteamientos de solución, la educación ambiental debe generar cambios en la calidad de vida y mayor conciencia y responsabilidad de la conducta personal, expresada socialmente como la relación armónica entre los seres humanos y su entorno. (SEMARNAT, 2024)

Objetivos

- ✓ Minimizar la generación de residuos: Promover hábitos de consumo responsables.
- ✓ Maximizar la recuperación de materiales: Aumentar la tasa de reciclaje y reutilización.
- ✓ Proteger la salud pública y el medio ambiente: Evitar la contaminación del aire, agua y suelo.
- ✓ Fomentar la educación y concienciación: Informar a la población sobre la importancia de una adecuada gestión de residuos.

Principios Orientadores

- ✓ Jerarquía de residuos: Priorizar la reducción, reutilización y reciclaje sobre la eliminación.
- ✓ Responsabilidad compartida: Involucrar a todos los actores: gobiernos, empresas y ciudadanos.
- ✓ Sostenibilidad: Adoptar prácticas que no comprometan los recursos para futuras generaciones.
- ✓ Participación comunitaria: Incluir a la comunidad en la toma de decisiones y en la implementación de programas.

Metodología

- ✓ Diagnóstico inicial: Evaluar la situación actual de la gestión de residuos en la zona.
- ✓ Planificación: Definir objetivos y estrategias basadas en el diagnóstico.
- ✓ Implementación: Desarrollar programas de educación, recolección selectiva y puntos de reciclaje.
- ✓ Monitoreo y evaluación: Establecer indicadores para medir la efectividad de los programas y hacer ajustes necesarios.
- ✓ Informar y concienciar: Realizar campañas de sensibilización sobre la importancia de la gestión de residuos.

2.10.4 Niveles de la educación ambiental

El proceso de la educación ambiental se puede considerar que se desarrolla en las siguientes etapas.

Conciencia: para adquirir calores sociales y sentimientos de interés por el ambiente y motivación para participar activamente en su protección y mejoramiento.

Conocimiento: a fin de obtener variedad de experiencias para el cuidado del ambiente, así como la comprensión básica de sus problemas y el papel de la humanidad de ellos.

2.10.5 Participación comunitaria

La educación ambiental se puede estructurar en diferentes niveles, cada uno con enfoques y objetivos específicos. Aquí te presento los niveles más comunes:

Educación Ambiental Formal

- Educación Preescolar: Introducción a conceptos básicos sobre el medio ambiente a través de juegos y actividades lúdicas.
- Educación Primaria: Desarrollo de una comprensión más profunda del entorno, incluyendo temas de naturaleza, reciclaje y conservación.
- Educación Secundaria: Estudio más crítico y analítico sobre problemas ambientales, como el cambio climático, la biodiversidad y la sostenibilidad.
- Educación Superior: Programas académicos especializados que forman profesionales en ciencias ambientales, gestión de recursos naturales, entre otros.

Educación Ambiental No Formal

- Talleres y Cursos: Actividades educativas organizadas por ONG's, instituciones educativas o comunidades que abordan temas específicos del medio ambiente.

- Campañas de Sensibilización: Proyectos comunitarios que buscan informar y movilizar a la población sobre problemas ambientales y acciones a tomar.
- Actividades Extracurriculares: Proyectos escolares, ferias del medio ambiente y excursiones que fomentan la conexión con la naturaleza.

Educación Ambiental Informal

- Aprendizaje en la Vida Diaria: Experiencias cotidianas, como visitas a parques, actividades de jardinería o participación en programas de reciclaje.
- Medios de Comunicación: Documentales, programas de televisión, redes sociales y publicaciones que informan y sensibilizan sobre temas ambientales.
- Interacciones Comunitarias: Conversaciones y acciones en la comunidad que fomentan la conciencia ambiental entre vecinos y familiares.

Educación Ambiental Comunitaria

- Proyectos de Participación Ciudadana: Iniciativas que involucran a la comunidad en la toma de decisiones sobre la gestión ambiental local.
- Grupos de Acción Ambiental: Organizaciones locales que trabajan en la promoción de la sostenibilidad y la protección del entorno

2.11 Métodos correctivos

2.11.1 Compostaje

El compostaje es un proceso biológico en el que los residuos orgánicos, como restos de comida, hojas, ramas y otros materiales biodegradables, se descomponen de manera controlada y natural por acción de microorganismos como bacterias, hongos

y lombrices. Este proceso produce un abono orgánico conocido como compost, que puede utilizarse para mejorar la calidad del suelo.

2.11.2 Beneficios

Reducción de residuos sólidos urbanos: El compostaje ayuda a reducir la cantidad de residuos que terminan en los vertederos y basureros, lo que disminuye la presión sobre los sistemas de gestión de residuos. Al desviar los residuos orgánicos de los vertederos, se reduce la emisión de gases de efecto invernadero, como el metano, que se producen cuando estos desechos se descomponen en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno).

Mejora de la calidad del suelo: El compost es un excelente mejorador del suelo, ya que aporta nutrientes esenciales y mejora su estructura. Incrementa la retención de agua, favorece la aireación y estimula la actividad microbiana, lo que resulta en suelos más saludables para la agricultura y la jardinería. Esto puede aumentar la productividad agrícola y reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

Conservación del medio ambiente: El compostaje contribuye a la conservación del medio ambiente al promover la reutilización de materiales orgánicos, reduciendo la necesidad de productos químicos y fertilizantes sintéticos, que pueden tener efectos negativos en los ecosistemas. Además, ayuda a conservar recursos naturales al reducir la extracción de minerales y productos petroquímicos.

Educación ambiental y conciencia ciudadana: El compostaje fomenta una mayor conciencia sobre el manejo de los residuos y la sostenibilidad. A través de programas de compostaje comunitario o escolar, las personas aprenden sobre la

importancia de reducir, reutilizar y reciclar, así como sobre el impacto positivo de estas acciones en el medio ambiente.

Fortalecimiento de la economía circular: El compostaje es un ejemplo de la economía circular, donde los residuos se convierten en recursos útiles. Al transformar los residuos orgánicos en compost, se cierra el ciclo de los materiales, promoviendo una forma de economía más sostenible que reduce la dependencia de recursos externos.

Reducción de la huella de carbono: Al reducir la cantidad de residuos orgánicos enviados a los vertederos y disminuir la necesidad de transporte y tratamiento de estos residuos, el compostaje contribuye a la reducción de la huella de carbono. La producción y aplicación de compost también ayudan a secuestrar carbono en el suelo, lo que puede mitigar parcialmente los efectos del cambio climático.

Fomento de la resiliencia comunitaria: En comunidades que practican el compostaje a gran escala, se pueden crear redes de compostaje compartido, donde los miembros de la comunidad colaboran en la producción y distribución de compost. Esto fomenta un sentido de comunidad y solidaridad mientras se promueve la autosuficiencia local en cuanto al manejo de residuos y la producción de alimentos.

2.11.3 Relleno sanitario

Un relleno sanitario es un sitio de disposición final de residuos sólidos donde se depositan de manera controlada y segura los desechos generados por la actividad humana. A diferencia de los vertederos a cielo abierto, los rellenos sanitarios están diseñados para minimizar los impactos negativos sobre la salud y el medio ambiente. En ellos, los residuos se disponen en capas, se compactan y se cubren

regularmente con tierra u otros materiales para evitar la propagación de contaminantes y plagas.

2.11.4 Beneficios de los rellenos sanitarios

- **Control de la contaminación ambiental:** Los rellenos sanitarios están diseñados con sistemas de impermeabilización (como geomembranas) en el fondo, que impiden que los lixiviados los líquidos contaminantes generados por la descomposición de los residuos se filtren al suelo y las aguas subterráneas.
- **Mejora de la salud pública:** Al evitar la dispersión descontrolada de residuos (como ocurre en los vertederos a cielo abierto), los rellenos sanitarios contribuyen a la reducción de enfermedades transmitidas por vectores (como roedores, moscas y mosquitos). Esto mejora las condiciones de salud pública, ya que reduce el riesgo de propagación de enfermedades infecciosas y mejora la calidad del entorno urbano.
- **Reciclaje y recuperación de materiales:** Muchos rellenos sanitarios implementan programas de reciclaje y recuperación de materiales, como metales, plásticos, vidrio y papel, a partir de los residuos que llegan al sitio. Este proceso contribuye a la reducción de la cantidad de materiales que se destinan a la disposición final y fomenta la economía circular, al reintegrar recursos valiosos al ciclo de producción.

- **Estabilidad social y económica:** Los rellenos sanitarios bien gestionados contribuyen a la estabilidad social y económica de una región, ya que proporcionan una solución organizada y segura para la gestión de residuos. Esto, a su vez, ayuda a reducir problemas de basura acumulada en las calles, mejora el ambiente urbano y facilita la gestión de residuos a gran escala, lo que favorece a la economía local. Además, los rellenos sanitarios generan empleo en el proceso de gestión, monitoreo y mantenimiento.
- **Disminución de la contaminación por vertederos informales:** Los rellenos sanitarios bien diseñados ayudan a reducir la proliferación de vertederos informales o ilegales, que no cumplen con las regulaciones ambientales y representan un grave peligro para la salud y el medio ambiente. La existencia de rellenos sanitarios fomenta el cumplimiento de las normas y promueve la gestión adecuada de los desechos.

2.11.5 Desafíos y consideraciones

Aunque los rellenos sanitarios ofrecen numerosos beneficios, también presentan desafíos y limitaciones. Entre ellos:

- **Espacio limitado:** A medida que la población crece y la cantidad de residuos aumenta, los rellenos sanitarios pueden quedar rápidamente saturados, lo que obliga a la búsqueda de nuevos terrenos o soluciones adicionales de gestión de residuos.
- **Impactos a largo plazo:** Aunque los rellenos sanitarios están diseñados para minimizar la contaminación, los efectos a largo plazo, como la posible

filtración de lixiviados o la acumulación de gases, siguen siendo una preocupación si no se gestionan adecuadamente.

- Desperdicio de recursos: Si bien los rellenos sanitarios gestionan los residuos de manera controlada, la mayoría de los materiales que se depositan en ellos todavía son reciclables o reutilizables. El desperdicio de recursos sigue siendo un problema si no se implementan políticas efectivas de reciclaje y reducción de residuos.

2.11.6 Reciclaje

El reciclaje es el proceso mediante el cual los materiales que componen los productos desechados son recolectados, procesados y transformados para ser reutilizados en la fabricación de nuevos productos. Este proceso contribuye a la conservación de los recursos naturales, la reducción de residuos y la protección del medio ambiente. En lugar de ser enviados a vertederos o incineradoras, los materiales reciclables como papel, vidrio, plástico, metales y algunos tipos de residuos orgánicos son recuperados y reutilizados.

2.11.7 Beneficios del reciclaje

Reducción de residuos y manejo eficiente de residuos sólidos: El reciclaje ayuda a reducir la cantidad de residuos que se generan y que, de no ser reciclados, acabarían en vertederos o incineradoras. Al reciclar, se disminuye la presión sobre los sistemas de disposición final y se reduce el volumen de basura que se acumula en las ciudades, contribuyendo a un entorno más limpio y saludable.

Conservación de recursos naturales: El reciclaje ayuda a conservar los recursos naturales, como madera, metales, petróleo y agua. Al reciclar materiales como el

papel, el vidrio y los metales, se reduce la necesidad de extraer nuevos recursos del medio ambiente, lo que ayuda a preservar los ecosistemas y minimizar los impactos ambientales de la minería, la tala y la extracción de materias primas.

Ahorro de energía: Fabricar productos a partir de materiales reciclados suele requerir menos energía que producirlos a partir de materias primas vírgenes. Por ejemplo, el reciclaje de aluminio ahorra hasta un 95% de la energía que se necesitaría para producir aluminio nuevo a partir de bauxita. Este ahorro energético contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando a mitigar el cambio climático.

Reducción de la contaminación: Al evitar la extracción de nuevos recursos y el procesamiento de materias primas, el reciclaje reduce las emisiones de contaminantes al aire, agua y suelo. La producción de bienes reciclados genera menos desechos tóxicos, menos contaminación por productos químicos y menos impacto en los ecosistemas cercanos a las minas o fábricas. Además, los productos reciclados suelen tener una huella ambiental más baja que los productos hechos de materiales vírgenes.

Generación de empleo: El reciclaje crea empleos en varias etapas del proceso, desde la recolección y clasificación de materiales hasta su procesamiento y fabricación de nuevos productos. Según estudios, la industria del reciclaje crea más puestos de trabajo que la gestión de residuos tradicional o la incineración, lo que puede ser un motor importante para la economía local y el desarrollo de nuevas habilidades.

Fomento de la economía circular: El reciclaje es una parte clave de la economía circular, un modelo económico que promueve el uso eficiente de los recursos y el cierre de los ciclos de producción. En lugar de "tomar, hacer y desechar", la economía circular busca reutilizar, reciclar y reducir los residuos, lo que permite una gestión más sostenible de los recursos y una menor dependencia de los recursos naturales finitos.

Conciencia ambiental y educación: El reciclaje promueve la conciencia ambiental en la sociedad. Al aprender a separar los residuos correctamente y conocer los beneficios de reciclar, las personas se vuelven más conscientes del impacto que sus hábitos de consumo tienen en el medio ambiente. Esto puede fomentar comportamientos más responsables, como la reducción de residuos, la compra de productos reciclables y el apoyo a políticas y prácticas sostenibles.

Mejora de la calidad de vida y la salud pública: Un sistema de reciclaje eficiente contribuye a la mejora de la calidad de vida, ya que reduce la cantidad de residuos en las calles y en vertederos, lo que a su vez disminuye la proliferación de plagas, malos olores y la contaminación en general. Esto puede reducir la incidencia de enfermedades asociadas a la acumulación de basura y la exposición a contaminantes.

Reducción de la dependencia de vertederos e incineradoras: Los sistemas de reciclaje reducen la cantidad de desechos que deben ser enviados a vertederos o incineradoras, disminuyendo la presión sobre estas instalaciones. Esto, a su vez, prolonga la vida útil de los vertederos existentes y reduce la necesidad de construir nuevas instalaciones, lo que puede ser costoso y ambientalmente perjudicial.

2.12 Tipos de materiales reciclables y su impacto

- **Papel y cartón:** El reciclaje de papel y cartón ayuda a reducir la tala de árboles, ahorrar agua y energía, y disminuir la contaminación del aire. El papel reciclado también tiene una huella ambiental más baja que el papel producido de pulpa virgen.
- **Plástico:** El reciclaje de plástico reduce la cantidad de plástico que termina en los océanos y en los vertederos, evitando la contaminación marina y el daño a la vida silvestre. Además, el reciclaje de plásticos reduce la dependencia de los derivados del petróleo.
- **Vidrio:** El reciclaje de vidrio ahorra una gran cantidad de energía, ya que el vidrio reciclado se puede reutilizar infinitamente sin perder calidad. Además, reduce la cantidad de desechos que terminan en los vertederos y minimiza la extracción de materias primas como la arena y el carbonato de sodio.
- **Metales (aluminio y acero):** Reciclar metales, como el aluminio, requiere una fracción de la energía necesaria para producir nuevos metales. El reciclaje de metales también ayuda a reducir la minería y sus impactos negativos en el medio ambiente.

2.13 Marco contextual

2.13.1 Ubicación geográfica municipio de Apizaco

El municipio de Apizaco se encuentra ubicado entre los paralelos 19° 22' y 19° 29' de latitud norte y los meridianos 98° 03' y 98° 10' de longitud oeste, con una altitud entre 2 400 y 2 500 metros sobre el nivel del mar. Su extensión ocupa el 1.1% de la superficie del estado.

Cuenta con 18 localidades y hasta el año 2009 el municipio registró 76 492 habitantes Colinda al norte con el municipio de Tetla de la Solidaridad; al este con los municipios de Xaloztoc y Tzompantepec; al sur con los municipios de Sta. Cruz Tlaxcala y Amaxac de Guerrero; al oeste con los municipios de Yauhquemecan, Xaltocan y Muñoz de Domingo Arenas. (tlaxcala, 2016)

Situación Geográfica y Demográfica

Apizaco, conocido como "El Corazón de Tlaxcala", cuenta con una población aproximada de 80,000 habitantes, lo que lo convierte en una de las zonas urbanas más densas del estado. Su crecimiento poblacional y urbano ha incrementado la generación de residuos sólidos, exigiendo soluciones integrales para su manejo adecuado.

Infraestructura

Apizaco cuenta con una infraestructura bien desarrollada que incluye carreteras, transporte público eficiente, hospitales y escuelas. Además, su ubicación permite una conectividad fácil con otras ciudades importantes del país.

Generación de Residuos

En Apizaco, los residuos sólidos municipales (RSM) consisten principalmente en:

- Residuos orgánicos: Restos de alimentos, podas de jardines y desechos de mercados.
- Residuos inorgánicos: Plásticos, metales, vidrios, cartón y otros materiales reciclables o no reciclables.

La generación promedio de residuos per cápita es de aproximadamente 0.85 kg al día, lo que implica una producción diaria de más de 68 toneladas de residuos en el municipio.

Sistema Actual de Gestión de Residuos

El manejo de residuos en Apizaco se basa en:

- **Recolección y transporte:** Operado por el servicio municipal, con rutas predefinidas. Sin embargo, enfrenta problemas de cobertura y frecuencia.
- **Disposición final:** Los residuos se depositan en un relleno sanitario, cuya capacidad y estado presentan limitaciones para una gestión eficiente y ambientalmente responsable.
- **Reciclaje y separación:** Existe poca infraestructura para promover la separación en origen y el reciclaje, lo que reduce las tasas de recuperación de materiales.

Normatividad y Marco Legal

La gestión de residuos sólidos en México está regulada por leyes y normas como:

- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).
- Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, que establece especificaciones para la disposición final de residuos sólidos urbanos.

Legislación local del estado de Tlaxcala para promover estrategias de manejo integral de residuos

2.13.2 Ubicación geográfica del relleno sanitario Mena

El relleno sanitario se encuentra en el Kilómetro 13+500, carretera federal No. 119 tramo Apizaco- Latitud Norte Tejocotal (Ejido Col. 19° 31' 23", Longitud Oeste 98° Morelos 07' 17.7" (Tlaxcala, 2016)



Ilustración 2

Tendencia de la tierra de Mena

Está ubicado en un ejido de Morelos municipio de Apizaco, mediante un convenio anual 2005 \$130,000.00 en 2006 150,000.00 al no cumplir se serraría el relleno sanitario.

Existe la probabilidad de adquirir 10 hectáreas y con esto podemos proyectar la extracción de bonos de carbono.

El relleno sanitario de Morelos recibe diariamente alrededor de 287 toneladas de basura provenientes de los municipios de Amaxac, Apizaco, Atlangatepec, Cuaxomulco, Emiliano Zapata, Lázaro Cárdenas, Muñoz de domingo Arenas, San Luis Tecopilco, Santa Cruz Tlaxcala, Terrenate, Tetla, Tlaxco, Tocatlan, Tzompantepec, Xalostoc, Xaltocan, Yahuquemecan

2.13.3 Ubicación geográfica del relleno sanitario Huamantla

El relleno sanitario se encuentra en la ciudad de Huamantla, tomando la carretera pavimentada que va a Benito Juárez y al llegar a la población se siguen 2 km de camino de terracería con dirección oriente con respecto a la población en mención, hasta llegar a la barranca denominada “la Gatera” lugar donde se ubica el relleno sanitario. Latitud Norte 19° 22’ 50” Longitud Oeste 97° 53’ 53

El relleno sanitario de Huamantla recibe diariamente alrededor de 139 toneladas de basura diaria, provenientes de los municipios de Alzayanca, Cuapiaxtla, Huamantla, Ixtenco, Teacalco, El Carmen Tequexquitla, San Pablo Zitlaltepec.

A continuación, se muestra la tabla con datos del relleno sanitario de Mena, el cual cubre generación de basura en el municipio de Huamantla

Tabla 4

Superficie	Capacidad disponible (m3)	Ingreso	Municipios	Servicio	Población beneficiada	Maquinaria/equipo	Personal
8 hectáreas	170289	139 ton/ Diaria	7	5	169,996 habitantes	Tractor D7 -G	1 operadores

Tendencia de la tierra Huamantla

Es el sitio donde se ubica el relleno sanitario, el cual pertenece a ejidatarios de la localidad de Benito Juárez, para lo cual el 08 de octubre de 1990 se celebra un convenio en comodato entre el SICORT, a través del secretario de la SECODUVI y el comisariado ejidal de la misma localidad, por un periodo de 10 años. Se hizo nuevamente un nuevo convenio en octubre del 2000 con una vigencia de tres años. Actualmente se están haciendo las gestiones para la realización de un nuevo convenio entre la Coordinación General de Ecología y los ejidatarios de Benito Juárez.

2.13.4 Ubicación geográfica del relleno sanitario Panotla

El área del relleno sanitario se encuentra ubicada en la porción suroeste del estado de Tlaxcala, al norte-poniente de Panotla, en la localidad Santa Cruz Techachalco. Latitud norte 19° 19´ 20" Longitud oeste 98° 17´ 01"

El relleno sanitario de Panotla recibe alrededor de 490 toneladas de basura diariamente provenientes de los municipios de Apetatitlan, Axocomanitla, Acuamanala, Contla de Juan Cuamatzi, Chiautempan, Huatzingo, Ixtacuixtla, Nativitas, Panotla, Nopalucan, Teacalco, Teolocho, Tepetitla, Tepeyanco, Tetlanohcan, Tetlahuaca, Texoloc, Tlaltelulco, Tlaxcala, Totolac, Xicohtzinco, Zacatelco, Zacualpan, Xiloxotla.

A continuación, se muestra la tabla con datos del relleno sanitario de Mena, el cual cubre generación de basura en el municipio de Panotla

Tabla 5

Superficie	Capacidad disponible (m3)	Ingreso	Municipios	Servicio	Población beneficiada	Maquinaria/equipo	Personal
69 hectáreas	2025509	490 ton/ Diaria	29	57	614,713 habitantes	Cargador 953 c	4
						Tractor D6-R	operadores
						Tractor D6-R	5 auxiliares
						Tractor D6-C Camión de volteo	

Tendencia de la tierra Panotla

Los terrenos iniciales donde se construyó la obra pertenecen a la mina de Tonsil Mexicana S.A. DE C.V., para lo cual el día 30 de agosto de 1991 se celebró un convenio en comodato entre SICORT y el representante legal de la mina, para la utilización del predio denominado Texopa Tlachinola como relleno sanitario por un periodo de cinco años. (Actualmente propiedad del gobierno del estado).

CAPITULO III: DESARROLLO

3.1 Diagrama de flujo

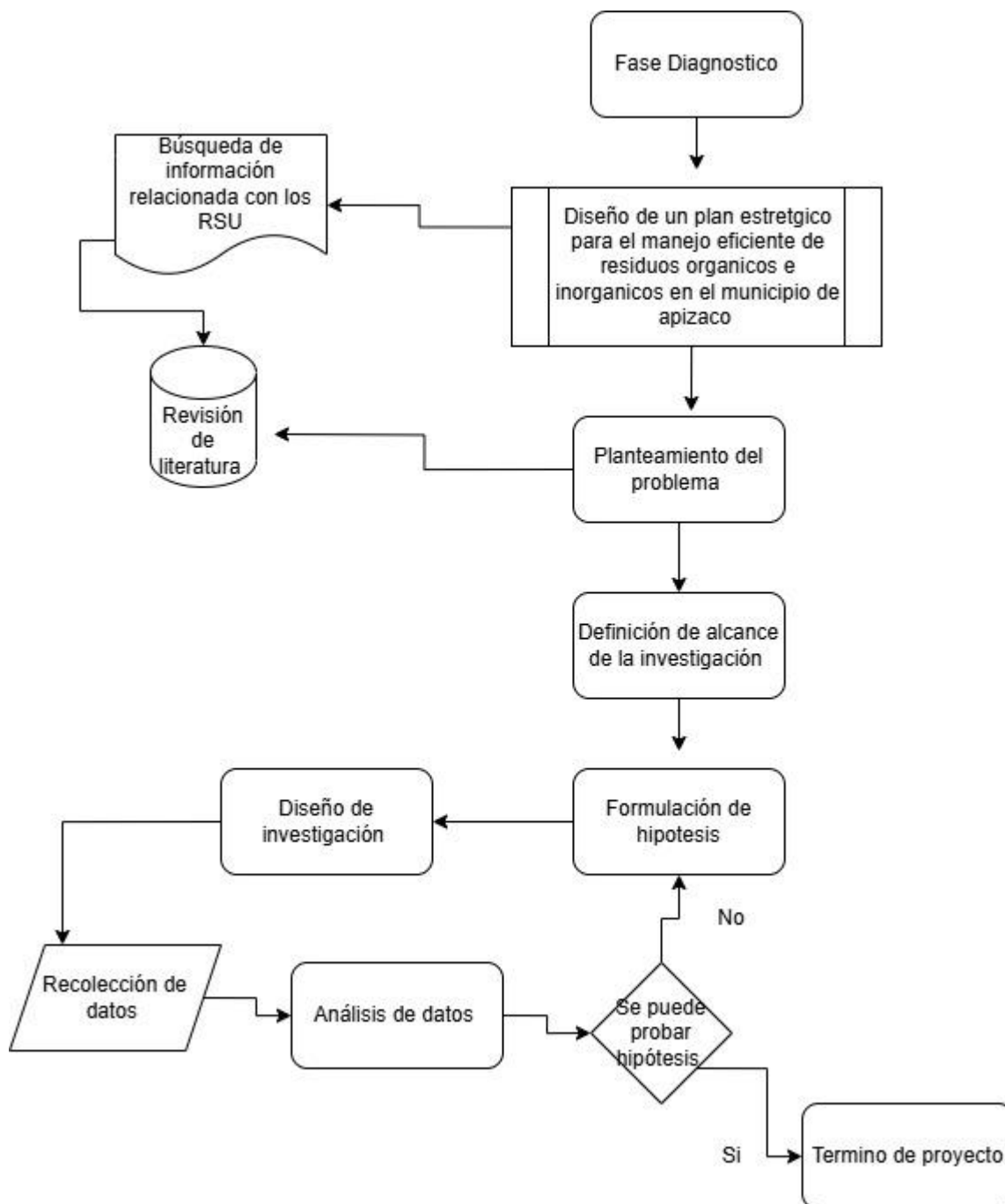


Ilustración 3

3.2 Recolección de datos

Región Apizaco

La información que conforma el diagnóstico básico del municipio de Apizaco fue proporcionada por el Gerente de Servicios el C. Gustavo Bello Monjarás.

El servicio de recolección de basura en el municipio de Apizaco se encuentra concesionado a la empresa “Promotora Ambiental de la Laguna”. En promedio se recolectan 75.80 ton/día de basura, las cuales se disponen en el relleno sanitario ubicado en el ejido de la colonia José María Morelos ubicado en la carretera Apizaco-Tlaxco Km. 13 en el municipio de Tetla de la Solidaridad.

La cobertura del servicio de recolección es del 100% de la población, lo cual evita los problemas ocasionados por una mala disposición como tiraderos clandestinos, entierro o quema de basura, este servicio se proporciona a la cabecera municipal y a siete comunidades que pertenecen al municipio: Guadalupe Texcalac, Sta. María Texcalac, Santa Anita Huiloac, San Isidro, Cerrito de Guadalupe, colonia Morelos y San Luis Apizaquito, la recolección en estas comunidades suma el 80% de la generación total en el municipio. La recolección se hace sin separar los residuos orgánicos de los inorgánicos.

El servicio de recolección cuenta con los siguientes equipos para realizar el servicio:

Parque vehicular

En la siguiente tabla se muestra cada uno de los vehículos utilizados en la recolección de basura.

Tabla 6

No. Prog	Descripción del vehículo	Número económico	Modelo	Color	Marca
1	camión compactador	101	2007	Blanco	International
2	camión compactador	102	2007	Blanco	International
3	camión compactador	103	2011	Blanco	International
4	camión compactador	104	2003	Blanco	International
5	Camión caja de volteo	105	2000	Blanco	Inter.Navistar
6	camión compactador	106	2003	Blanco	International
7	camión compactador	109	2019	Blanco	International
8	camión compactador	110	2020	Blanco	Internacional 4300
9	camión compactador	111	2023	Blanco	Isuzu
10	camión compactador	112	2023	Blanco	Isuzu
11	camión compactador	113	2004	Blanco	Freighliner
12	camioneta caja de volteo	530	2003	Blanco	Ford f350
13	caja de transferencia	s/n	s/n	Azul	S/M
14	Barredora hidráulica	s/n	s/n	Amarillo	Karcher

RUTAS

En la siguiente tabla se muestran las rutas de recolección y la frecuencia del servicio:

Tabla 7

Ruta recolección	Unidad destinada a la recolección	Frecuencia de recolección	Horario y lugar donde se realiza la recolección
Sur 1	1948	Lunes, miércoles y viernes	• 07:00 a.m. Av. Francisco I madero y Av. Lardizábal Hacia el sur, Bulevar la libertad • 08:00 a.m. Aquiles Serdán, Jesús Carranza, Lardizábal hacia Josefa Ortiz Hasta gasolinera. Unidad Habitacional san diego Crom y La Cañada • 09:00 a.m. Fracc. Zaragoza • 10:00 a.m. Jardines de Apizaco y Col. Covadonga • 11:00 a.m. Escuela Héroes de Nacozari y Cobat 10 • 12:00 p.m. Camino nacional por el Hotel mamucas • 01:00 – 03:00 p.m. Santa Anita Huiloac • 04:00 - 05:00 p.m. Linda vista

Norte 1	1948	Martes, jueves y sábado	• 07:00 a.m. Col 20 de nov. y calle Morelos por las vías • 08:00 a.m. Col 20 de nov. Y campo de futbol hasta la universidad • 09:00 a.m. Calzada Apizaquito • 10:00 a.m. El calvario rumbo a coporos y regresa al calvario • 11:00 a.m. Fracc. las flores, casa hogar • 12:00 p.m. Fracc. la presa • 01:00 p.m. Fracc. San Luis • 02:00 p.m. Coporo 1 • 03:00 p.m. Coporo 2 y colonia Tulio Hernández • 04:00 p.m. Cerrito de Guadalupe • 05:00 p.m. Santa Rosa y Granjas de Guadalupe • 06:00 p.m. Hogares ferrocarrileros y Fuentes de Actipan
Sur 2	1949	Lunes, miércoles y viernes	• 07:00 – 10:00 a.m. Real del Valle • 10:00 a.m. La perla, Fracc. Villa Real, Fraccionamiento San diego 94 • 11:00 a.m. Fracc. Apatlahuaya • 12:00 p.m. Paso de Cortez y Boulevard del sol • 01:00 p.m. Calle Pinos y Linda Vista • 02:00 p.m. Calle Pinos y Linda Vista • 03:00 p.m. Av. 16 de septiembre hacia el sur con calle 2 de abril, • 04:00 p.m. Aquiles Serdán y Col. Covadonga

			• 05:00 p.m. Loma Verde y Foviste • 06:00 p.m. Loma Florida 1 y 2
Norte	1949	Martes, jueves y sábado	• 07:00 a.m. Calle Lázaro García y Carretera a Huamantla, Col. San Isidro • 08:00 a.m. Col. 10 de mayo a Texcalac • 02:00 p.m. Relleno Sanitario • 03:00 p.m. Col. Emilio Sánchez Piedras • 05:00 p.m. Col. Ferrocarrilera
Centro Norte	1952	Martes, jueves y sábado	• 07:00 a.m. Col. Morelos • 08:00 a.m. Fracc. San Rafael Atlixac • 09:00 a.m. Col. Indeco • 10:00 a.m. Col del Carmen • 11:00 a.m. Col. El Carmen, Avenida Venustiano Carranza y Libertad, de Boulevard La Libertad a Emilio Carranza • 12:00 p.m. Av. Zaragoza y Mariano Matamoros, de Boulevard La Libertad a Emilio Carranza • 01:00 p.m. Av. Xicohténcalt de Blvd. La Libertad a Emilio Carranza • 02:00 p.m. Av. Cuauhtémoc de Boulevard La Libertad a Emilio Carranza • 03:00 p.m. Av. Juárez e Hidalgo, de Boulevard La Libertad a Emilio Carranza • 04:00 p.m. Av. Morelos y Libertad, de Boulevard La Libertad a Emilio Carranza

Centro Sur	1952	Lunes, miércoles y viernes 1952	• 07:00 a.m. Privada Lardizábal y Fracc. San Rafael Atlixac • 08:00 a.m. Fracc. Doctores y Col. Indeco • 09:00 a.m. Calle Lardizábal hasta Emilio Carranza • 10:00 a.m. Col. San Martín, Moctezuma y Barberan y collar, hacia Zaragoza y hasta Libertad • 11:00 a.m. Calle Xicohténcatl y Calle Cuauhtémoc • 12:00 p.m. Hidalgo y Morelos • 01:00 p.m. Relleno Sanitario • 02:00 p.m. La Ciénega • 03:00 p.m. Nuevo México • 05:00 p.m. Col. Loma Florida 2
Centro	1953	Lunes a Sábado	• 07:00 a.m. 16 de Sep. Inicia con "Tortas la texana", contenedores del Mercado Guadalupe • 07:30 a.m. Blvd. Emilio Sánchez Piedras de La Libertad a Lardizábal • 08:00 a.m. Av. 5 de mayo de Lardizábal a Libertad • 08:30 a.m. Av. 16 de septiembre de Libertad a Lardizábal • 09:00 a.m. Av. 5 de febrero de Lardizábal a 20 de nov. • 09:30 a.m. Av. Libertad de 16 de Sep. a Emilio Carranza • 10:00 a.m. Av. Morelos de Emilio Carranza a 16 de septiembre • 10:30 a.m. Av. Juárez de 16 de septiembre a Emilio Carranza • 11:00 a.m. Mercado 12 de Mayo

			• 11:30 a.m. Av. Hidalgo de Emilio Carranza a 16 de septiembre • 12:00 p.m. Av. Cuauhtémoc de 16 de septiembre a Emilio Carranza • 12:30 p.m. Av. Xicohténcatl de Emilio Carranza a 16 de septiembre • 01:00 p.m. Av. Matamoros de 16 de septiembre a Emilio Carranza • 01:30 a.m. Av. Zaragoza de Emilio Carranza a 16 de septiembre • 02:00 p.m. Av. Venustiano Carranza de Emilio Carranza a 16 de septiembre • 02:30 a.m. Av. Lardizábal de 16 de Sep. a Emilio Carranza • 03:00 p.m. Mercado 12 de mayo • 03:30 a.m. Contenedores UTB • 04:00 p.m. Contenedores Panteón • 04:30 a.m. Contenedores Mercado Guadalupe • 05:00 p.m. Contenedores Cereso, Texcalac, Ojito
--	--	--	---

Relleno sanitario

A continuación, se muestra la tabla con datos del relleno sanitario de Mena, el cual cubre generación de basura en el estado de Apizaco.

Tabla 8

Superficie	Capacidad disponible (m3)	Ingreso	Municipios	Servicio	Población beneficiada	Maquinaria/equipo	Personal
15 hectáreas	197603	216 ton/ Diaria	16	25	287329 habitantes	Cargador frontal Tractor D7-R	3 operadores

						Camión de volteo	3 auxiliares
						Obdiac	

3.2.1 Generación promedio de residuos producidos en Apizaco

Es importante conocer información de la región con la cual se va a trabajar, de acuerdo con información recolectada se generó la tabla siguiente que maneja el promedio de residuos en el municipio

Tabla 9

Región	Confiabilidad del muestreo	Tamaño final de la muestra	Generación Per cápita (kg/hab/día)	Generación por vivienda (kg/vivienda/día)
Apizaco	90	96	0.453	1.772

Volumen promedio de los RSU

Tabla 10

Generación promedio de residuos sólidos urbanos (m3)	
Generación	Región Apizaco
Peso volumétrico Promedio diario	132.834
Volumen Promedio Diario (m3)	1.321

Distribución porcentual de los subproductos de los RSU en la Región Apizaco

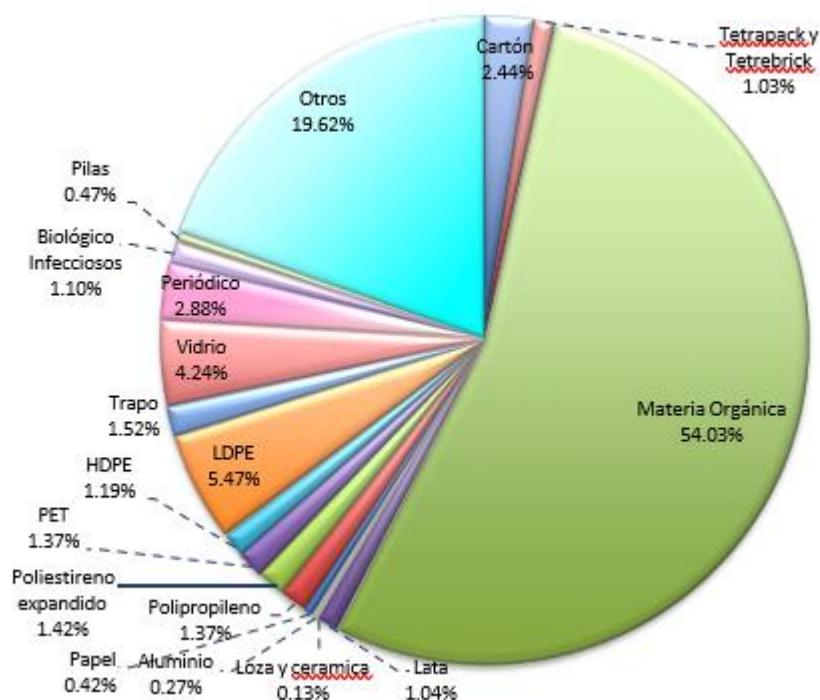


Ilustración 4

Tabla 11

Subproducto	Generación en Kg.	%
Cartón	1.92	2.44
Tetrapack y Tetrabrick	0.81	1.03
Materia Orgánica	42.55	54.03
Lata	0.82	1.04
Loza y cerámica	0.11	0.13
Aluminio	0.21	0.27
Papel	0.33	0.42
Polipropileno	1.08	1.37
Poliestireno expandido	1.12	1.42
PET	1.08	1.37
HDPE	0.94	1.19
LDPE	4.31	5.47
Trapo	1.19	1.52
Vidrio	3.34	4.24

Periódico	2.26	2.88
Biológico Infecciosos	0.86	1.10
Pilas	0.37	0.47

Otros	15.45	19.62
Total	78.76	100.00

3.2.2 Composición y generación de los RSU en la Región

Situación actual para el manejo de los residuos en el estado de Tlaxcala

Tabla 12

No.	Municipio	Volumen de basura recolectada (Ton/día)	Unidades de recolección	Personal en el servicio de limpia		Sitio de disposición	% de la población atendida por el servicio de recolección
				Barrido	Recolección		
1	Apetatitlán de Antonio Carvajal	5	4	13	8	Tetla	90
2	Apizaco	71.79	7	13	N/D	Morelos	100
3	Atlangatepec	6.345	2	2	3	Morelos	85
4	Atltzayanca	8	1	2	3	Huamantla	95
5	Calpulalpan	98	7	8	15	Nanacamilpa	85
6	Huamantla	70	10	41	42	Huamantla	100
7	Lázaro Cárdenas	3	2	3	3	Morelos	99
8	Mazatecochco de José María Morelos	12	2	0	4	Panotla	100
9	Nanacamilpa de Mariano Arista	9	2	4	4	Nanacamilpa	95
10	Santa Ana Chiautempan	65	8	30	22	Panotla	95
11	Santa Cruz Tlaxcala	10.5	3	3	6	Tetla	100
12	Tlaxcala	100	9	61	25	Panotla	100
13	Tzompantepec	6.7	2	5	5	Morelos	90
14	Villa el Carmen Tequexquitla	10	2	2	4	Huamantla	98
15	Zacatelco	40	5	13	12	Panotla	100

3.2.3 Cálculo de vida útil del relleno sanitario de Mena

Formula:

Ecuación 1

$$\text{Vida útil (años)} = \frac{\text{Capacidad disponible (m}^3\text{)} \times \text{Densidad } \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right)}{\text{Ingreso diario } \left(\frac{\text{ton}}{\text{día}}\right) \times 365}$$

Datos:

Ecuación 2

Capacidad disponible: 137603 m³

Ecuación 3

Ingreso diario: 216 $\frac{\text{toneladas}}{\text{día}}$

Ecuación 4

Densidad (asumida diaria). 85 $\frac{\text{toneladas}}{\text{m}^3}$

Calculo:

Ecuación 5

$$\text{Vida útil: } \frac{137603 \text{ m}^3 \times 0.85 \text{ ton/m}^3}{216 \frac{\text{ton}}{\text{día}} \times 365}$$

La vida útil estimada del relleno sanitario es de aproximadamente 2.13 años (alrededor de 2 años y 2 meses), considerando los datos proporcionados y una densidad de compactación de 0.85 toneladas por metro cúbico.

3.2.4 Cálculo de vida útil de relleno sanitario de Panotla

Formula:

Ecuación 6

$$\text{Vida útil (años)} = \frac{\text{Capacidad disponible (m}^3\text{)} \times \text{Densidad } \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right)}{\text{Ingreso diario } \left(\frac{\text{ton}}{\text{día}}\right) \times 365}$$

Datos:

Ecuación 7

Capacidad disponible: 2025509m³

Ecuación 8

Ingreso diario: 490 $\frac{\text{toneladas}}{\text{día}}$

Ecuación 9

Densidad (asumida diaria): 0.85 $\frac{\text{toneladas}}{\text{m}^3}$

Calculo:

Ecuación 10

$$\text{Vida útil: } \frac{2025509\text{m}^3 \times 0.85 \text{ ton/m}^3}{490 \frac{\text{ton}}{\text{día}} \times 365} = 9.63 \text{ años Equivalente a 9 años y 7 meses}$$

La vida útil estimada del relleno sanitario es de aproximadamente 9 años y 7 meses considerando los datos proporcionados y una densidad de compactación de 0.85 toneladas por metro cúbico.

3.2.5 Cálculo de vida útil de relleno sanitario de Huamantla

Formula:

Ecuación 11

$$\text{Vida útil (años)} = \frac{\text{Capacidad disponible (m}^3\text{)} \times \text{Densidad } \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3}\right)}{\text{Ingreso diario } \left(\frac{\text{ton}}{\text{día}}\right) \times 365}$$

Datos:

Ecuación 12

Capacidad disponible: 170289m^3

Ecuación 13

Ingreso diario: $139 \frac{\text{toneladas}}{\text{día}}$

Ecuación 14

Densidad (asumida diaria). $0.85 \frac{\text{toneladas}}{\text{m}^3}$

Calculo:

Ecuación 15

$$\text{Vida útil: } \frac{170289\text{m}^3 \times 0.85 \text{ ton/m}^3}{139 \frac{\text{ton}}{\text{día}} \times 365} = 2.85 \text{ Años Equivalente 2 años 10 meses}$$

La vida útil estimada del relleno sanitario es de aproximadamente 2 años y 10 meses (alrededor de 2 años y 10 meses), considerando los datos proporcionados y una densidad de compactación de 0.85 toneladas por metro cúbico.

CAPITULO IV: RESULTADOS

La gestión de residuos sólidos es uno de los desafíos más importantes para las ciudades en crecimiento como Apizaco. Actualmente, nuestro municipio depende de un relleno sanitario compartido con otros 15 municipios de la región, lo que no solo implica altos costos operativos, sino que también nos enfrenta a una situación crítica debido a la limitada vida útil de esta instalación, estimada en poco más de dos años. Esta dependencia limita nuestra capacidad para planificar y garantizar una solución sostenible a largo plazo para el manejo de los residuos de nuestros ciudadanos.

Contar con un relleno sanitario propio es una necesidad urgente y estratégica para Apizaco. Con la generación diaria de más de 216 toneladas de residuos, es esencial que tomemos el control directo de su disposición final, priorizando el cumplimiento de las normativas ambientales y la implementación de tecnologías modernas que minimicen los impactos negativos en el medio ambiente. Un relleno sanitario propio nos permitirá optimizar recursos, reducir costos de transporte, generar empleos locales y manejar de manera eficiente los desechos que se producen en el municipio.

Además, esta infraestructura permitirá a Apizaco integrar programas de separación, reciclaje y valorización de residuos, lo que contribuirá a disminuir el volumen de desechos enviados al relleno y prolongará su vida útil. También será una oportunidad para innovar con proyectos de aprovechamiento de biogás o

compostaje de residuos orgánicos, alineándonos con las metas de sostenibilidad y cuidado ambiental que demandan los tiempos actuales.

Tener nuestro propio relleno sanitario no es solo una inversión en infraestructura, sino una inversión en el bienestar de las futuras generaciones de Apizaco. Es momento de actuar con visión y responsabilidad, garantizando un manejo adecuado de los residuos y protegiendo nuestro entorno. Apizaco merece una solución propia, eficiente y sostenible para la gestión de sus desechos.

4.1 Cuadro comparativo

En el siguiente cuadro comparativo se presenta información detallada de los rellenos sanitarios cercanos a Apizaco:

Tabla 13

Relleno sanitario	Hectáreas	Capacidad disponible	Vida útil Años	
Mena	15	197603 m3	2.13 años	2 años y 3 meses Aprox.
Panotla	69	2025509 m3	9 .63 años	9 años y 7 meses Aprox.
Huamantla	8	170 289 m3	2 .85 años	2 años y 10 meses Aprox.

Al presentar un cierre de los rellenos sanitarios en los próximos años, la construcción de un relleno sanitario exclusivo para Apizaco es inevitable.

4.2 Realización de un relleno sanitario de manera ingenieril

Un relleno sanitario es una infraestructura diseñada para la disposición final de residuos sólidos de manera controlada y ambientalmente segura. Su construcción

requiere un enfoque ingenieril integral que asegure la minimización de impactos ambientales y riesgos a la salud pública.

4. 3 Requisitos y Normatividad

La tecnología del relleno manual tiene sus límites. La compactación del material es menos eficiente, y por consecuencia, la estabilidad del cuerpo de basura no permite alturas elevadas. Esta situación resulta en la necesidad de un mayor espacio con el consecuente aumento en la producción de aguas lixiviadas. No obstante, estas desventajas, suele ser la solución más conveniente para municipios y comunidades pequeñas, municipios ubicados en sitios aislados y municipios con fondos escasos. Los rellenos sanitarios con compactación mecanizada son la tecnología apropiada para municipalidades medianas y grandes que producen una cantidad diaria de basura que no sería factible manejar completamente a mano. Estos municipios disponen generalmente de fondos más adecuados y también de personal técnico capacitado. En el relleno sanitario mecanizado trabajan generalmente uno o dos tractores compactadores que realizan los trabajos de colocación, compactación y cubierta de los desechos; y las excavaciones y el transporte necesario para suministrar nuevo material de cobertura. Los trabajos de mantenimiento se pueden hacer manualmente o con apoyo de maquinaria, dependiendo de la disponibilidad y necesidad de estas máquinas (por ejemplo, excavación de cunetas manualmente o con retroexcavadora).

A continuación, se dan algunas recomendaciones indicando en qué situación se preferiría qué tipo de relleno sanitario. Se recomienda a cada municipalidad que

planifica construir un relleno sanitario hacer un estudio de factibilidad comparando las ventajas y desventajas de las dos tecnologías para el caso específico.

Tabla 14

Situación	Relleno Manual	Relleno con compactación mecanizada
Municipalidad o comunidad muy pequeña <5000 habitantes	Siempre se recomienda	NO
Municipalidad pequeña <50000	Se recomienda Generalmente	Se recomienda si se puede compartir con otros municipios cercanos.
Municipalidad Mediana 50000 - 200000	Solamente en circunstancias especiales (existe terreno vasto, no hay mano de obra especializada, mano de obra barata, no se dispone de maquinaria).	Se recomienda generalmente
Municipalidad Grande >200000 habitantes	NO	Siempre se recomienda.

De acuerdo con el municipio de Apizaco, cuenta con 81.570 Habitantes por lo que es recomendable tomar en cuenta el relleno con compactación mecanizada.

Criterios de Selección del Lugar

La selección del lugar para el relleno tiene tres componentes muy importantes:

Factores económicos:

- Distancia del área de procedencia de los desechos
- Distancia de otra infraestructura relevante (ej.: lombricultora)
- Propiedad del terreno en cuestión (valor, propiedad municipal o privada)
- Dimensiones del terreno
- Posibilidad de extensión del relleno

- Caminos de acceso

Factores ambientales:

- Protección de las aguas superficiales (existencia de fuentes superficiales o subsuperficiales, nacimientos de agua)
- Valor ecológico del terreno en cuestión
- Proximidad a áreas habitadas
- Barreras naturales (taludes, bosques)
- Morfología del terreno (posibilidad de evacuar las aguas lixiviadas con pendiente natural)
- Existencia de áreas protegidas
- Nivel de las capas freáticas; se prefiere una profundidad mayor a 3 m durante todo el año. - Climatológicas (Viento predominante, precipitación)

Factores técnicos:

- Morfología del terreno: Se prefiere la construcción en terreno plano o ligeramente inclinado; entre 3 - 12 %.
- Condiciones sísmicas
- Presencia de fallas geológicas
- Estructura y composición del suelo (se prefieren suelos con alto porcentaje de arcilla para asegurar baja permeabilidad)
- Nivel de las capas freáticas
- Existencia de material apropiado para la cobertura
- Volumen de basura

Formas Comunes para el Rellenos Sanitarios.

La forma del relleno sanitario depende de la topografía del terreno previsto para ese uso. Las formas más comunes para un relleno sanitario se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 15

Relleno manual	Relleno con compactadora
Excavación de celdas en un terreno plano	Colina Artificial sobre un terreno plano
Construcción de celdas terraceadas sobre un talud	Relleno en una quebrada seca Relleno al lado de un talud Relleno de un hueco o una fosa

Se muestran las formas topográficas diferentes para rellenos con maquinaria:

Formas posibles del cuerpo de basura en un relleno equipado con compactadora

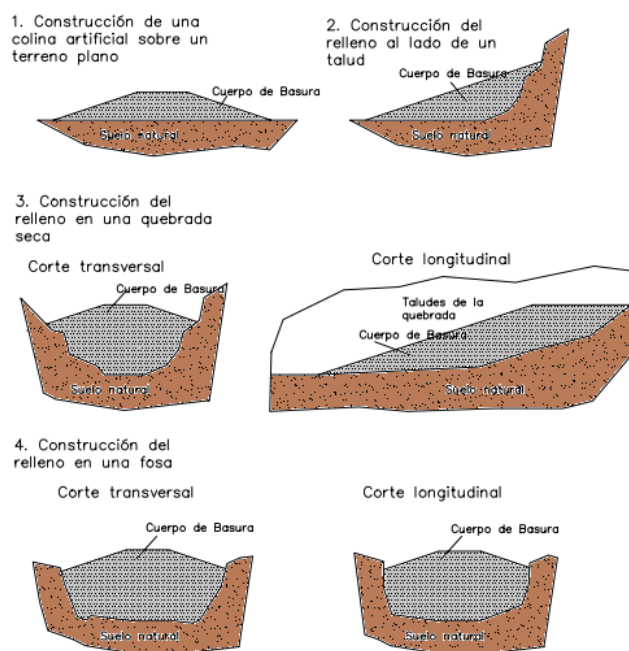


Ilustración 5

Seguridad y Estabilidad del Relleno Sanitario Compactado con Maquinaria.

Los rellenos sanitarios que emplean maquinaria compactadora suelen construirse en forma de colinas artificiales, teniendo en cuenta la estabilidad del terreno y la configuración topográfica del área. Es esencial garantizar la estabilidad tanto de la base como de los taludes, especialmente cuando los residuos depositados son reciclables y biodegradables, ya que estos materiales permiten una mejor compactación y disminuyen el riesgo de deslizamientos. Por el contrario, la presencia de materiales biodegradables puede afectar la estabilidad debido a la humedad y los procesos de descomposición.

En terrenos inclinados, como quebradas secas, es crucial analizar tanto la pendiente natural del terreno como la inclinación de los taludes del relleno. Si bien una inclinación más pronunciada permite aprovechar mayor volumen, también reduce la

estabilidad y aumenta el riesgo de derrumbes, particularmente en zonas sísmicas como Ecuador. Además, trabajar en terrenos demasiado inclinados o con un drenaje inadecuado dificulta la compactación y puede incrementar la posibilidad de colapsos parciales o totales del relleno.

Los peligros de la construcción de un cuerpo de basura con talud demasiado inclinado y de la construcción del relleno sanitario sobre un terreno muy inclinado son mostrados en el siguiente dibujo:

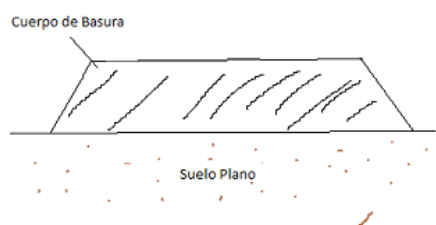


Ilustración 6

Cuerpo de Relleno Inestable



Ilustración 7

Construcción del fondo del relleno sanitario

Barrera Geológica

La barrera geológica es una capa de suelo natural de baja permeabilidad que se encuentra arriba de la primera capa freática. Lo ideal para la construcción de un relleno sanitario es si el terreno ya dispone de una barrera geológica. Son ideales suelos de:

- Arcilla
- Limo, loess
- Roca disgregada (morrena)
- Terreno margoso.

Los trabajos necesarios para la construcción de la capa mineral se muestran en el siguiente dibujo:

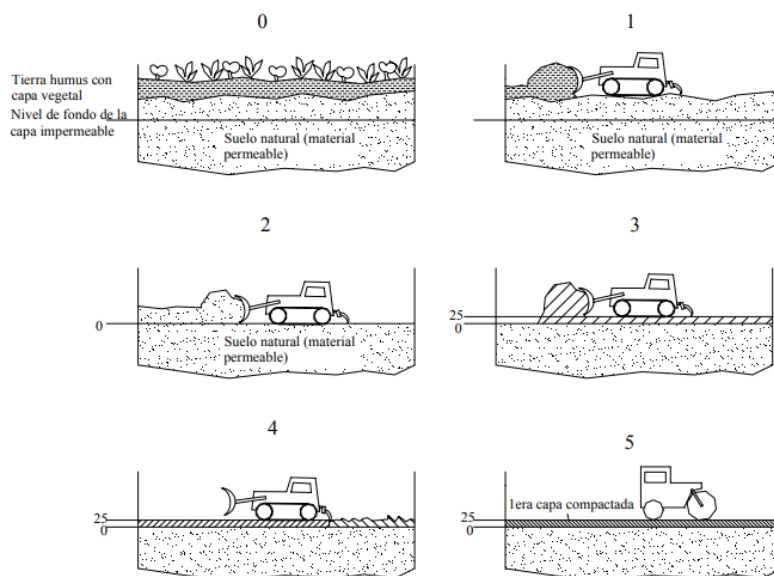


Ilustración 8

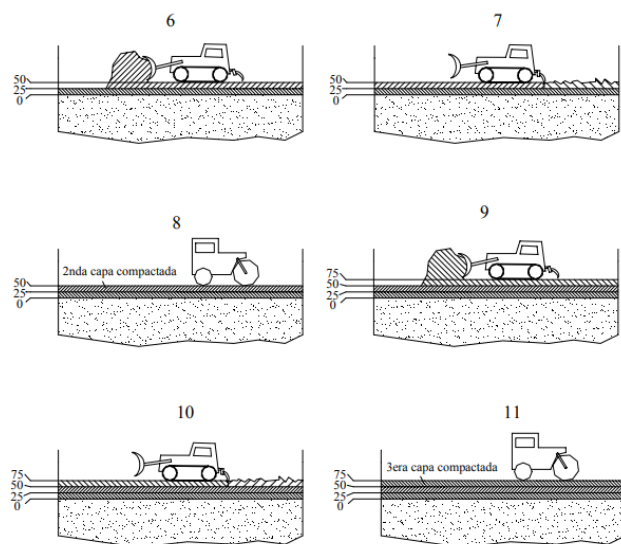


Ilustración 9

- | | |
|---|--|
| 0 Suelo natural | 6 Carga del segundo estrato con una espesor de 25 cm |
| 1 Excavación de la tierra superficial | 7 Escarificación y homogenización de la primera estrata hacia 30 cm de profundidad |
| 2 Preparación del terraplén (al nivel previsto para el fondo del relleno) | 8 Compactación del segundo estrato |
| 3 Carga del material para el primer estrato | 9 Carga del tercer estrato con una espesor de 25 cm |
| 4 Escarificación y homogenización del primer estrato hacia 30 cm de profundidad, si necesario, mezclar el material con el suelo natural | 10 Escarificación y homogenización del tercer estrato hacia 30 cm de profundidad |
| 5 Compactación del primer estrato | 11 Compactación del tercer estrato |

Ilustración 10

Nota: Preparación de la capa mineral cuando no existe una capa mineral natural, por Servicio Alemán de Cooperación Social- Técnica, 2002, DED (<https://www.ded.org.ec/>).

Capa de plástico

Se debe colocar una capa de plástico sobre la capa mineral, utilizando láminas de PEHD con un grosor mínimo de 2 mm o un material equivalente. Las propiedades físicas y químicas más importantes que deben cumplir estas láminas son las siguientes:

- No deben tener huecos, grietas, burbujas ni cavidades.
- No deben presentar torsiones diagonales.

- El grosor debe ser uniforme.
- Deben ser impermeables al agua, hidrocarburos clorados y no clorados, acetona y tricloroetileno.
- Deben ser resistentes al calor y a condiciones climáticas adversas.
- Deben ser resistentes a los roedores, lo cual se prueba mediante la exposición a ratas.
- Deben resistir el desgaste mecánico (como roturas y pinchazos).

Las dimensiones de las láminas de PEHD pueden variar según el fabricante. Existen recomendaciones para prolongar la vida útil de la capa plástica y mejorar la impermeabilidad del fondo del relleno sanitario.

Recomendaciones para rellenos manuales y presupuestos limitados.

Muchos municipios no tienen el presupuesto necesario para adquirir las capas de plástico y telas de ingeniería adecuadas. Este tipo de relleno requiere más espacio debido a su limitación en crecimiento vertical, lo que también genera más aguas lixiviadas debido a la menor compactación. Para municipios con recursos limitados, se sugieren las siguientes medidas:

1. Reducción de lixiviados y volumen de basura: Compostar la basura biodegradable reduce el volumen de residuos y las aguas lixiviadas. Esto facilita la creación de un suelo impermeable sin necesidad de la capa de plástico estándar, dependiendo de factores como la profundidad de las capas freáticas y la calidad del suelo natural.

2. Uso de materiales alternativos: Si el municipio quiere utilizar plástico, pero no tiene presupuesto, se puede optar por plástico PEHD reciclado o cubiertas de invernadero desechadas. Es esencial revisar cuidadosamente la integridad del material y sellar los huecos si es necesario.
3. Renuncia a la capa de plástico: En ciertos casos, como cuando se cuenta con un buen suelo natural, una barrera geológica adecuada, o un bajo nivel freático, es posible prescindir de la capa de plástico. También se puede considerar en zonas secas con baja pluviosidad.

En estos casos, los desechos tóxicos, peligrosos e infecciosos deben manejarse por separado, construyendo celdas especiales con suelo bien compactado, plástico y geotextil para evitar la contaminación de las aguas lixiviadas del relleno común. Las aguas lixiviadas de estas celdas pueden ser tratadas junto con las del relleno común, siempre que se garantice un buen aislamiento de los desechos peligrosos.

Criterios Mínimos Para la Base del Relleno

Dado que la construcción de la base ideal de un relleno sanitario es costosa y no siempre se dispone de una barrera geológica adecuada, es necesario definir criterios mínimos para la base del relleno. Los principales objetivos que se buscan alcanzar con la construcción de esta base son:

- Protección de los acuíferos.
- Evacuación controlada de las aguas lixiviadas para su posterior tratamiento en una laguna de tratamiento biológico u otra planta similar.

- Evacuación de las aguas lixiviadas para garantizar la estabilidad del cuerpo de basura.

Si no es posible alcanzar estos objetivos de manera óptima, se debe trabajar con los recursos disponibles, haciendo lo mejor posible dentro de las condiciones existentes. Es importante diferenciar entre áreas con alta o media precipitación y aquellas con muy baja. En regiones donde la precipitación anual no supere los 300 mm y se cuente con un canal adecuado para desviar las aguas lluvias, se espera que no haya problemas significativos con las aguas lixiviadas. Por lo tanto, en zonas extremadamente secas, es posible prescindir de algunos componentes de la capa base ideal. En áreas con alta pluviosidad o en regiones ecológicamente sensibles, la base del relleno sanitario no debe descuidarse, pero se pueden aplicar soluciones más económicas y simples.

Drenaje pasivo con chimeneas

Si se opta por un drenaje pasivo utilizando chimeneas, estas deben construirse durante la operación del relleno sanitario. Este sistema aprovecha la difusión horizontal del gas dentro del relleno, permitiendo que el gas se desplace hacia la chimenea más cercana y luego se libere de manera controlada al exterior. Las chimeneas tienen una alta permeabilidad para el gas, lo que reduce significativamente la cantidad de gas que se escapa por la superficie del relleno, en lugar de ser dirigido a través de las chimeneas. Existen dos métodos para construir las chimeneas de drenaje:

1. Una jaula de malla con cuatro soportes de madera, rellena con piedra bola o grava.
2. Un tubo perforado, también relleno con piedra bola o grava.

Parámetro	Chimenea construida de malla con puntales de madera	Chimenea con tubo perforado
Ancho de la chimenea	0.5 - 1 m	Ø 0.6 - 1.2 m
Material de construcción	Puntales: Madera (preferiblemente eucalipto o guadúa que se cultiva alrededor del relleno y que tiene la función de retener una parte de las aguas lixiviadas) Malla: Malla de acero; distancia entre los alambres < 2 cm	Plástico perforado La superficie total de los orificios debe ser 10 % de la superficie del tubo. Diámetro de los orificios: < 2 cm Material: Preferiblemente PEHD (puede ser fabricado de PEHD reciclado)
Material para llenar la chimenea	Piedra bola o grava. Es importante que no contenga cal, porque se descompone fácilmente la piedra con alto contenido de cal en la atmósfera agresiva de los gases de relleno	
Dimensiones de las piedras	Se utiliza preferiblemente piedra con un diámetro < 16 cm, lo que impide una rápida congestión por causa de material espeso o sólido ingresando a la chimenea. También es importante que sean pequeñas las piedras porque las piedras grandes se rompen bajo la influencia del calor extremo de la incineración de los gases de relleno.	
Distancia entre las chimeneas	25 - 30 m en rellenos manuales que tienen celdas con una altura de menos de 8 m 20 - 25 m en rellenos compactados donde el cuerpo de basura tiene una altura < 15 m 15 - 20 m en rellenos compactados donde el cuerpo de basura tiene una altura > 15 m	

Ilustración 11

Nota: Requerimientos para la construcción de una chimenea, por Servicio Alemán de Cooperación Social- Técnica, 2002, DED (<https://www.ded.org.ec/>).

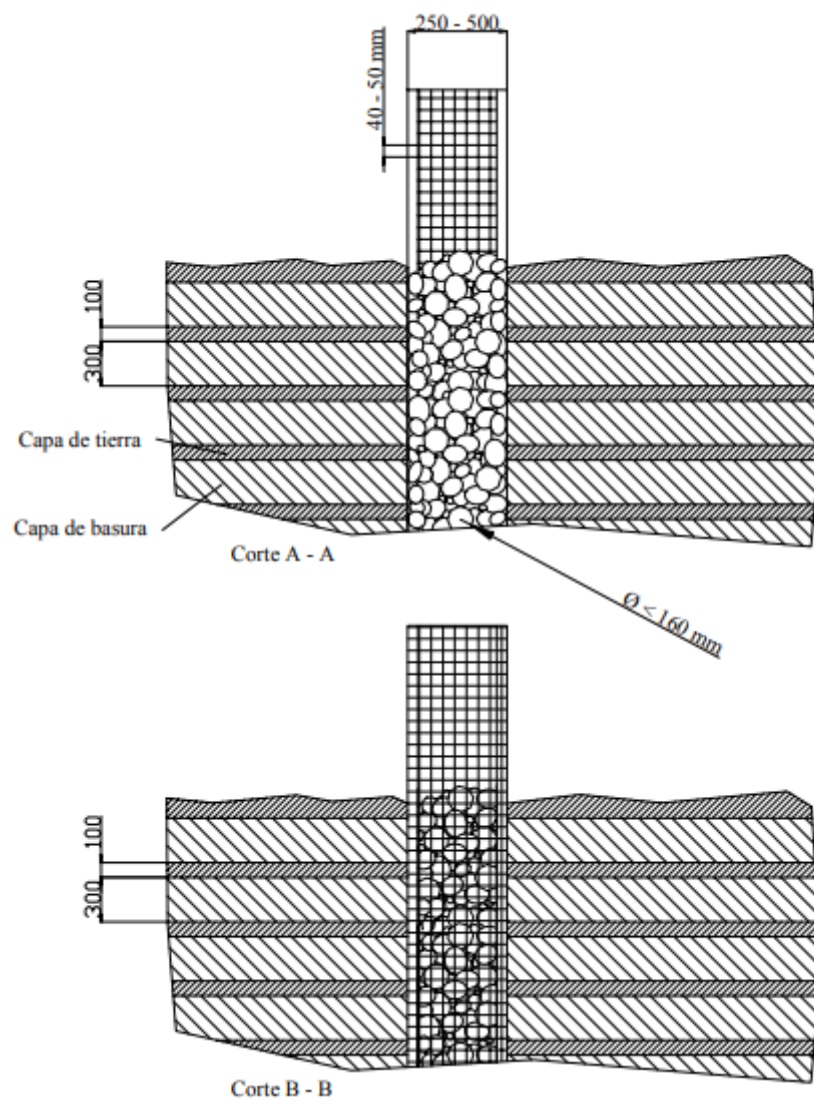


Ilustración 12

Nota: Chimenea con malla y puntales de drenaje pasivo, por Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica, 2002, DED (<https://www.ded.org.ec/>).

Disposición Final de los Desechos Peligrosos

Se recomienda siempre prever la disposición final de los desechos peligrosos de manera separada, en el siguiente cuadro se muestran los principales desechos peligrosos

Tabla 16

Categoría	Fuente	Tipos de desechos
Desechos domiciliarios	Domicilios Oficinas e instituciones Comercio	Pilas, restos de medicamentos. partes de equipo electrodoméstico y de oficina, restos de pintura, solventes o químicos domésticos
Desechos biopeligrosos	Hospitales, clínicas y policlínicas, consultorios, clínicas veterinarias, laboratorios farmacias	Medicamentos, jeringuillas, fundas de sangre, desechos contagiosos, químicos, desechos con contaminación radioactiva
Desechos industriales peligrosos	Fabricas Talleres	Toda clase de residuos peligrosos producidos por las actividades industriales, sobrantes de químicos materia prima, residuos del tratamiento de las aguas usadas.

En la mayoría de las ciudades es difícil recoger separadamente los desechos peligrosos de procedencia doméstica, ya que esto necesita una capacitación intensiva y una organización detallada. Por su complejidad se puede tomar a esta actividad como un paso ulterior del programa de clasificación domiciliaria. Para la recolección y disposición final diferenciada de los desechos industriales se debe realizar inicialmente un buen levantamiento de las diferentes industrias que son activas en la ciudad en cuestión. Este levantamiento debe comprender las actividades industriales, las materias primas, los tipos y cantidades de desechos producidos. En muchos casos, especialmente en las ciudades pequeñas y en las áreas rurales, no existe una mayor actividad industrial, y no se produce una cantidad significativa de desechos peligrosos. El tipo de

tratamiento y de disposición final es dependiente de las características de los desechos. En muchos casos es preferible exigir que la fábrica generadora del desecho organice su disposición final en su propio terreno. También existe muchas veces la posibilidad de valorar económicamente un desecho peligroso industrial vendiéndole a otra industria que puede utilizarlo como materia prima o auxiliar en su actividad.

Herramientas Necesarias en un Relleno con Compactación Mecanizada

Las herramientas necesarias en el relleno mecanizado son todas las que se utilizan para la construcción y el mantenimiento de cunetas, canales de drenaje, chimeneas, la arborización y el tratamiento de las aguas lixiviadas.



Ilustración 13



Ilustración 14

- **Drenaje de lixiviados**

Diseñar un sistema de captación y drenaje de lixiviados compuesto por:

Tuberías perforadas colocadas sobre la base impermeable.

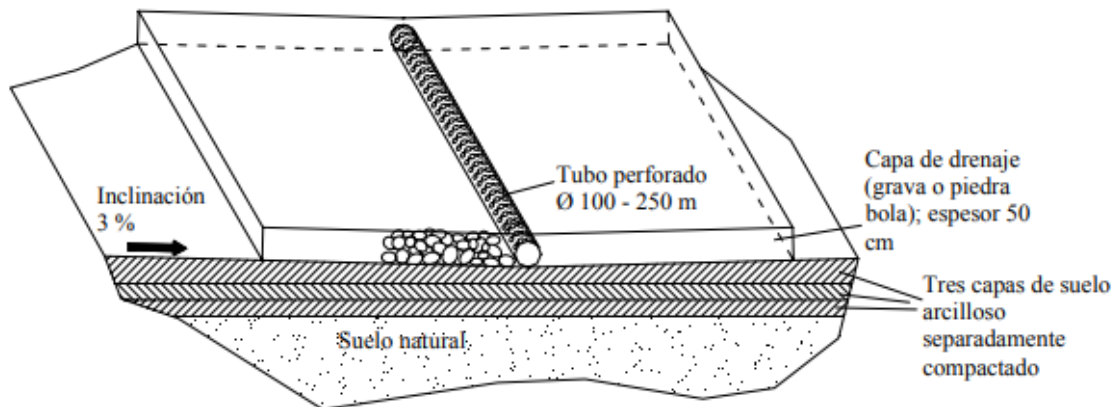


Ilustración 15

Nota: Posición del tubo dentro de la capa de drenaje, por Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica, 2002, DED (<https://www.ded.org.ec/>).

Para prevenir la acumulación de aguas lixiviadas y garantizar su conducción rápida y eficaz hacia la planta de tratamiento, se sugiere diseñar el fondo del relleno con una inclinación suave en forma de triángulos y colocar los tubos en el fondo de estos triángulos, siguiendo el sistema de espina de pescado. En rellenos de gran tamaño, se aconseja dividir el área en varias "cuencas", con un colector principal ubicado en el centro.

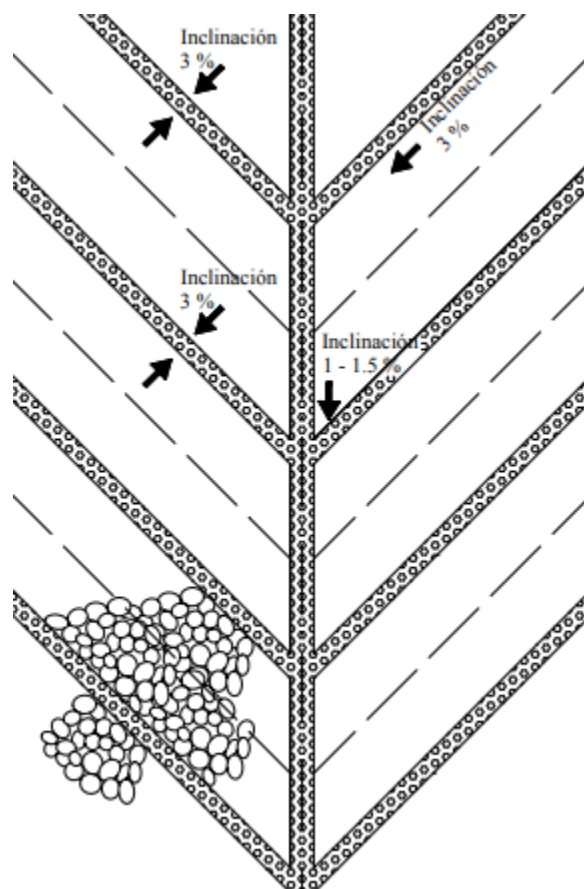


Ilustración 16

Nota: Colocación de la tubería de drenaje según el sistema "espina de pescado", por Servicio Alemán de Cooperación Social- Técnica, 2002, DED (<https://www.ded.org.ec/>).

Sistema de cobertura final

- Diseñar una capa final que incluya:
- Material impermeable (como arcilla y geomembranas).
- Cobertura vegetal para prevenir la erosión y fomentar la integración paisajística.

Operación

- Compactación y cobertura diaria: Compactar los residuos para optimizar el uso del espacio y cubrirlos con una capa de material inerte.

- Monitoreo continuo: Controlar la generación de lixiviados y gases, verificar la calidad de las aguas subterráneas y medir emisiones atmosféricas.

Cierre y Post-clausura

- Cierre técnico: Sellar el relleno sanitario con una cobertura final diseñada para prevenir infiltraciones y emisiones.
- Mantenimiento post-clausura: Monitorear durante al menos 30 años la calidad ambiental del sitio, el funcionamiento de los sistemas de drenaje y la estabilidad del terreno.

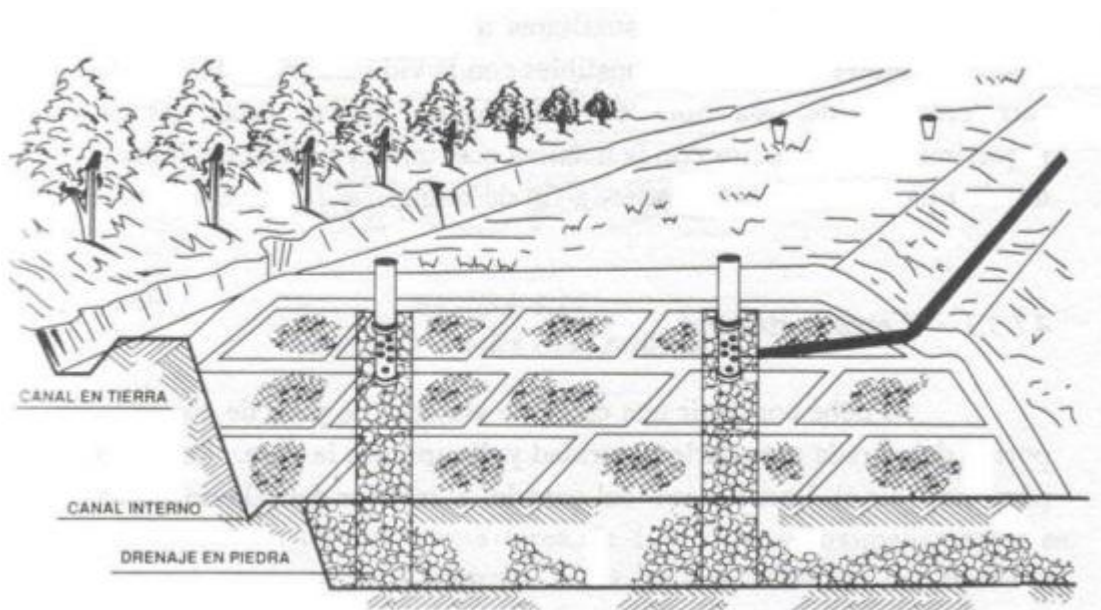


Ilustración 17

Normas para el diseño de un Relleno Sanitario.

En México, la construcción de rellenos sanitarios está regulada por diversas normas y disposiciones ambientales y de seguridad. A continuación, se presentan las

principales normativas relacionadas con la construcción y operación de rellenos sanitarios en el país:

1. Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003

"Criterios para la instalación, operación, cierre y abandono de los rellenos sanitarios"

- Esta norma establece los requisitos técnicos y operativos para la construcción, operación y cierre de los rellenos sanitarios en México. Regula los aspectos relacionados con la protección al medio ambiente y la salud pública durante la vida útil del relleno y su posterior cierre.
- Requisitos clave:
 - El diseño debe incluir una capa de impermeabilización adecuada en la base para evitar la filtración de lixiviados.
 - Los rellenos deben contar con sistemas de recolección y tratamiento de lixiviados.
 - Los taludes deben ser diseñados con un ángulo seguro para evitar deslizamientos.
 - Se deben realizar estudios de impacto ambiental previos y monitoreos regulares durante la operación.

2. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

"Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores"

- Esta norma regula la calidad del agua en cuerpos receptores, especialmente en relación con las descargas de lixiviados de los rellenos sanitarios. Los lixiviados generados deben cumplir con los límites establecidos para evitar la contaminación de fuentes de agua cercanas.

3. Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996

"Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales que se descargan a los sistemas de drenaje municipal"

- Relacionada con el control de la calidad del agua proveniente de rellenos sanitarios, esta norma regula los contaminantes que se pueden descargar en los sistemas de drenaje municipal.

4. Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005

"Clasificación y manejo de los residuos peligrosos"

- Establece los lineamientos sobre la clasificación y manejo de los residuos peligrosos. Los rellenos sanitarios deben contar con celdas especiales para residuos peligrosos que requieren un manejo y confinamiento específico.

5. Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-2015

"Procedimiento para la evaluación de la estabilidad de los rellenos sanitarios"

- Esta norma establece los procedimientos para evaluar la estabilidad de los rellenos sanitarios y prevenir deslizamientos o fallos estructurales que puedan comprometer la seguridad ambiental y la salud pública.

6. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

- Regula la gestión de residuos en México, promoviendo la reducción, reutilización y reciclaje, y especificando las obligaciones de los municipios y las autoridades responsables en la gestión de rellenos sanitarios.
- Establece lineamientos generales para la correcta disposición de residuos y establece sanciones en caso de incumplimiento.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

La fase de diagnóstico evidenció que el manejo actual de los residuos sólidos urbanos en Apizaco enfrenta retos significativos que limitan su eficiencia y sostenibilidad. Entre las principales problemáticas identificadas destacan la falta de infraestructura adecuada para la disposición final de residuos, la cual se traduce en una necesidad urgente de implementar un relleno sanitario que cumpla con las normativas ambientales vigentes y garantice una gestión segura de los desechos.

Asimismo, se identificó una limitada separación de residuos en la fuente, así como insuficiencias en la recolección y tratamiento de estos. Estas condiciones no solo incrementan los riesgos de contaminación ambiental, sino que también representan un desafío para el aprovechamiento de materiales reciclables y orgánicos.

La carencia de un relleno sanitario adecuado es un factor crítico que debe ser atendido prioritariamente dentro del diseño estratégico, complementado con la implementación de programas de educación ambiental, separación en la fuente y fortalecimiento de la infraestructura de recolección y transporte. Este hallazgo subraya la necesidad de adoptar un enfoque integral que permita no solo resolver las problemáticas actuales, sino también prevenir futuras complicaciones relacionadas con el crecimiento poblacional y el aumento de residuos generados.

La implementación de un relleno sanitario no solo representa una solución técnica, sino una oportunidad para avanzar hacia un modelo de gestión de residuos más responsable, sostenible y acorde con las necesidades del municipio de Apizaco.

CAPITULO VI: COMPETENCIAS DESARROLLADAS

La ejecución de este proyecto permitió adquirir competencias orientadas a la planificación estratégica, optimización de procesos, manejo de recursos, y diseño de sistemas enfocados en la sostenibilidad. Además, impulsa la capacidad para implementar soluciones innovadoras que involucren a la comunidad y a diversos actores sociales en la mejora de la gestión de residuos. Estas habilidades resultan valiosas para diseñar e implementar sistemas que promuevan un desarrollo sostenible, tanto a nivel municipal como en otras escalas.

Optimización de Procesos

- **Modelado de procesos:** Uso de diagramas de flujo y herramientas de simulación para analizar y mejorar la logística de recolección y disposición de residuos.

Implementación de Sistemas de Calidad

- **Aplicación de normativas y estándares:** Garantizar que los sistemas implementados cumplan con la NOM-083-SEMARNAT-2003 y otros estándares internacionales.

Diseño y Gestión de Proyectos

- **Planeación estratégica:** Uso de herramientas como el **Diagrama de Gantt** para programar y controlar las actividades del proyecto.

Sostenibilidad y Responsabilidad Social

- **Innovación sostenible:** Desarrollo de soluciones tecnológicas que integren eficiencia operativa con prácticas amigables con el medio ambiente.

Sistemas de Información y Análisis de Datos

- **Manejo de grandes volúmenes de datos:** Análisis de datos sobre generación de residuos, rutas de recolección y costos operativos para tomar decisiones basadas en evidencia.

Al concluir este proyecto, se logra no solo proponer una estrategia funcional para la gestión de residuos, sino también sentar las bases para un modelo replicable en otros contextos. La combinación de herramientas técnicas, educación ambiental e innovación fomenta una cultura de sostenibilidad que impacta positivamente en el medio ambiente y en la comunidad involucrada, marcando un paso importante hacia un futuro más responsable y consciente.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliografía

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, I. (2024). *Gob*. Obtenido de <https://www.gob.mx/imta/es/articulos/educacion-ambiental-conocimiento-y-accion-para-salvaguardar-el-planeta#:~:text=La%20educaci%C3%B3n%20ambiental%20es%20una%20poderosa%20herramienta%20para,integral%20del%20medio%20ambiente%20y%20fomentar%20pr%C3%A1ctica>
- Lifedear. (2024). Obtenido de <https://www.lifeder.com/residuos-inorganicos/>
- Olivo, K. (2006). *cdigital*. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/server/api/core/bitstreams/c9a557f2-e2a0-4ce2-8ca7-77e1ea0a9cf4/content>
- Repsol. (2024). Obtenido de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/residuos-organicos/index.cshtml>
- SEMARNAT. (2024). Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap7.html>
- SEMARNAT. (2024). *Gob*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial>
- Tito, B. (2022). *Ingeniería Ambiental*. Obtenido de <https://ingenieriaambiental.net/que-es-generacion-de-residuos/>
- Tlaxcala, G. d. (2016). *Gestión y Manejo integral de los residuos sólidos urbanos*.
- tlaxcala, G. d. (2016). *Programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos de tlaxcala*. Tlaxacala.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, I. (2024). *Gob*. Obtenido de <https://www.gob.mx/imta/es/articulos/educacion-ambiental-conocimiento-y-accion-para-salvaguardar-el-planeta#:~:text=La%20educaci%C3%B3n%20ambiental%20es%20una%20poderosa%20herramienta%20para,integral%20del%20medio%20ambiente%20y%20fomentar%20pr%C3%A1ctica>

Lifedear. (2024). Obtenido de <https://www.lifeder.com/residuos-inorganicos/>

Olivo, k. (2006). *cdigital*. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/server/api/core/bitstreams/c9a557f2-e2a0-4ce2-8ca7-77e1ea0a9cf4/content>

Repsol. (2024). Obtenido de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/residuos-organicos/index.cshtml>

SEMARNAT. (2024). Obtenido de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap7.html>

SEMARNAT. (2024). *Gob*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial>

Tito, B. (2022). *Ingenieria Ambiental*. Obtenido de <https://ingenieriaambiental.net/que-es-generacion-de-residuos/>

Tlaxcala, G. d. (2016). *Gestion y Manejo integral de los residuos solidos urbanos* .

tlaxcala, G. d. (2016). *Programa estatal para la prevencion y gestion integral de los residuos de tlaxcala* . Tlaxacala .

ANEXOS

Ecuación 1	71
Ecuación 2	71
Ecuación 3	71
Ecuación 4	71
Ecuación 5	71
Ecuación 6	72
Ecuación 7	72
Ecuación 8	72
Ecuación 9	72
Ecuación 10	72
Ecuación 11	73
Ecuación 12	73

Ecuación 13.....	73
Ecuación 14.....	73
Ecuación 15.....	73

Ilustración 1.Cantidad promedio diaria de residuos sólidos urbanos recolectados ...	33
Ilustración 2.....	55
Ilustración 3.....	59
Ilustración 4.....	68
Ilustración 5.....	80
Ilustración 6.....	81
Ilustración 7.....	81
Ilustración 8.....	82
Ilustración 9.....	83
Ilustración 10.....	83
Ilustración 11.....	87
Ilustración 12.....	88
Ilustración 13.....	90
Ilustración 14.....	90
Ilustración 15.....	91
Ilustración 16.....	92
Ilustración 17.....	93

Tabla 1.Clasificación de los residuos sólidos en base a sus posibles usos.....	28
Tabla 2.Parámetros Cualitativos y Cuantitativos	34
Tabla 3.Enfermedades transmitidas por faunas nocivas.	37
Tabla 4.....	56
Tabla 5.....	58
Tabla 6.....	61
Tabla 7.....	62
Tabla 8.....	66
Tabla 9.....	67
Tabla 10.....	67
Tabla 11.....	68
Tabla 12.....	70
Tabla 13.....	75
Tabla 14.....	77

Tabla 15.....	79
Tabla 16.....	89