



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“PROPUESTA DE RELLENO SANITARIO
EN EL MUNICIPIO DE
PÁTZCUARO, MICHOACÁN”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

RAMIRO TORRES LUNA

ASESOR:

DR. JULIO CÉSAR ORANTES AVALOS

MORELIA, MICHOACÁN, JUNIO DEL 2012.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	9
1.1. Objetivo	10
1.2. Justificación	11
2. Antecedentes	12
2.1. Población de estudio	12
2.1.1. Localización	12
2.1.2. Aspectos sociodemográficos	12
2.2. Problemática actual en la gestión de los residuos sólidos municipales	15
2.2.1. Actividades generadoras de los residuos sólidos	16
2.2.2. Impacto acumulado de los componentes de saneamiento básico	16
2.2.3. Enfermedades relacionadas con los residuos sólidos	17
2.2.4. Prioridad en la gestión de los residuos sólidos	17
2.2.5. Tendencias en la gestión integral de los residuos sólidos	18
2.2.6. Evolución en el mejoramiento de la disposición final de los residuos sólidos	18
2.3. Aspectos técnicos del servicio de aseo publico del municipio	19
2.3.1. Parque vehicular público	20
2.3.2. Rutas concesionadas y tiempos de servició	20
2.3.3. Nivel de cobertura de recolección de los RSM por el H. Ayuntamiento	20
2.4. Rellenos sanitarios	21
2.4.1. Definición de relleno sanitario	21
2.4.2. Historia de los rellenos sanitarios	21
2.4.3. Tipos de rellenos sanitarios	22
2.4.4. Selección de sitio para un relleno sanitario	25
2.4.5. Operación de un relleno sanitario	25
2.4.6. Reacciones en un relleno sanitario	27
2.4.7. Uso futuro de un relleno sanitario	28
2.4.8. Procesos de desarrollo de métodos de disposición final	29
2.4.9. Normatividad de un relleno sanitario (NOM-083 – SEMARNAT)	30

3. Propuesta de relleno sanitario	32
3.1. Estudio cartográfico de la población de estudio	32
3.1.1. Ubicación geográfica	33
3.1.2. Orografía y geología	34
3.1.3. Clima	35
3.1.4. Edafología	36
3.1.5. Hidrografía	37
3.1.6. Vegetación y uso de suelo	40
3.1.7. Principales localidades en la zona de estudio	41
3.1.8. Vías de comunicación	42
3.2. Generación y composición de residuos sólidos	43
3.2.1. Proyección de población en el municipio	43
3.2.2. Proyección de afluencia turística	44
3.2.3. Generación de residuos sólidos	45
3.2.4. Composición de los residuos sólidos del municipio	46
3.3. Áreas y volúmenes en el relleno sanitario	49
3.3.1. Proyección de volumen y área requerida para el relleno sanitario	49
3.3.2. Cálculo del volumen de la celda unitaria	54
3.3.3. Canales interceptores de aguas de escorrentía	56
3.4. Lixiviados en el relleno sanitario	61
3.4.1. Generación de lixiviado	61
3.4.2. Diseño del sistema de drenaje de lixiviado	62
3.5. Biogás en el relleno sanitario	66
3.5.1. Generación de biogás	66
3.5.2. Cálculo de la generación de biogás	69
3.6. Uso futuro del sitio del relleno sanitario	75
4. Conclusiones	76
5. Referencias	77

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 2.1 Actividades generadoras de los residuos sólidos	16
Tabla 2.2 Impacto acumulado de los componentes de saneamiento básico	16
Tabla 2.3 Enfermedades relacionadas con los residuos sólidos	17
Tabla 2.4 Tendencias en la gestión integral de los R.S.	18
Tabla 2.5 Características principales del servicio de aseo público	19
Tabla 2.6 Listado del parque vehicular del municipio de Pátzcuaro	20
Tabla 2.7 Cobertura del sistema de limpia del municipio de Pátzcuaro	21
Tabla 2.8 Características de los niveles de categorización para los Rellenos sanitarios	26
Tabla 2.9 Proceso de desarrollo en métodos de disposición final	29
Tabla 2.10 Categorías de los sitios de disposición final	30
Tabla 2.11 Estudios y análisis previos para la construcción del sitio de disposición final	30
Tabla 2.12 Requisitos de compactación de los residuos recibidos	31
Tabla 2.13 Obras complementarias requeridas de acuerdo al tipo de disposición final	31
Tabla 3.1 Estadísticas de población (1990 – 2010) del municipio	43
Tabla 3.2 Proyección de la población por los tres métodos de INEGI	44
Tabla 3.3 Estadísticas de afluencia (2008 – 2010) del municipio	45
Tabla 3.4 Proyección de afluencia turística por los tres métodos de INEGI	45
Tabla 3.5 Proyección del volumen de R.S. (2012) en el municipio	46
Tabla 3.6 Proyección del volumen de R.S. (2032) en el municipio	47
Tabla 3.7 Proyección de volumen y área requerida (2032)	51
Tabla 3.8 Proyección de volumen de franjas (2032)	53
Tabla 3.9 Proyección de volumen de celdas (2032)	55
Tabla 3.10 Precipitación media máxima anual (SMN)	56
Tabla 3.11 Coeficientes de escurrimiento (UAC)	57

Tabla 3.12 Velocidades máximas en canales	58
Tabla 3.13 Recomendaciones de talud	60
Tabla 3.14 Precipitación media anual	61
Tabla 3.15 Precipitación máxima mensual	61
Tabla 3.16 Parámetros de monitoreo de calidad	65
Tabla 3.17 Índice de degradación	67
Tabla 3.18 Factores de (K)	67
Tabla 3.19 Índice de generación (K)	67
Tabla 3.20 Generación potencial (Lo)	68
Tabla 3.21 Factor de corrección (MCF)	68
Tabla 3.22 Datos de ingreso	69
Tabla 3.23 Disposición y generación de Biogás	70
Tabla 3.24 Caracterización de residuos	71
Tabla 3.25 Generación y recuperación de Biogás	72

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 2.1 Localización del lugar en estudio	12
Figura 2.2 Organigrama del H. ayuntamiento de Pátzcuaro	14
Figura 2.3 Principales localidades del municipio de Pátzcuaro	14
Figura 2.4 Ubicación de las principales localidades del municipio de Pátzcuaro	14
Figura 2.5 Prioridades en la gestión de residuos sólidos municipales	18
Figura 2.6 Evolución en el mejoramiento de la disposición final de R.S.	18
Figura 2.7 Diagrama del servicio de aseo urbano del municipio de Pátzcuaro	19
Figura 2.8 Método de trinchera o zanja para construir un relleno sanitario	23
Figura 2.9 Método de área para construir un relleno sanitario	24
Figura 2.10 Método de área para rellenar depresiones	24
Figura 2.11 Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario	25
Figura 2.12 Zonas de ubicación para la construcción de un relleno sanitario	25
Figura 3.1 Macro localización del sitio	32
Figura 3.2 Ubicación cartográfica del sitio	33
Figura 3.3 Rasgos orográficos del sitio	34
Figura 3.4 Unidades climáticas del sitio	35
Figura 3.5 Tipos de suelo en el sitio	36
Figura 3.6 Corrientes y cuerpos de agua en el sitio	37
Figura 3.7 Zonas de inundación del sitio	38
Figura 3.8 Pozos de extracción (CNA)	39
Figura 3.9 Uso de suelo y vegetación del sitio	40
Figura 3.10 Localidades rurales vigentes en el sitio	41
Figura 3.11 Vías de comunicación del sitio	42
Figura 3.12 Gráfica comparativa de proyección de población por los tres métodos	44

Figura 3.13 Gráfica comparativa de proyección de afluencia por los tres métodos	46
Figura 3.14 Maquinaria optima para el proceso de ejecución del relleno	48
Figura 3.15 Composición porcentual de los R.S. del municipio de Pátzcuaro	48
Figura 3.16 Tipos de sección de canales de drenaje	59
Figura 3.17 Berma y cunetas perimetrales al predio del relleno	59
Figura 3.18 Instalación adecuada de geomembrana	62
Figura 3.19 Sistema del dren de lixiviados en franja	63
Figura 3.20 Instalación del dren de lixiviados en franja	63
Figura 3.21 Pozo de extracción de gas y lixiviado	64
Figura 3.22 Bomba de control de lixiviado	64
Figura 3.23 Regiones climáticas de México	66
Figura 3.24 Sistema del dren de biogás	73
Figura 3.25 Planta de proceso de tratamiento de biogás	74
Figura 3.26 Proyección de generación y recuperación de biogás	74

1. INTRODUCCIÓN

Pátzcuaro es un municipio que ha venido creciendo constantemente en población y en extensión territorial. Esto genera el enorme reto del adecuado manejo de los residuos sólidos. Actualmente muestra un incremento en el índice de producción per cápita, aunado a un mal control en el manejo de sus residuos. Esta problemática repercute negativamente en la calidad de vida de la población, tanto en la salud como en el ambiente; poco ó nada se ha realizado para combatir este problema debido a la escasa cultura ambiental, al nulo interés por parte del gobierno, gran burocracia y corrupción en los tres niveles gubernamentales. Este problema se incrementa por el deplorable estado actual de las finanzas del Estado de Michoacán.

La población toma cada vez más conciencia de la problemática originada por un mal manejo de los residuos sólidos y ha demandado acciones más decididas de las instituciones gubernamentales para solucionarlo; hay que resaltar que en la mayoría de los municipios ya se está exigiendo la implantación de los rellenos sanitarios como mitigación y mejor solución para la disposición final de los residuos sólidos. Actualmente existe un relleno sanitario intermunicipal, en la zona, donde se disponen los residuos sólidos del municipio, sin embargo por problemas de diversa índole entre los municipios éste no está operando como debiera y Pátzcuaro decidió planear la construcción de un nuevo relleno sanitario.

En el presente trabajo se aborda esta propuesta de construcción de un nuevo relleno sanitario en el municipio de Pátzcuaro – Michoacán. Se contemplan las ochenta y cuatro localidades que abarca el municipio. El proyecto implica la recolección y el manejo de los residuos sólidos de 104,298 habitantes, población estimada considerando un tiempo de vida útil de 20 años para el relleno sanitario.

Con base en lo anterior, en la zonificación del terreno se tomaron en cuenta elementos constructivos mínimos necesarios que aseguren el correcto funcionamiento del relleno sanitario, incorporando además las especificaciones de acuerdo a la NOM-083-SEMARNAT-2003, como obras complementarias acordes al tipo de disposición final. Además, se consideraron aspectos como: pendientes, escurrimientos superficiales, captura de lixiviados, visibilidad interior, generación de biogás, sustentabilidad del relleno sanitario, y arquitectura acorde a la región. Es importante señalar que se contempla que el proyecto del relleno sanitario aplique los principios de valorización, responsabilidad y manejo integral de los residuos sólidos; bajo los criterios de eficiencia ambiental, tecnología, economía y sustentabilidad.

1.1. OBJETIVO

Proponer un anteproyecto de relleno sanitario, que contemple una adecuada disposición final de los residuos sólidos de todas localidades del municipio de Pátzcuaro. El relleno sanitario se proyectará para una vida útil de 20 años y con base en la normatividad vigente de la SEMARNAT.

1.2. JUSTIFICACION

Toda ciudad ó pequeña localidad debe contar con un relleno sanitario propio ó de un municipio cercano para disponer sus residuos sólidos. De lo contrario, se seguirá favoreciendo la práctica irresponsable del botadero a cielo abierto en su territorio, como medida de disposición final. Siendo además que hasta la fecha, el relleno sanitario es la técnica que mejor se adapta a la región para disponer de manera segura los residuos sólidos y esto tanto desde el punto de vista técnico como económico.

Por otra parte, cualquiera que sea el sistema de tratamiento de residuos sólidos elegido, siempre implicará la existencia de un relleno sanitario como solución complementaria para la disposición final de residuos sólidos. En este caso en particular las localidades del municipio de Pátzcuaro, generalmente disponen sus residuos sólidos en botaderos de basura a cielo abierto e incluso suelen carecer del servicio de recolección. Consecuentemente un relleno sanitario puede servir a dos o más poblaciones, hasta llegar a convertirse en una obra de infraestructura de impacto municipal; es decir, estar en condiciones de brindar el servicio de disposición final de los residuos sólidos a varias poblaciones cercanas del mismo municipio, en este caso. En tal sentido, las localidades pequeñas, en conjunto con las autoridades municipales, deben evaluar la conveniencia técnica, económica, social y ambiental de disponer sus residuos en el relleno sanitario que se propone y que estaría administrado por la cabecera municipal.

En resumen, la gestión integral de los residuos sólidos, incluyendo su tratamiento y disposición final, debe contemplar la construcción de rellenos sanitarios que contribuyan a minimizar los riesgos para la salud de la población, frenar la contaminación del medio ambiente y el deterioro de los recursos naturales. Sin duda alguna, se trata de una obra de infraestructura muy importante para el municipio de Pátzcuaro, tanto por las implicaciones sanitarias, como por el mejoramiento de la imagen urbana y paisajística en esta región con una eminente vocación turística.

2. ANTECEDENTES

2.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO

En este presente trabajo se proyectara una propuesta de un relleno sanitario, localizado en el municipio de Pátzcuaro, Michoacán. Es por ello que a continuación se hace una breve descripción de las características de la población en general de Pátzcuaro; con el objeto de conocer y tener datos más precisos de sus perfiles demográficos, sociales, culturales, económicos, y físicos; con ello poder contemplar un buen sitio de disposición final de los residuos sólidos.

2.1.1. Localización

El municipio de Pátzcuaro, se localiza al centro del estado en las coordenadas 19°31' de latitud norte y 101° 36' de longitud oeste, a una altura de 2,140 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con Tzintzúntzan, al Este con Huiramba, al Sur con Salvador Escalante, y al Oeste con Tingambato y Erongarícuaro. Su distancia a la capital del estado es de 64 km.

En la siguiente imagen se muestra el estado de Michoacán, donde se localiza el sitio de proyecto; ubicado en el municipio de Pátzcuaro:

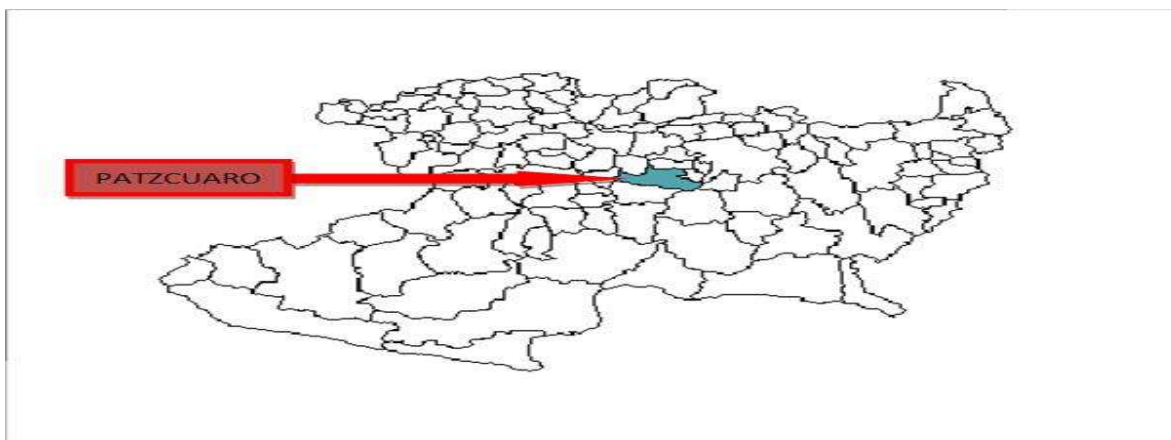


Figura 2.1 Localización del lugar en estudio.

2.1.2. Aspectos sociodemográficos

- Grupos Étnicos:
 - Existen 4,696 personas que hablan alguna lengua indígena, y de las cuales 2,235 son hombres y 2,461 son mujeres. La principal lengua indígena que se habla es el purépecha y la segunda en importancia es el náhuatl.
- Religión:
 - Predomina la católica, seguida de los evangélicos y bautista.
- Educación:
 - Cuenta con los niveles de: preescolar, primaria, un internado de educación primaria; secundaria; además de academias y centros de educación profesional.

Se encuentra el CREFAL (Centro Regional de Educación Fundamental para América Latina) que depende de la ONU.

- Salud.
 - Cuenta con una clínica del IMSS, una del ISSSTE, un Hospital Civil, una clínica de la Secretaría de Salud y clínicas particulares.
- Abasto:
 - Cuenta con mercados, centrales de abasto, tiendas departamentales, tianguis, misceláneas, una tienda del ISSSTE, Aurrera, Soriana, Oxxo.
- Servicios públicos:

La cobertura de servicios públicos (1998) de acuerdo a apreciaciones del H. Ayuntamiento es:

• Agua potable	60%
• Drenaje	40%
• Electrificación	95%
• Pavimentación	20%
• Alumbrado Público	95%
• Recolección de Basura	30%
• Mercado	100%
• Rastro	100%
• Panteón	100%
• Cloración del Agua	50%
• Seguridad Pública	80%
• Parques y Jardines	100%
• Edificios Públicos	50%
- Medios de comunicación:
 - Cuenta con señal de radio y televisión, una estación de radio local, y servicio de televisión por cable. Además de periódicos de circulación local y estatal.
- Economía:
 - Agricultura: Los principales cultivos son el maíz, trigo, frijol, lenteja y tomate.
 - Ganadería: Se cría ganado bovino, porcino, ovino, asnal, caballar, caprino y mular.
 - Turismo: Cuenta con diversos atractivos naturales, artesanías, arquitectura colonial y festividades.
 - Comercio: cuenta con comercio pequeño, mediano y grande.
 - Servicios: Cuenta con servicio de hospedaje en hoteles, moteles, bungalos; alimentación en restaurantes, fondas, puestos en portales; centros nocturnos, agencias de viajes, arrendamiento de autos, transporte turístico, gasolineras y central de autobuses.
 - Caza y pesca: Se pesca en el lago de Pátzcuaro, el pescado blanco, carpa, trucha, mojarra, lobina negra, charal blanco, además de achoque.
 - Industria: Se fabrican alimentos, muebles coloniales de madera, industria textil, productos de corcho, mantas, artesanías de madera como bateas, máscaras y juguetes; alhajeros, herrería artística, joyería artística, figuras religiosas y papel picado.

➤ Gobierno (Organigrama):

A continuación se muestra un breve organigrama de las dependencias que le constituyen al H. ayuntamiento del municipio de Pátzcuaro; en la cual se depende del departamento de obras públicas, para lograr la ejecución del proyecto planteado.



Figura 2.2 Organigrama del H. Ayuntamiento de Pátzcuaro.

➤ Principales localidades:

Enseguida se presentan las principales localidades de Pátzcuaro, que anteriormente contaba con 65 localidades en base al censo (INEGI – Censo 2005), pero actualmente modifico sus localidades aumentado a 84 (INEGI – Censo 2010). La localidad más próxima al sitio del proyecto es Santa María.

Localidad	Población
Total Municipio	79,868
Pátzcuaro	51,124
Cuanajo	4,704
Colonia Vista Bella	2,754
Santa María Huiramangaro	2,492
Zurumútaro	2,301
Janitzio	1,910
Ajuno	1,617
Santa Juana	1,389
Lázaro Cárdenas	445

Figura 2.3 Principales localidades del municipio de Pátzcuaro.



Figura 2.4 Ubicación de las principales localidades del municipio de Pátzcuaro.

2.2. PROBLEMÁTICA ACTUAL EN LA GESTIÓN DE LOS R.S.M. (RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES)

Se sabe que desde hace ocho años el CITIRS ubicado en Pátzcuaro es un foco de contaminación. Dicho CITIRS contó con un inversión de diez millones de pesos aportados de forma directa por parte de los ayuntamientos de Pátzcuaro, Salvador Escalante, Quiroga, Erongarícuaro, Tzintzúntzan, Huiramba y Lagunillas; y fue constituido el 15 de octubre del 2004. Para dar formalidad se signaron documentos en la sesión del Subcomité de Planeación y Desarrollo Regional (SUPLADER), celebrada ese mismo día; firmando el contrato de concesión de CIMARS. El cual establece en su contrato de concesión el pago de diversas cantidades de los ayuntamientos por recibir, tratar y disponer los residuos sólidos procedentes de los distintos ayuntamientos. En el caso exclusivo el municipio de Pátzcuaro; se convino pagara la cantidad de 120 mil pesos mensuales.

Por su parte la concesionaria CIMARS se comprometió a instalar centros de acopio de residuos sólidos en los municipios de Salvador Escalante, Pátzcuaro y Quiroga, con 16 fuentes de empleo en cada centro de acopio; y ocho años después de firmado su contrato, no lo ha hecho aún. No obstante los ayuntamientos siendo propietarios del Relleno Intermunicipal, no tienen voz ni voto en el manejo del CITIRS. En cambio siguen con la obligación de pagar entre 50 mil y 120 mil pesos mensuales cada municipio a la empresa concesionaria. Ha habido incumplimientos y la empresa les ha cerrado las puertas a los municipios y no les permiten depositar sus desechos en el CITIRS. Caso particular es el ayuntamiento de Pátzcuaro, luego de que mediante un acuerdo económico por 50 mil mensuales con CIMARS, la empresa se deslindó del acuerdo al final y simplemente cerró la puerta del Relleno Intermunicipal, provocando que la dirección de limpia tenga que tirar la basura de manera provisional en un predio no autorizado. Hecho que por otra parte ha traído grandes problemas al municipio de Pátzcuaro con la Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado, problema que hasta hoy en día no se ha podido resolver debido a que el Ayuntamiento no cuenta con los recursos necesarios para la disposición final de sus residuos, siendo causa de esto la aplicación de sanciones por parte de las dependencias federales encargadas del cuidado ambiental. Por consecuencia intervino la PROFEPA la cual podría multar a Pátzcuaro con una cantidad del orden de los 300 mil pesos ó más.

Por otra parte el municipio de Pátzcuaro tampoco puede clausurar el CITIRS por la falta de licencia, ya que la empresa CIMARS en caso de verse obligada a pagar la licencia ó clausurar por falta de ella, podría demandar al municipio de Pátzcuaro por una cantidad millonaria; debido a que así se estableció en el convenio de la concesión.

➤ Tiraderos clandestinos de la zona:

En el municipio existen aproximadamente 4 tiraderos clandestinos:

El Calvario, ubicado en la glorieta - (2) en proceso de saneamiento.

Carretera San Juan Tumbio – Pichátaro - (1) en proceso de saneamiento.

Carretera Uranden Tzentzenguaró – (1) en proceso de desaparición.

2.2.1. Actividades generadoras de los residuos sólidos

En la posterior tabla se muestra el tipo de actividades generadoras de los residuos, así como sus componentes y el porcentaje total que producen estos mismos; cabe hacer notar que en nuestro caso la fluencia turística se divide en hospedados y visitantes:

Tabla 2.1 Actividades generadoras de los residuos sólidos.

Actividades generadoras	Componentes	% del total de RSm.
Residencial y domiciliario.	Desperdicios de cocina, papeles y cartón, plástico, vidrio, metales, textiles, residuos de jardinería, tierra, etc.	50 a 75
Comercial: almacenes, oficinas, mercados, restaurantes, hoteles y otros.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, metales, vidrio, residuos especiales y peligrosos.	10 a 20
Institucional: oficinas públicas, escuelas, colegios, universidades, servicios públicos y otros.	Semejantes al comercial.	5 a 15
Industria: (pequeña industria y artesanía), manufactura, confección de ropa, zapatos, sastrerías, carpinterías, etc.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc.; incluyen residuos de comida, cenizas, demolición y construcción, especiales y peligrosos.	5 a 30
Barrido de vías y áreas públicas.	Residuos que arrojan los peatones, tierra, hojas, excremento, etc.	10 a 20

2.2.2. Impacto acumulado de los componentes de saneamiento básico

En la siguiente tabla se visualiza el grado de impacto positivo que causa tanto en la salud como en el bienestar de una población el componente de saneamiento a elegir; resaltando al 100% el bienestar social debido a la recolección y disposición final de residuos sólidos.

Tabla 2.2 Impacto acumulado de los componentes de saneamiento básico.

Componente de saneamiento básico	Impacto positivo acumulado en la salud y el bienestar de la población				
Abastecimiento de agua para consumo humano	x				
Eliminación adecuada de excretas	x	x			
Higiene de los alimentos	x	x	x		
Higiene personal y de los alimentos	x	x	x	x	
Recolección y disposición final de los residuos sólidos	x	x	x	x	x

2.2.3. Enfermedades relacionadas con los residuos sólidos

En la continua tabla se denotan todos los tipos de vectores causantes de un mal manejo de los residuos, así como la forma de transmisión de cada uno, y sus principales enfermedades:

Tabla 2.3 Enfermedades relacionadas con los residuos sólidos.

Vectores	Formas de transmisión	Principales enfermedades
Ratas	*Mordisco, orina y heces. *Pulgas.	* Peste bubónica
		* Tifus murino
		* Leptospirosis
Moscas	*Vía mecánica (alas, patas, cuerpo)	*Fiebre tifoidea
		*Salmonelosis
		* Cólera
		*Amibiasis
		*Disentería
Mosquitos	*Picadura del mosquito hembra.	*Giardasis
		*Malaria
		*Leishmaniosis
		*Fiebre amarilla
		*Dengue
Cucarachas	*Vía mecánica (alas, patas, cuerpo)	*Filariosis
		*Fiebre tifoidea
		*Heces
		*Cólera
Cerdos	*Ingestión de carne contaminada.	*Giardasis
		*Cisticercosis
		*Toxoplasmosis
		*Triquinosis
Aves	*Heces.	*Teniasis
		*Toxoplasmosis

2.2.4. Prioridad en la gestión de los residuos sólidos

Como se observa en la imagen, se indican las prioridades a tener en cuenta para cualquier manejo de residuos sólidos; teniendo en punta como prioridad número uno, la de evitar todo desecho:



Figura 2.5 Prioridades en la gestión de residuos sólidos municipales.

2.2.5. Tendencias en la gestión integral de los residuos sólidos

De la mano con la tabla anterior, ahora se muestra la comparación en las tendencias de gestión integral de los residuos sólidos, por parte de países desarrollados y en desarrollo; teniendo la única pero gran diferencia de la combustión por el tratamiento, esto debido en su mayor parte por falta de presupuesto en la aplicación de tecnología.

Tabla 2.4 Tendencias en la gestión integral de los RS.

Países desarrollados	Países en desarrollo
1. Reducción en la fuente	1. Reducción en la fuente
2. Reciclaje	2. Reciclaje
3. Combustión	3. Tratamiento
4. Relleno sanitario	4. Relleno sanitario

2.2.6. Evolución en el mejoramiento de la disposición final de los residuos sólidos

En la presente imagen mostrada en la parte inferior se interpreta el avance simbólico que ha tenido el manejo de los residuos; identificando que el más ideal es el relleno sanitario, esto debido al gran control y proceso que este demanda:

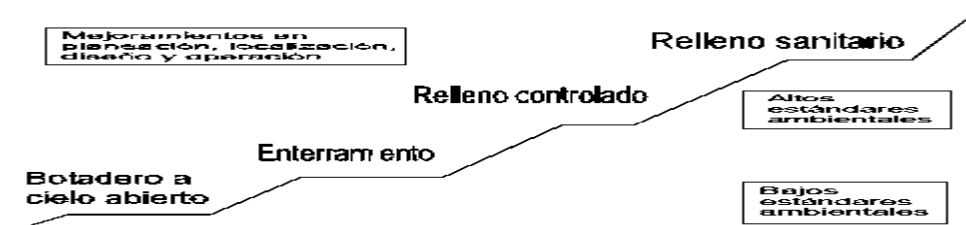


Figura 2.6 Evolución en el mejoramiento de la disposición final de R.S.

2.3. ASPECTOS TÉCNICOS DEL SERVICIO DE ASEO PUBLICO DEL MUNICIPIO

A continuación se presenta el diagrama de la distribución actual del servicio de aseo público del H. Ayuntamiento de Pátzcuaro; indicando como norma la separación, reúso y reciclaje de los residuos sólidos.

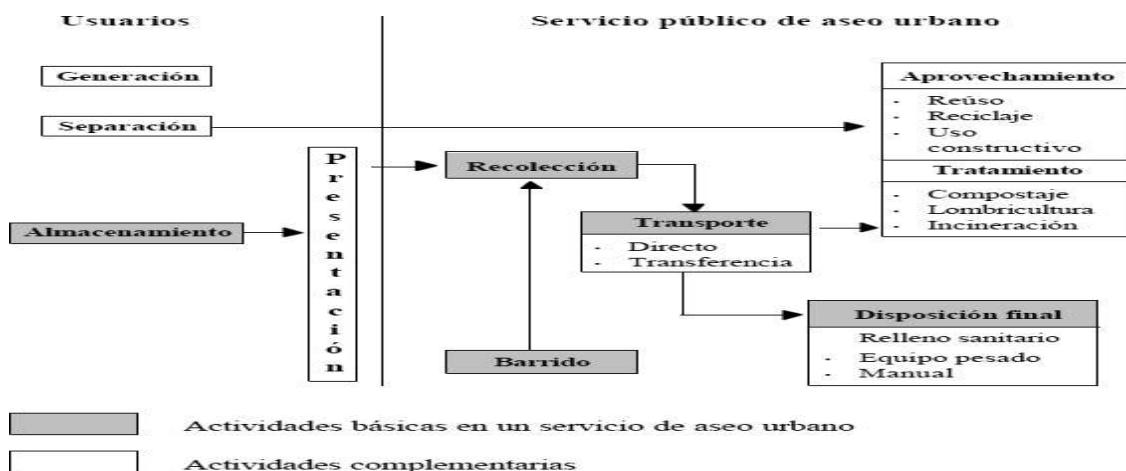


Figura 2.7 Diagrama del servicio de aseo urbano del municipio de Pátzcuaro.

De forma práctica se engloba en la continua tabla los tipos de aspectos junto con su descripción, de lo que es un servicio de aseo público en general:

Tabla 2.5 Características principales del servicio de aseo público.

Aspecto	Descripción
Técnico	Fácil de implementar, operación y mantenimiento sencillos; uso de recursos humanos y materiales de la zona; comprende desde la producción hasta la disposición final de los residuos.
Económico y financiero	Costo de inversión, operación, mantenimiento y administración; al alcance de la población que debe sufragar el servicio.
Institucional	Administración y gestión del servicio, simple y dinámica; es racional.
Social	Fomenta los hábitos positivos de la población y desalienta los negativos; es participativo y promueve la organización de la comunidad.
Salud	Se inscribe en un programa mayor de prevención de enfermedades infecciosas.
Ambiental	Minimiza impactos negativos en el suelo, agua y aire.

2.3.1. Parque vehicular público

Enseguida se exhibe la tabla del listado del parque vehicular, así como los turnos de uso por parte del departamento de aseo público del H. ayuntamiento de Pátzcuaro; observando que solo se cuenta con 15 unidades para recolección de residuos, teniendo así un déficit que combatir debido al incremento de aumento en la población y un nulo control de urbanismo:

Tabla 2.6 Listado del parque vehicular del municipio de Pátzcuaro.

MARCA	AÑO	TIPO			CAPACIDAD (m ³)	TURNOS (d)
		COMPACTADOR	VOLTEO	OTRO		
CHEVROLET PICK UP	73			X	3	1
INTERNATIONAL FAMSA	88		X		6	1
INTERNATIONAL FAMSA	88		X		6	2
MERCEDES BENZ	92		X		6	1
MERCEDES BENZ	92	X				1
MERCEDES BENZ	92	X				1
DINA	2000	X				2
DINA	2000	X				1
CHEVROLET	2000	X				2
FORD F-450	2001	X				1
FORD F-451	2001			X		2
NISSAN	2005			X		1
NISSAN	2005		X		6	1
CHEVROLET KODIAC	2006		X		6	2
CHEVROLET	2007			X	6	1

2.3.2. Rutas concesionadas y tiempos de servicio

El servicio concesionado se constituye por una flotilla de seis camionetas de redilas 3500 kg y cinco pick-up 1500, así como un permiso provisional. Cada unidad cuenta con 1 chofer y 1 ayudante. La recolección es llevada a cabo en un turno diario.

El servicio de recolección prestado por el ayuntamiento tiene lugar de lunes a domingo, de 8:00 a 15:00 horas, cubriendo generalmente dos rutas por turno, es decir, se realizan un viaje diariamente. La cuadrilla tipo de recolección está constituida por un chofer y dos ayudantes, en cada unidad.

2.3.3. Nivel de cobertura de recolección de los RSM por el H. Ayuntamiento

En la posterior tabla se exhibe el porcentaje total de cobertura de R.S.M., tanto del sistema de limpia municipal como el concesionado.

Tabla 2.7 Cobertura del sistema de limpia del municipio de Pátzcuaro

Cobertura del sistema de limpia municipal		
Tipo de cobertura	Hogares o viviendas (t)	Porcentajes (%)
Camión	9872	32.87
Contenedor	692	1.97
En la calle	290	
En la barranca	400	
En el Guani	320	
La queman o entierran	2060	
Total	13634	34.84

Cobertura del sistema concesionario		
Tipo de cobertura	Hogares o viviendas (t)	Porcentajes (%)
Camión	9872	32.87
Total		32.87

Arrojando la presente tabla, un porcentaje de efectividad de cobertura para la población; de aproximadamente el 68%. Mismos que se desglosan enseguida:

$$(32.87 + 1.97 + 32.87 = 67.71 \approx 68 \%)$$

2.4. RELLENOS SANITARIOS

2.4.1. Definición de relleno sanitario

Es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud ó seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

En la actualidad, el relleno sanitario moderno se refiere a una instalación diseñada y operada como una obra de saneamiento básico, que cuenta con los elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en un diseño, y por supuesto en su óptima operación y control.

2.4.2. Historia de los rellenos sanitarios

Desde el origen de la vida, el hombre ha utilizado los recursos naturales para asegurar su supervivencia siendo la población humana para entonces muy escasa y los problemas medioambientales inexistentes, pero el afán del hombre por progresar social y

económicamente, ha transformado la vida del planeta. Antiguamente, el hombre amparaba su subsistencia en el consumo y uso de recursos naturales. Los restos de su actividad se integraban rápidamente en la naturaleza y no fueron causa de problemas debido a la escasa población existente. Con el pasar del tiempo, la creación de la agricultura y la ganadería fueron liberando al hombre de la dependencia directa de los recursos naturales. Durante siglos y con la evolución de estas sociedades, las poblaciones consumieron alimentos de fácil descomposición y produjeron bienes duraderos basados en materias naturales (madera, barro, cuero y fibras textiles). Los residuos que se producían eran fácil asimilación por el medio.

Las culturas más evolucionadas surgieron a partir de la metalurgia y la producción de productos químicos (cal, yeso, etc.). A partir de este momento las urbes comienzan a tener dificultades para eliminar los residuos que producían, sobre todo donde existen grandes concentraciones urbanas. Muestra de estos graves problemas es el imperio Romano con su ciudad, a consecuencia de productos manufacturados de otras tierras; especialmente los restos del envase usado para el transporte de todo tipo de productos. Durante la edad Media la sociedad careció de las mínimas infraestructuras medioambientales, provocando el vertido de los residuos en los núcleos urbanos. Consecuencia de esto fue la llegada y difusión de las tendencias higienistas de Francia a inicios del siglo XIX (reordenamiento urbano, redes de alcantarillado, abastecimiento de agua, planificación de infraestructura, etc.)

La revolución industrial, el uso de energía no renovable, la industria extractiva; fue la causa de la explosión demográfica, teniendo un desequilibrio entre infraestructura y necesidades. Al final del siglo XX hubo un asentamiento social de ideas ecológicas, logrando una visión más real e integral del problema del ecosistema humano; ya que los residuos son un problema medioambiental de consideración debido al cambio de composición de estos (vidrio, papel, cartón y plásticos). Aunado a ello el crecimiento per cápita y el consumismo. El tratamiento de los (RSU) durante la historia se ha hecho de tres maneras: el vertimiento de los (RSU) en sitios predefinidos (vertederos controlados), la incineración de residuos y el compostaje ó reciclaje de los residuos.

Como solución a todos estos problemas de residuos, se mitiga con la creación de rellenos sanitarios, los cuales hasta hoy en día son el método más económico y ambientalmente aceptable en el mundo.

2.4.3. Tipos de rellenos sanitarios

El método constructivo y la subsecuente operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque dependen también del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. Existen dos maneras básicas de construir un relleno sanitario.

➤ Método de trinchera o zanja:

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Hay experiencias de

excavación de trincheras de hasta de 10 metros de profundidad. Los RSM se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra excavada.

Se debe tener especial cuidado en periodos de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. De ahí que se deba construir canales perimétricos para captarlas y desviarlas e incluso proveer a las zanjas de drenajes internos. En casos extremos, se puede construir un techo sobre ellas o bien bombear el agua acumulada. Sus taludes o paredes deben estar cortados de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

A continuación se representa la forma de construcción del método llamado trinchera ó zanja; vista en planta y transversal; las dimensiones de las trincheras ó zanjas varían de acuerdo a la topografía del predio donde se ubicara el proyecto:

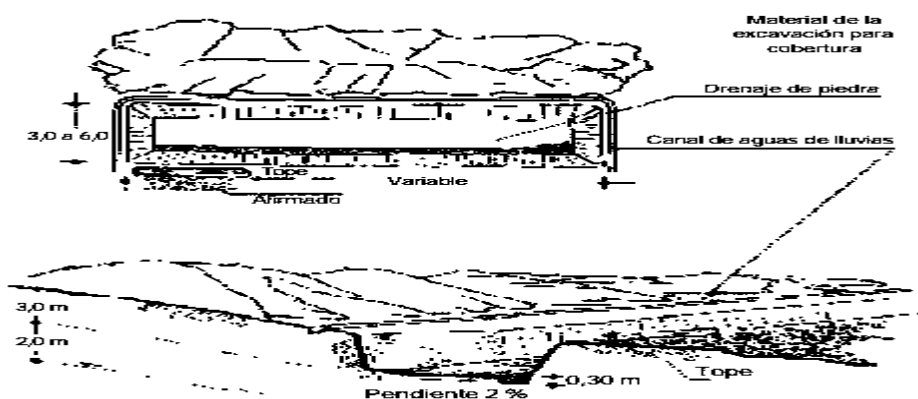


Figura 2.8 Método de trinchera o zanja para construir un relleno sanitario.

➤ Método de área:

Se usa en áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, el que debe elevarse algunos metros, previa impermeabilización del terreno. En estos casos, el material de cobertura deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. Las fosas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno.

De igual manera a la imagen anterior se exhibe una imagen vista en planta de la forma de construcción de acuerdo al método de área, en donde se indican las partes y su ubicación que contemplan este método:

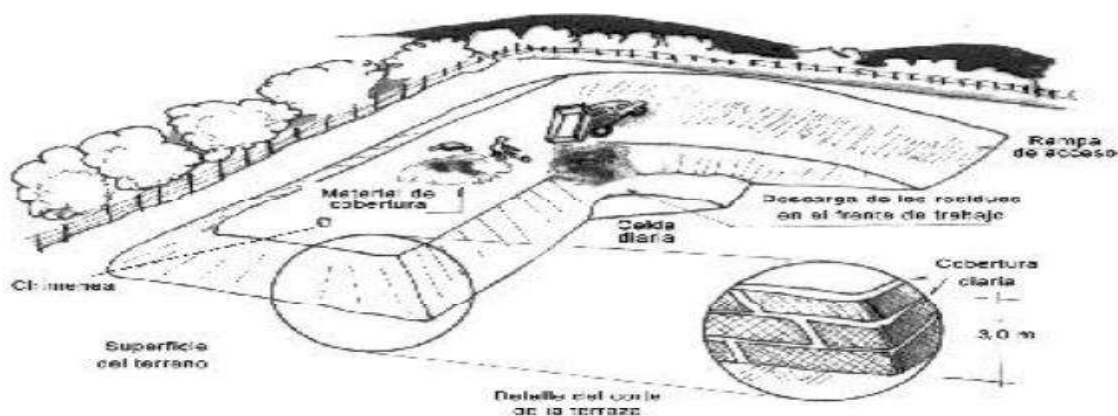


Figura 2.9 Método de área para construir un relleno sanitario.

Sirve también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno o, en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba, apoyándose en la pendiente natural del terreno; es decir, la basura se descarga en la base del talud, se extiende y apisona contra él y se recubre diariamente con una capa de tierra.

A diferencia con la imagen anteriormente mostrada, se ilustra el mismo método de área pero ahora en la manera de relleno de depresiones; resaltando que este proceso es de gran ayuda para nivelar zonas con problemas de topográficos:

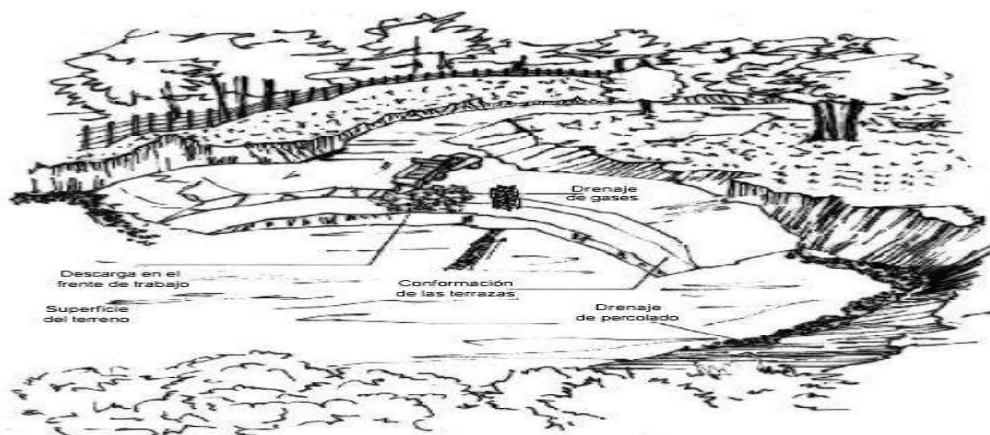


Figura 2.10 Método de área para rellenar depresiones.

➤ Combinación de ambos métodos:

Dado que estos dos métodos de construcción de rellenos sanitarios tienen técnicas similares de operación, es posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados.

Subsecuentemente se presenta una imagen donde se muestra la combinación de los ambos métodos de construcción para un relleno sanitario antes mencionados; teniendo en la ejecución de proyecto para la mayoría de los casos, el uso de la combinación de los métodos constructivos para un mejor beneficio del predio:

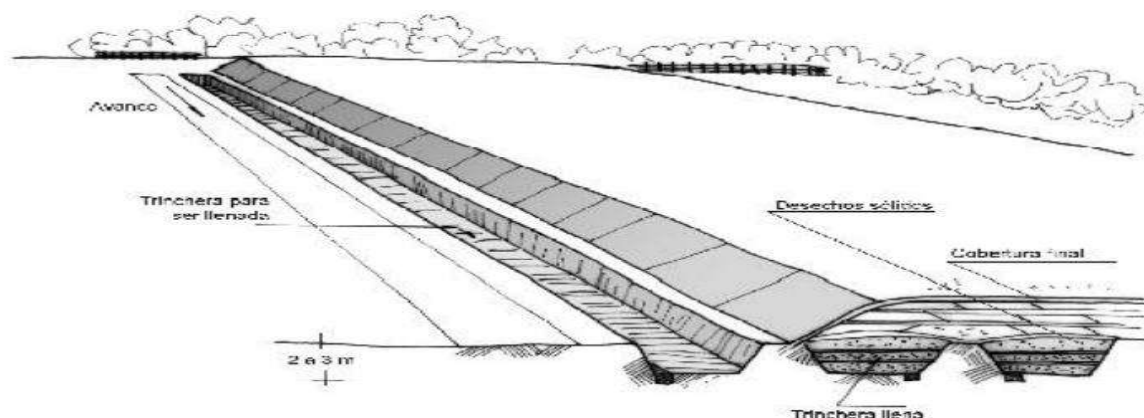


Figura 2.11 Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario.

2.4.4. Selección de sitio para un relleno sanitario

Como se observa en las siguientes figuras se muestran a manera de corte transversal, los diferentes tipos de ubicación de los rellenos sanitarios; la cual depende principalmente de la topografía del terreno, teniendo en los más comunes los siguientes:

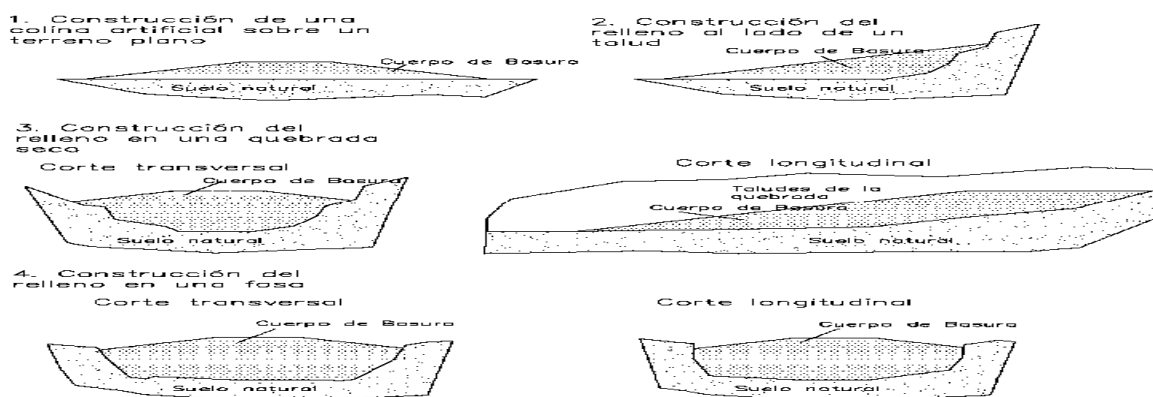


Figura 2.12 Zonas de ubicación para la construcción de un relleno sanitario.

2.4.5. Operación de un relleno sanitario

A continuación se muestra la forma de operación de acuerdo con la cantidad de RSU ingresados por día. Considerando que un municipio por sus características particulares de generación de residuos sólidos urbanos, ingreso al sitio de disposición, el tipo de infraestructura

que presenta, el servicio de limpieza y por la factibilidad económica, podrá optar y justificar el modo de operación seleccionado y los requisitos que la autoridad ambiental estatal le exigirá.

En la consecuente tabla se indican los niveles de caracterización necesarios para identificar el modo de operación y tipo de municipio, de acuerdo a la clasificación de relleno e ingreso de residuos:

Tabla 2.8 Características de los niveles de categorización para los Rellenos sanitarios.

Tipo de relleno	RSU ingresados (t/d)	Modo de operación exigidos por la autoridad ambiental	Tipo de municipio
A	> 100	Mecánica	Urbano
B	50 a 100	Mecánica	Urbano, semi rural, rural
C	10 a 50	Mecánica y/o manual	Semi rural y rural
D	< 10	Manual	Rural

➤ **Relleno sanitario mecanizado:**

Es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento.

Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc.

➤ **Relleno sanitario semimecanizado:**

Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de RSM en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno al que podríamos llamar semimecanizado.

➤ **Relleno sanitario manual:**

Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen –menos de 15 t/d–, además de sus condiciones

económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento.

El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutado con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.

2.4.6. Reacciones en un relleno sanitario

Los RSM depositados en un relleno sanitario presentan una serie de cambios físicos, químicos y biológicos de manera simultánea e interrelacionada. Estos cambios se describen a continuación a fin de dar una idea de los procesos internos que se presentan cuando los residuos son confinados.

➤ Cambios físicos:

Los cambios físicos más importantes están asociados con la compactación de los RSM, la difusión de gases dentro y fuera del relleno sanitario, el ingreso de agua y el movimiento de líquidos en el interior y hacia el subsuelo, y con los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de la materia orgánica depositada.

El movimiento de gases es de particular importancia para el control operacional y el mantenimiento del sistema. Por ejemplo, cuando el biogás se encuentra atrapado, la presión interna puede causar agrietamiento de la cubierta y fisuras, lo que permite el ingreso de agua de lluvia al interior del relleno sanitario, lo que provoca mayor generación de gases y lixiviados. Lo anterior contribuye a que se produzcan hundimientos y asentamientos diferenciales en la superficie y que se desestabilicen los terraplenes por el mayor peso de la masa de desechos.

➤ Cambios químicos:

Las reacciones químicas que ocurren dentro del relleno sanitario e incluso en los botaderos de basura abarcan la disolución y suspensión de materiales y productos de conversión biológica en los líquidos que se infiltran a través de la masa de RSM, la evaporación de compuestos químicos y agua, la adsorción de compuestos orgánicos volátiles, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos y las reacciones de óxido-reducción que afectan la disolución de metales y sales metálicas. (La importancia de la descomposición de los productos orgánicos reside en que estos materiales pueden ser transportados fuera del relleno sanitario o del botadero de basura con los lixiviados.

➤ Cambios biológicos:

Las más importantes reacciones biológicas que ocurren en los rellenos sanitarios son realizadas por los microorganismos aerobios y anaerobios, y están asociadas con la fracción orgánica contenida en los RSM. El proceso de descomposición empieza con la presencia del oxígeno (fase aerobia); una vez que los residuos son cubiertos, el oxígeno empieza a ser consumido por la actividad biológica. Durante esta fase se genera principalmente bióxido de carbono. Una vez consumido el oxígeno, la

descomposición se lleva a cabo sin él (fase anaerobia): aquí la materia orgánica se transforma en bióxido de carbono, metano y cantidades porcentuales de amoníaco y ácido sulfhídrico.

Casi todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero es la fracción orgánica la que presenta los mayores cambios. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos.

➤ Generación de líquido lixiviado ó percolado:

La descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado.

Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los RSM, de ahí que sea importante interceptarlas y desviarlas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación en las corrientes y nacimientos de agua y pozos vecinos.

➤ Generación de gases:

Un relleno sanitario se comporta como un digestor anaerobio. Debido a la descomposición o putrefacción natural de los RSM, no solo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia.

La aerobia es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados es consumido rápidamente.

La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos.

2.4.7. Uso futuro de un relleno sanitario

El uso futuro de un relleno sanitario depende del clima, de su localización respecto al área urbana, de su distancia de las zonas habitadas, de su extensión ó área superficial y de las características constructivas. Estas últimas tienen que ver con la configuración final del relleno, la altura y el grado de compactación y, por supuesto, la capacidad económica de la población.

El terreno de un relleno sanitario clausurado se presta para desarrollar programas de recuperación paisajística y social como un parque, un campo deportivo o una zona verde.

No se recomienda la construcción de edificaciones, viviendas, escuelas ni infraestructura pesada sobre la superficie del relleno, debido a su poca capacidad para soportar estructuras pesadas, además de los problemas que pueden ocasionar los hundimientos y la generación de gases.

Para la recuperación del paisaje es conveniente la siembra de plantas de raíces cortas y césped o grama. En muchos casos, después de la cobertura final, el pasto crece en forma espontánea.

2.4.8. Procesos de desarrollo de métodos de disposición final

Tabla 2.9 Proceso de desarrollo en métodos de disposición final.

Alternativas / situación	Descripción
Disposición en la vía pública	Esto es común en zonas que no cuenten con un servicio de recolección. El generador de RSM los dispone en algún lugar o botadero público.
Disposición local sin control en pequeños botaderos	Existe un servicio de recolección primaria y un transporte insipiente hacia un sitio cercano (por lo general dentro de la ciudad) donde se colocan los residuos sin control alguno.
Botadero o vertedero municipal sin control	Existe recolección primaria y secundaria. Los RSm. se transportan y disponen sin control alguno en un sitio alejado de la ciudad o bien fuera de ella.
Relleno controlado	Existe recolección primaria y secundaria. Los RSm. se transportan y disponen con un control moderado en un sitio deliberadamente diseñado para tal fin y ubicado afuera de la ciudad. Los RSm. se entierran con una frecuencia regular.
Relleno sanitario	El relleno sanitario es diseñado, construido y operado con criterios de ingeniería sanitaria y ambiental. El sitio cuenta con los permisos y requisitos de ley, y existe un programa de monitoreo ambiental. Los impactos ambientales son marginales y la población no se opone al proyecto.

2.4.9. Normatividad de un relleno sanitario (NOM-083 – SEMARNAT)

◆ Categorías de los sitios de disposición final:

A continuación se muestra la primera tabla de la normatividad sobre rellenos sanitarios (NOM-083–SEMARNAT); la cual indica el tipo de relleno adecuado, de acuerdo a la cantidad de toneladas proyectadas a recibir en el por día:

Tabla 2.10 Categorías de los sitios de disposición final

Tipo de relleno	Tonelaje recibido (t/d)
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
C	10 y menor a 50
D	Menor a 10

◆ Estudios y análisis previos requeridos para la construcción de sitios de disposición final:

Continuando con la normatividad de rellenos sanitarios (083 – SEMARNAT); ahora se representa en la tabla los tipos de estudios y análisis específicos a realizar, para cada uno de los tres tipos de rellenos:

Tabla 2.11 Estudios y análisis previos para la construcción del sitio de disposición final.

Estudios y Análisis	A	B	C
Geológico y geohidrológico regionales	*		
Evaluación geológica y geohidrológica	*	*	
Hidrológico	*	*	
Topográfico	*	*	*
Geotécnico	*	*	*
Generación y composición de los rsm y manejo especial	*	*	*
Generación de biogás	*	*	
Generación de lixiviado	*	*	

◆ Requerimientos de compactación:

Enseguida se señala el grado de compactación ideal, en base tipo de relleno y a la cantidad de residuos recibidos en él; en base a la normatividad (NOM-083–SEMARNAT):

Tabla 2.12 Requisitos de compactación de los residuos recibidos.

Sitio		Compactación de los residuos (kg/m ³)	Recepción de residuos sólidos (t/d)
A	A1	Mayor a 700	Mayor de 750
	A2	Mayor a 600	100 - 750
B		Mayor a 500	50 - 100
C		Mayor a 400	10 - 50

◆ Obras complementarias requeridas de acuerdo al tipo de disposición final:

Posteriormente se denotan todos los tipos de obras complementarias requeridas dependiendo del tipo de relleno a ejecutar; y en base a la normatividad (NOM-083–SEMARNAT):

Tabla 2.13 Obras complementarias requeridas de acuerdo al tipo de disposición final.

Obras complementarias	A	B	C
Caminos de acceso	*	*	*
Caminos interiores	*	*	
Cerca perimetral	*	*	*
Caseta de vigilancia y control de acceso	*	*	*
Báscula	*	*	
Agua potable, electricidad y drenaje	*	*	
Vestidores y servicios sanitarios	*	*	*
Franja de amortiguamiento (mínimo 10 metros)	*	*	*
Oficinas	*		
Servicio médico y seguridad personal	*		

3. PROPUESTA DE RELLENO SANITARIO

3.1. ESTUDIO CARTOGRAFICO DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO

En la imagen inferior, se ilustra la macro localización del sitio donde se contempla proyectar el relleno sanitario de la región Pátzcuaro, ubicado en el municipio de Pátzcuaro, Michoacán:



Figura 3.1 Macro localización del sitio.

Posteriormente se esquematizan las cartas de geográfica, orográfica y geológica, climas, edafológica, hidrográfica, zonas de inundación, pozos de extracción, localidades rurales, uso de suelo y vegetación, y vías de comunicación.

Estas cartas son de gran ayuda debido a que en la norma (NOM-083-SEMARNAT), donde se indican los estudios y análisis previos a realizar de acuerdo al tipo de relleno a ejecutar; que en nuestro caso es de tipo “A”, requiriéndonos por lo tanto los ocho estudios que contempla la norma.

3.1.1. Ubicación geográfica

- Extensión: Su superficie es de 435.96 km² y representa el 0.74 por ciento del total del Estado.
- Altitud: Entre 2100 y 3300 m.s.n.m.m.

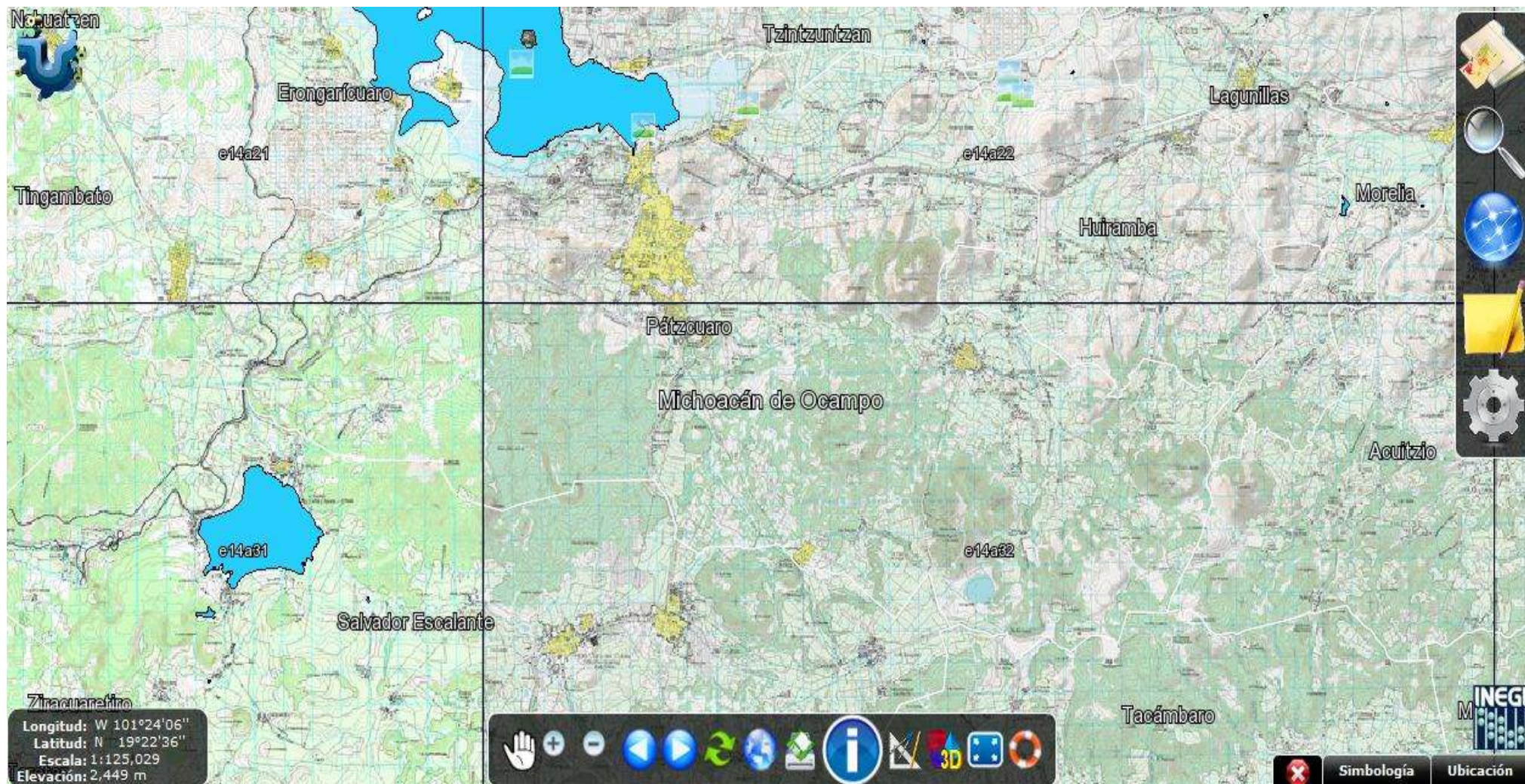


Figura 3.2 Ubicación cartográfica del sitio.

3.1.2. Orografía y geología

- Su relieve lo constituyen la depresión del Pátzcuaro, el sistema volcánico transversal y los cerros el Blanco, el del Estribo, del Frijol y el Cerro del Burro. Sierra volcánica aislados con llanuras (71.56%), Llanura aluvial (16.96%), Vaso lacustre (4.95%) y Lomerío de basalto con sierras (1.36%). Geológicamente el sitio está compuesto por roca: Ígnea extrusiva: basalto (73.49%), andesita, (4.08%), dacita (1.70%), brecha volcánica básica (1.62%), andesita-brecha volcánica intermedia (0.96%) y basalto brecha volcánica básica (0.59%).

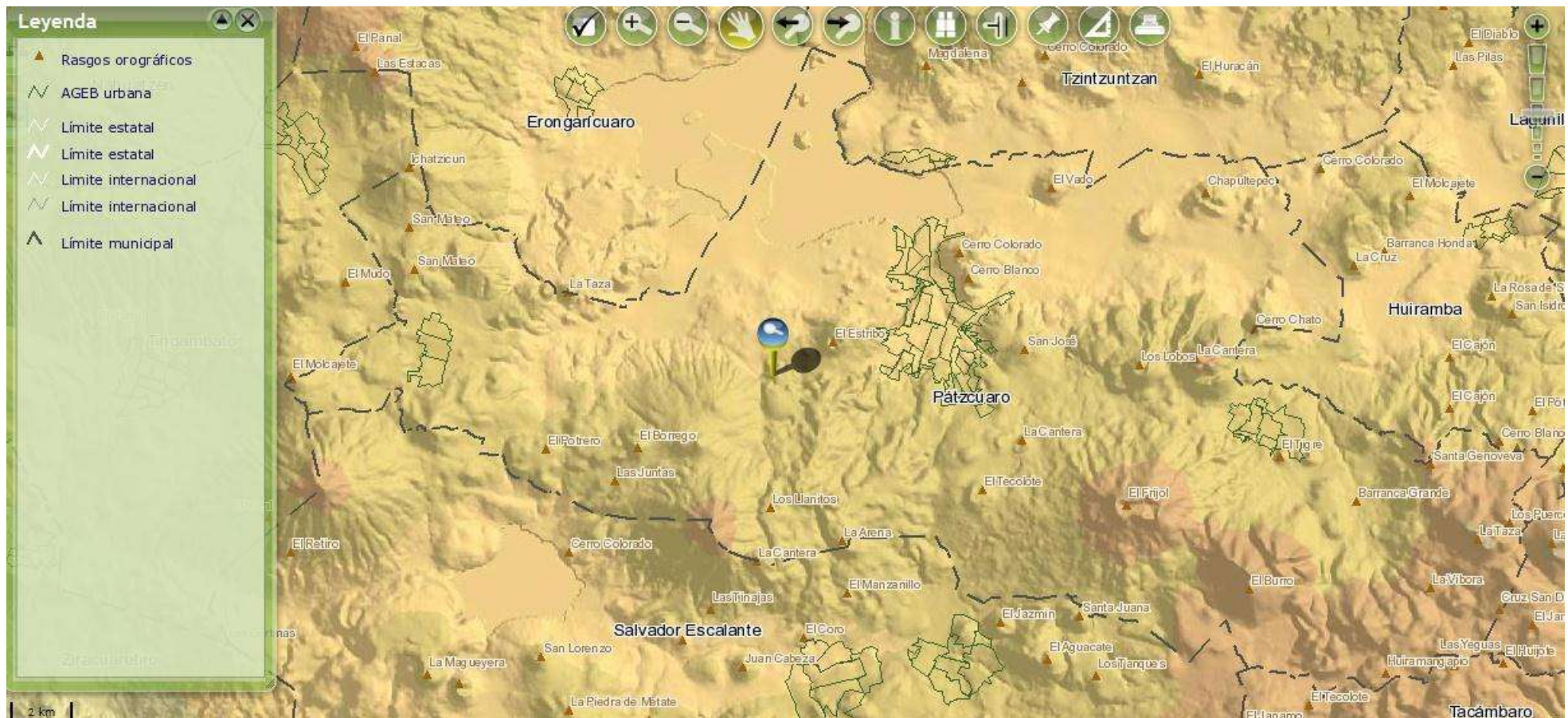


Figura 3.3 Rasgos orográficos del sitio.

3.1.3. Clima

- Clima: Templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (99.57%) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (0.43%), con temperaturas que oscilan entre 9 - 23 °C y precipitación media anual entre 1100 – 1300 mm



Figura 3.4 Unidades climáticas del sitio.

3.1.4. Edafología

- Suelo dominante: Andosol (46.03%), Luvisol (24.02%), Leptosol (17.36%), Gleysol (1.33%), Vertisol (0.90%), Planosol (0.47%) y Phaeozem (0.01%).

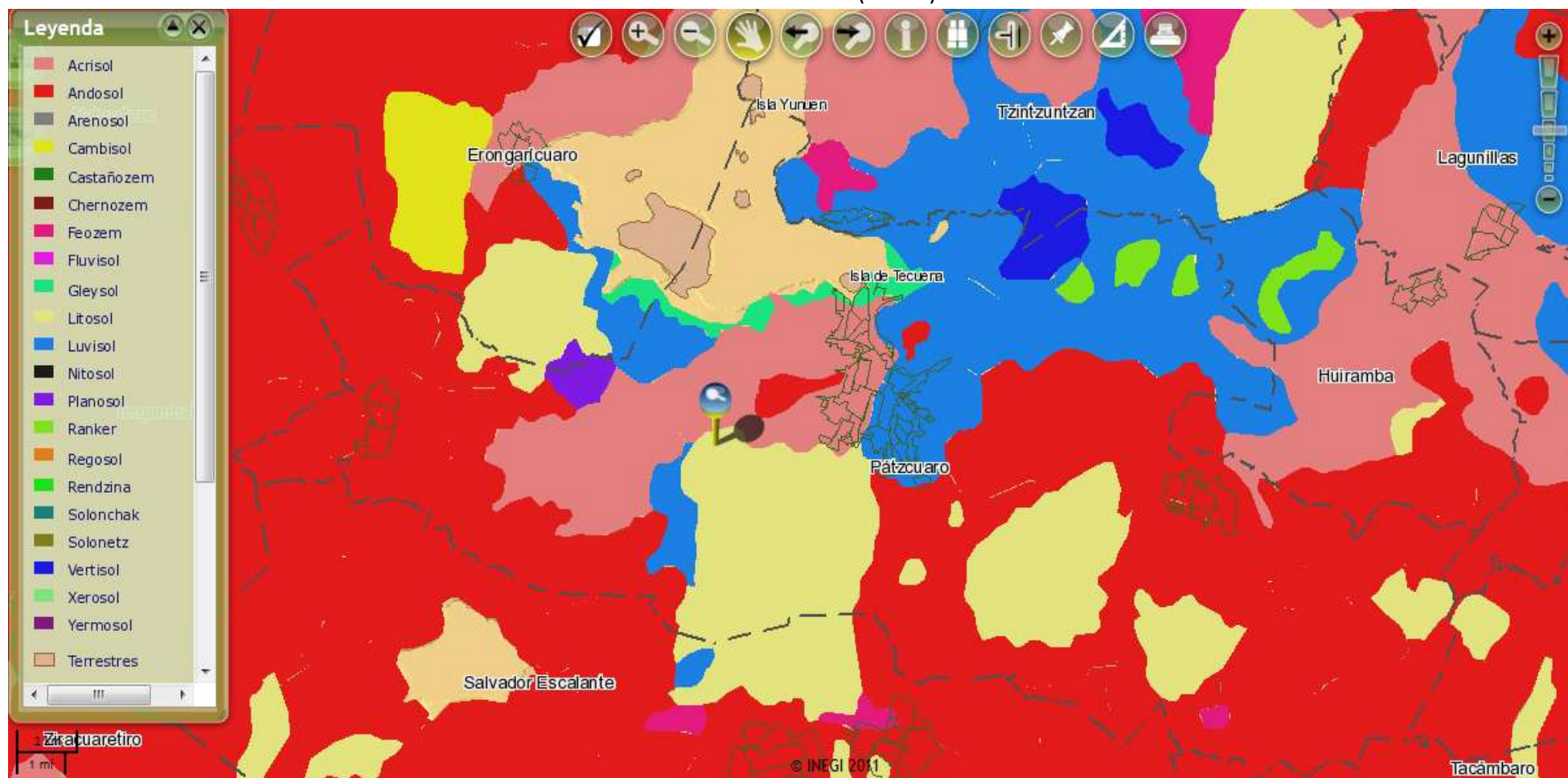


Figura 3.5 Tipos de suelo en el sitio.

3.1.5. Hidrografía

- Región hidrológica: Lerma-Santiago; Cuenca: L. de Pátzcuaro-Cuitzeo y L. de Yuriría; Subcuenca: L. de Pátzcuaro
- Corrientes de agua: Perennes: El Pedregal y El Salto. Intermitentes: Huinchu, El Guani, El Chorrillo y El Tecolote.
- Cuerpos de agua: Perenne: Lago de Pátzcuaro

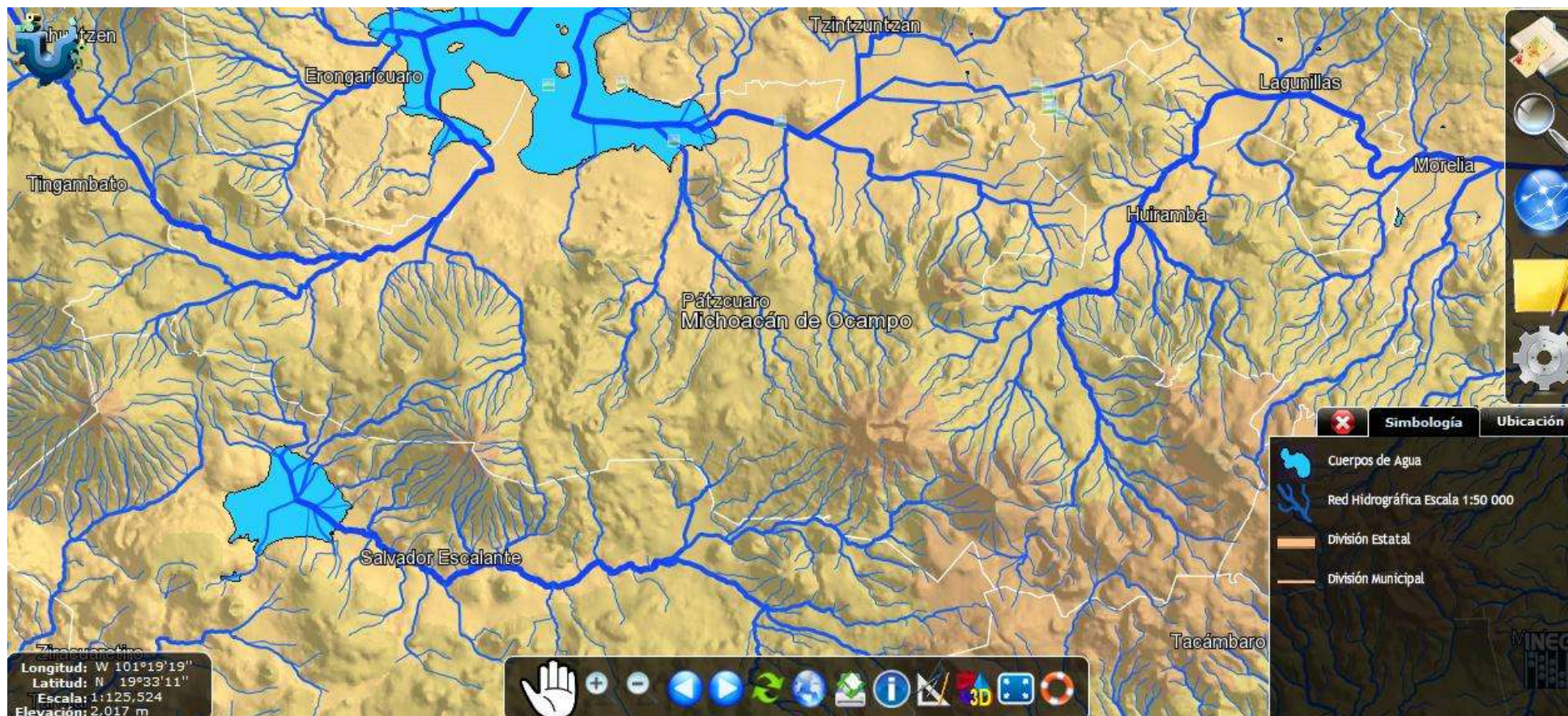


Figura 3.6 Corrientes y cuerpos de agua en el sitio.

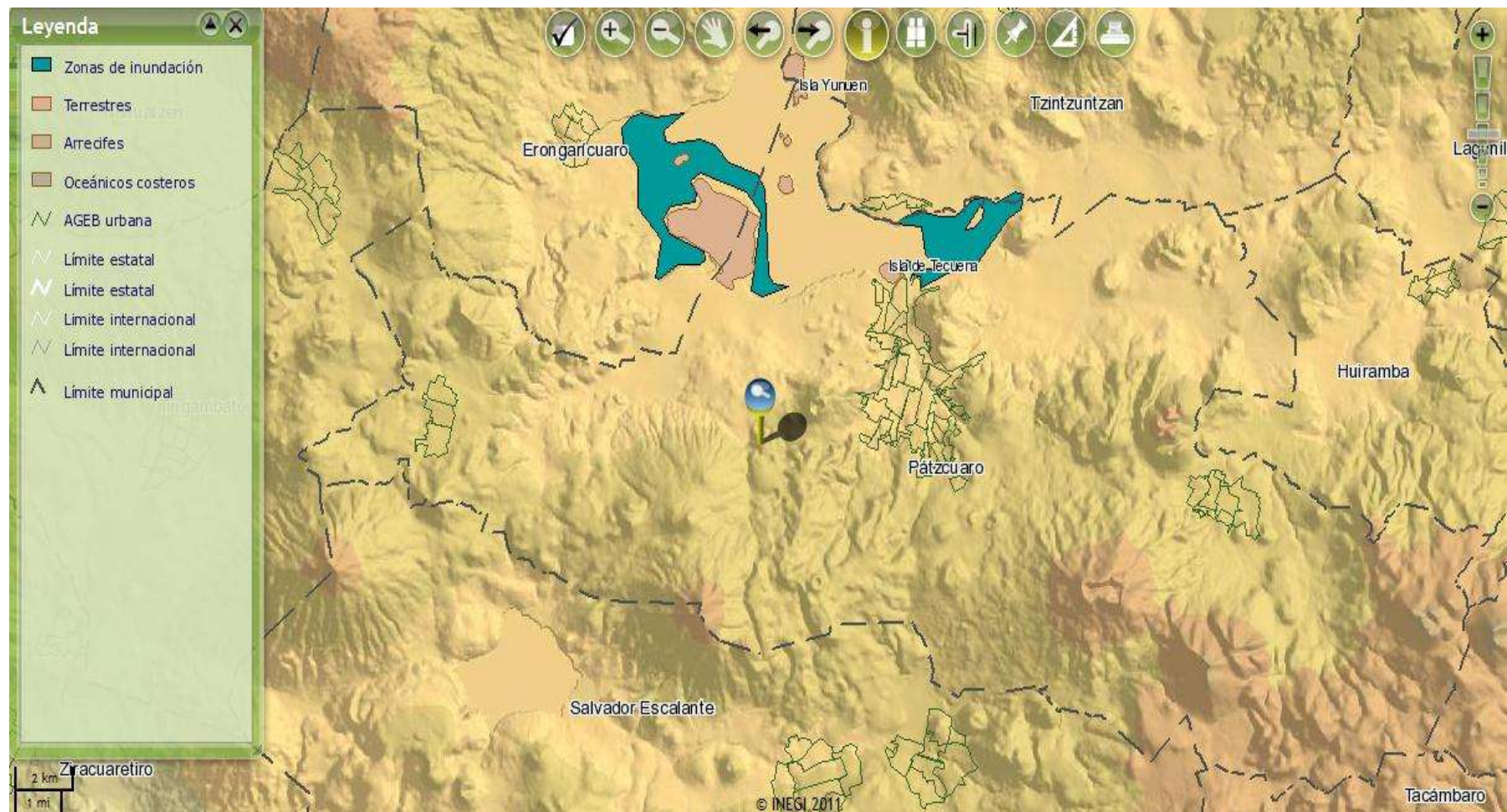


Figura 3.7 Zonas de inundación del sitio.

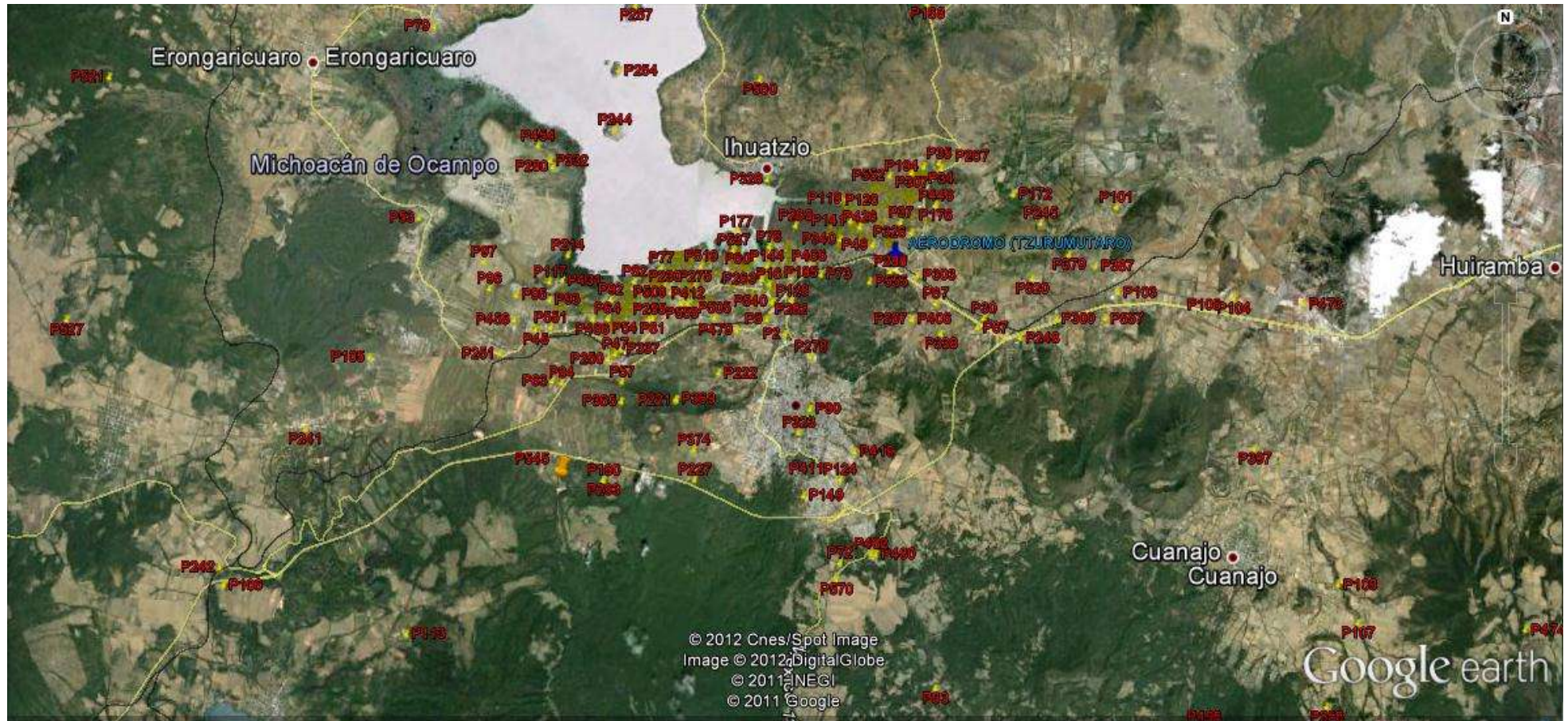


Figura 3.8 Pozos de extracción (CNA).

3.1.6. Uso de suelo, vegetación y recursos naturales:

- Uso de suelo: Agricultura (38.64%) y Zona urbana (4.13%).
- Superficie forestal maderable: es ocupada por encino y pino. Superficie forestal no maderable: es ocupada por matorrales.

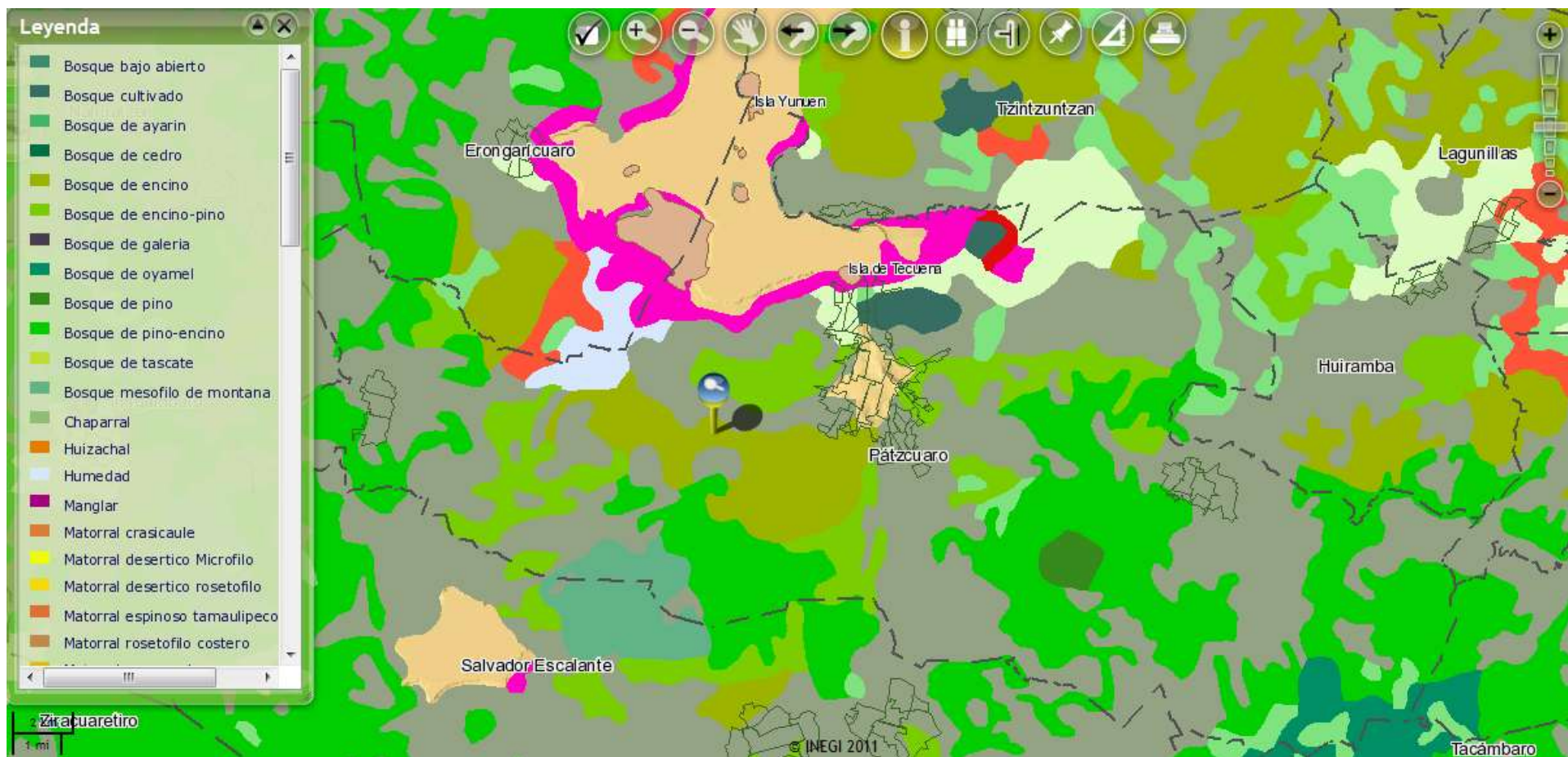


Figura 3.9 Uso de suelo y vegetación del sitio.

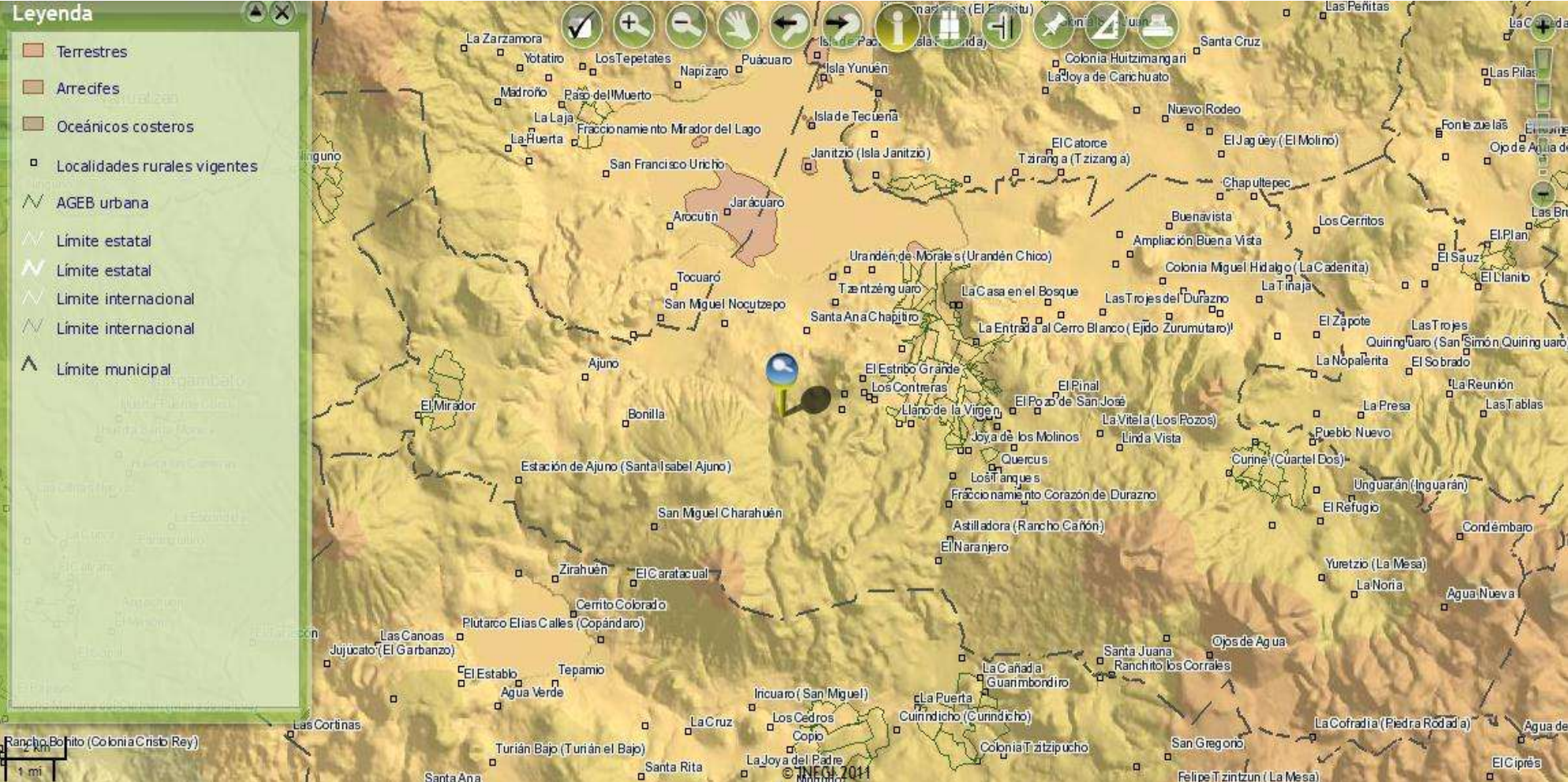


Figura 3.10 Localidades rurales vigentes en el sitio.

3.1.8. Vías de comunicación:

- Al municipio lo comunica la carretera federal número 15 Morelia-Quiroga-Pátzcuaro y la autopista Morelia-Pátzcuaro-Uruapan. Cuenta con la carretera de la riva del lago de Pátzcuaro por la cual se llega mediante la ruta Morelia-Quiroga-Santa

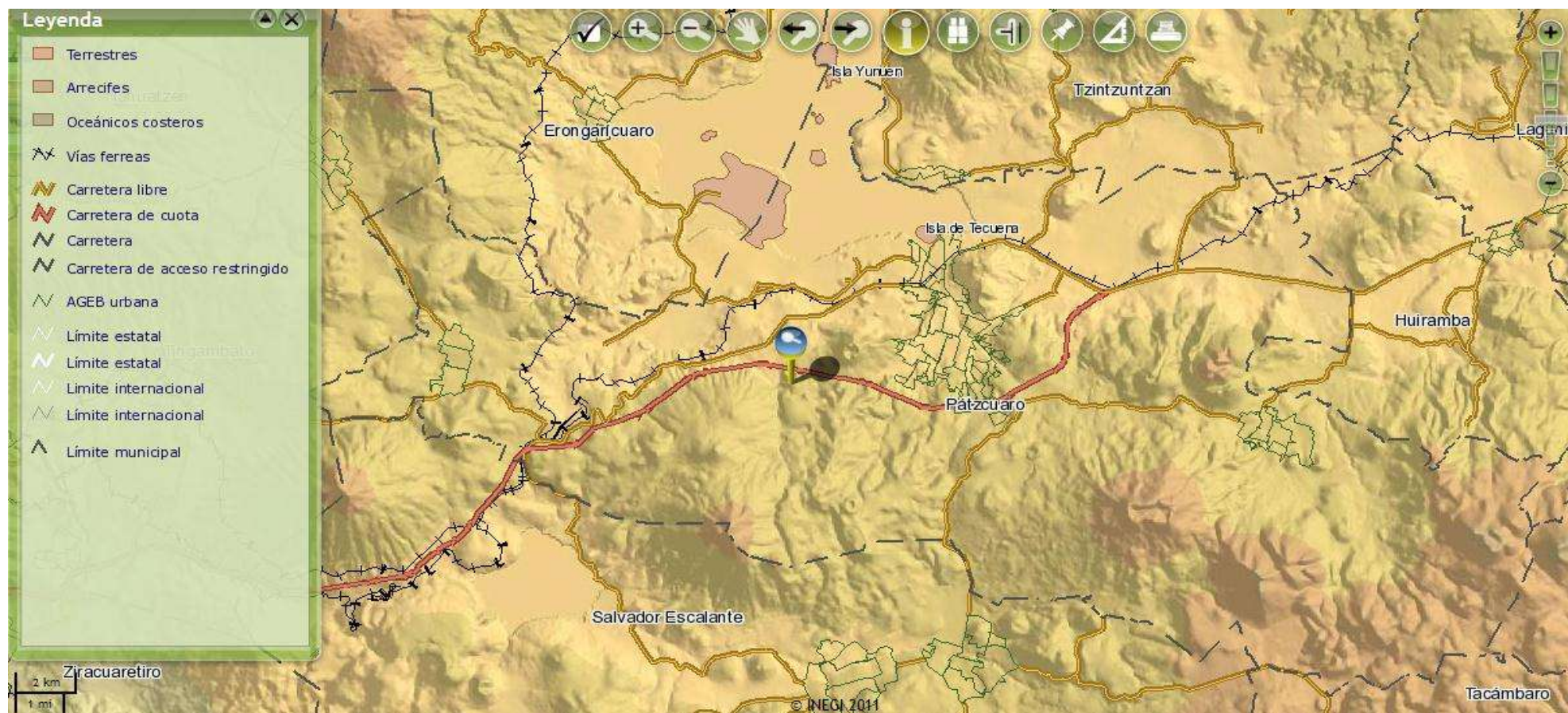


Figura 3.11 Vías de comunicación del sitio

3.2. GENERACIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

3.2.1. Proyección de población en el municipio

En la tabla posterior se presenta la estadística de población del municipio de Pátzcuaro, la cual contempla tanto la cabecera municipal como las rurales; por parte del instituto nacional de estadística y geografía del gobierno federal (INEGI: 1990, 2000,2010):

Tabla 3.1 Estadísticas de población (1990 – 2010) del municipio.

Clave del municipio	Municipio	Cabecera municipal	Habitantes (1990)
0.66	Pátzcuaro		
	Cabecera municipal		42459
	Rurales		24277
	Total		66736
Clave del municipio	Municipio	Cabecera municipal	Habitantes (2000)
0.66	Pátzcuaro		
	Cabecera municipal		47993
	Rurales		29910
	Total		77903
Clave del municipio	Municipio	Cabecera municipal	Habitantes (2010)
0.66	Pátzcuaro		
	Cabecera municipal		55298
	Rurales		32589
	Total		87887

Enseguida se muestra la tabla de proyección de la población del municipio de Pátzcuaro durante el periodo (1990 – 2032), por los tres métodos de proyección usados por INEGI:

Tabla 3.2 Proyección de la población por los tres métodos de INEGI.

AÑO	MÉTODO		
	LINEAL	GEOMÉTRICO	PARABÓLICO
POBLACIÓN	POBLACIÓN	POBLACIÓN	POBLACIÓN
1990	66736	66736	66736
2000	77903	77903	77903
2010	87887	87887	87887
2020	98462	121376	96688
2030	109038	148158	104306
2032	111153	154186	105687

De manera similar a la grafica anterior ahora se presenta la gráfica comparativa de población del municipio de Pátzcuaro durante el periodo (1990 – 2032), en base a los tres métodos de proyección usados por INEGI:

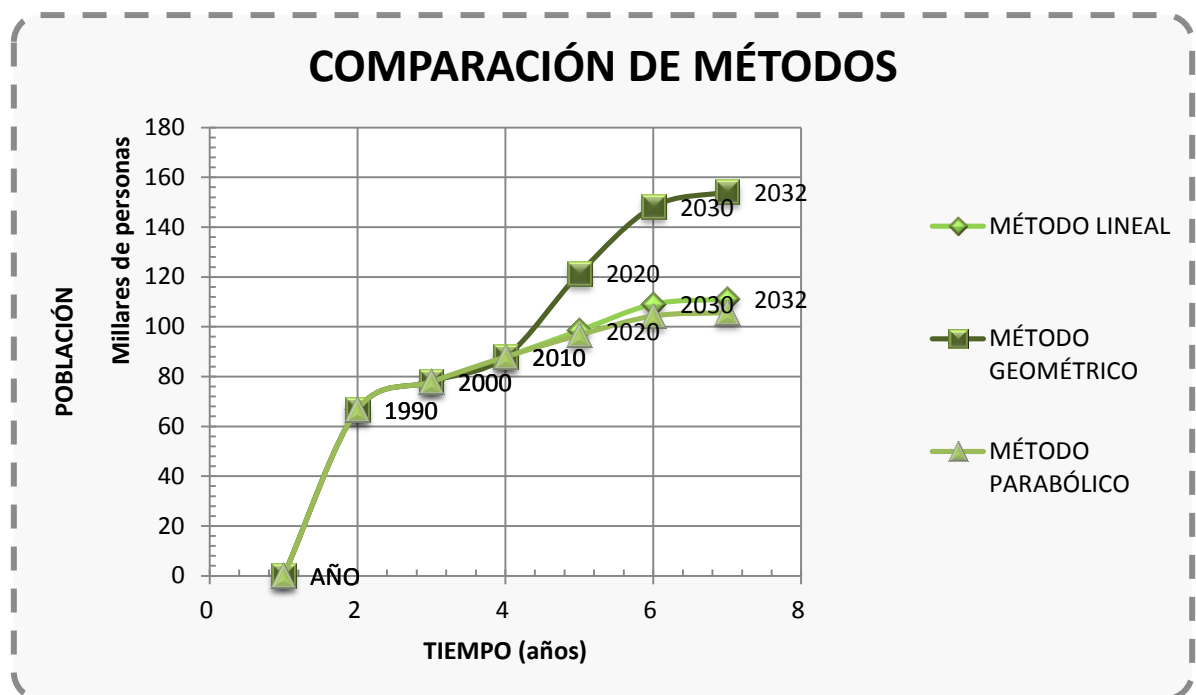


Figura 3.12 Gráfica comparativa de proyección de población por los tres métodos.

Por lo tanto de acuerdo a la grafica anterior podemos observar que el método más adecuado es el parabólico, tomando por consecuencia un valor de población proyectado hacia el 2032 de 105687 habitantes.

3.2.2. Proyección de afluencia turística

En seguida se muestra la tabla de estadística de afluencia turística del municipio de Pátzcuaro por parte de la secretaria de turismo del estado de Michoacán (SECTUR: 2008, 2009, 2010):

Tabla 3.3 Estadísticas de afluencia (2008 – 2010) del municipio.

MUNICIPIO : PÁTZCUARO			
MESES DE MAYOR AFLUENCIA	AÑO:		
	2008	2009	2010
JULIO	67,130	119,691	172,252
OCTUBRE	97,619	131,295	164,971
MARZO	74,697	114,864	155,031
DICIEMBRE	147,432	225,106	147,432
NOVIEMBRE	135,893	163,454	135,893
TOTAL ANUAL:	522,771	754,410	775,579

Posteriormente se presenta la proyección futura de afluencia turística del municipio de Pátzcuaro, por los tres métodos de proyección usados por INEGI:

Tabla 3.4 Proyección de afluencia turística por los tres métodos de INEGI.

MÉTODO			
LINEAL		GEOMÉTRICO	PARABÓLICO
AÑO	AFLUENCIA	AFLUENCIA	AFLUENCIA
2008	522771	522771	522771
2009	754410	754410	754410
2010	775579	775579	775579
2020	7790100	680207	10588581
2030	14281850	847064	42999741
2032	15580200	885057	52007613

En la continua imagen se exhibe la grafica comparativa de afluencia turística del municipio de Pátzcuaro durante el periodo (2008 – 2032), en base a los tres métodos de proyección usados por INEGI:



Figura 3.13 Gráfica comparativa de proyección de afluencia por los tres métodos. Por lo tanto de acuerdo a la gráfica anterior podemos observar que el método más adecuado es el lineal, tomando por consecuencia un valor de afluencia turística proyectado hacia el 2032 de 15580200 turistas.

3.2.3. Generación de residuos sólidos:

A continuación se visualiza la estadística de residuos sólidos del municipio de Pátzcuaro, por parte de la población y de la afluencia generada (2012):

Tabla 3.5 Proyección del volumen de R.S. (2012) en el municipio.

Población del Mpio.					
AÑO	2012		PPC (kg/hab)		Volumen (kg)
Población (Cabecera municipal y Rurales)	=	89741	0.5	=	44870
Total =					44870

Afluencia del Mpio.					
AÑO	2012		PPC (kg/hab)		Volumen (kg)
Turistas (Hospedados y Visitantes)	=	2596700	1.0	=	2596700
Total =					2596700

Proyección del volumen de basura producida en el municipio de Pátzcuaro hasta el año 2010	Total kg =	2641570
	Total t =	2641

De manera continua se exhibe en la tabla inferior la proyección futura de residuos sólidos del municipio de Pátzcuaro a 20 años:

Tabla 3.6 Proyección del volumen de R.S. (2032) en el municipio.

Población del Mpio.				PPC (kg/hab)		Volumen (kg)	
AÑO	2032						
Población (Cabecera municipal y Rurales)	=	105687		0.5	=	52843	
Total =						52843	
Afluencia del Mpio.				PPC (kg/hab)		Volumen (kg)	
AÑO	2032						
Turistas (Hospedados y Visitantes)	=	15580200		1.0	=	15580200	
Total =						15580200	

Proyección del volumen de basura producida en el municipio de Pátzcuaro hasta el año 2032	Total kg =	15633043
	Total t =	15633

- ◆ Con base en la primera tabla (NOM-083–SEMARNAT) de la categoría de los sitios, y con el resultado del volumen de Residuos sólidos producidos en el año 2012, se concluye que el Relleno sanitario a diseñar para nuestro caso es de tipo A.

Contemplando lo proyectado en cuanto R.S.M. del relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro y teniendo en cuenta que el proyecto es de clase “A”; se recomienda el uso de las siguientes tres maquinas: compactador de rellenos sanitarios, retroexcavadora cargadora, y cargador de cadenas. Debido al gran manejo de R.S.M. y antes que nada a la preparación del predio destinado al proyecto.



Figura 3.14 Maquinaria optima para el proceso de ejecución del relleno.

3.2.4. Composición de los residuos sólidos del municipio:

Como se muestra en la siguiente imagen se ilustra a detalle el tipo de composición en general, de los R.S.M. generados en el municipio de Pátzcuaro; resaltando que los desechos orgánicos y otros, son los de mayor porcentaje:

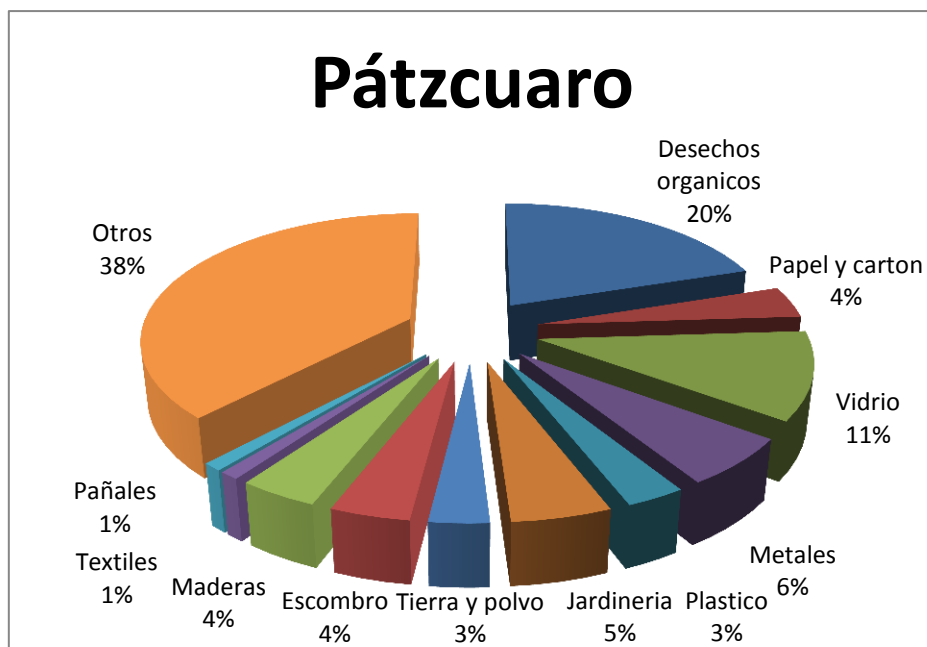


Figura 3.15 Composición porcentual de los R.S. del municipio de Pátzcuaro.

3.3. ÁREAS Y VOLÚMENES EN EL RELLENO SANITARIO

3.3.1. Proyección de volumen y área requerida para el relleno sanitario

En seguida se presenta a manera de ejemplo, de forma detallada cada paso a seguir; para obtener el cálculo del volumen y área requerida para la zona que contempla el relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro para el año 2012:

Población (habitantes) = 89741.84

Afluencia (turistas y visitantes) = 2596700.0

Total = (Población + Afluencia) = 89714.84 + 2596700.0 = 2686441.84

Ppc = 0.75 kg/hab/d (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT)

- Cantidad de desechos sólidos:

Diarios: (Total x Ppc) = (2686441.84 x 0.75) = 2014831.4 kg/d

Anuales: (Diarios / 1000) x (317 días hábiles al año)

= (2014831.4 / 1000) x (317) = 638701.5 t/año

Acumulados: (Diarios / 1000) x (48 días inhábiles al año)

= (2014831.4 / 1000) x (48) = 96711.9 t/año

- Volumen de:
 - ◆ R.S. Compactados:

Diarios: (Cantidad de desechos sólidos diarios/1000) x (7/6 día laboral) x (densidad de R.S. compactados)

Diarios = (2014831.4 / 1000) x (7/6) x (0.45) = 5223.6 m³

Anuales: (R.S. compactados diarios) x (317 días hábiles al año)

Anuales = (5223.6) x (317) = 1655892.9 m³

- ◆ Material de cobertura:

Diario: (R.S. compactados diarios) x (20 % Tierra de cobertura) = (5223.6) x (0.20) = 1044.7 m³

Anual: (Material de cobertura diario) x (317 días hábiles al año) = (1044.7) x (317) = 331178.6 m³

◆ R.S. Estabilizados:

Anuales: [(Cantidad de desechos sólidos diarios/1000) x (7/6 día laboral) / (densidad de R.S. estabilizados)] x (317 días hábiles al año)

$$\text{Anuales} = [(2014831.4/1000) \times (7/6) / (0.55)] \times (317) = 1354821.5 \text{ m}^3$$

Diarios: (R.S. estabilizados anuales) / (317 días hábiles diarios)

$$\text{Diarios} = (1354821.5) / (317) = 4273.88 \text{ m}^3$$

◆ Relleno sanitario:

Anual: (Material de cobertura anual) + (R.S. estabilizados anuales)

$$\text{Anual} = (331178.6) + (1354821.5) = 1686000.0 \text{ m}^3$$

Acumulado: [(Material de cobertura diario) + (R.S. estabilizados diarios)] x (48 días inhábiles)

$$\text{Acumulado} = [(1044.7) + (4273.88)] \times (48) = 255293.4 \text{ m}^3$$

Total: (Relleno sanitario anual) + (Relleno sanitario acumulado)

$$\text{Total} = (1686000.0) + (255293.4) = 1941293.4 \text{ m}^3$$

• Área requerida:

◆ Relleno:

Área de relleno: (Relleno sanitario total) / (6 metros de altura del relleno)

$$\text{Área de relleno} = (1941293.4) / (6) = 323548.9 \text{ m}^2$$

Área total (área de relleno con aéreas adicionales): (Área de relleno) x (1.2 factor de aumento para aéreas adicionales)

$$\text{Área total} = (323548.9) \times (1.2) = 388258.7 \text{ m}^2$$

En la tabla mostrada en la parte inferior se visualizan el volumen y área requeridos para el relleno sanitario durante el periodo (2010 – 2032):

Tabla 3.7 Proyección de volumen y área requerida (2032).

VOLUMEN Y ÁREA REQUERIDA																			
AÑOS (PROYECCIÓN)	AÑO	POBLACIÓN (hab)	AFLUENCIA (TURISTAS Y VISITANTES)	TOTAL (AFLUENCIA + POBLACIÓN)	Ppc (kg/hab-d)	CANTIDAD DE DESECHOS SOLIDOS			VOLUMENES DE:									ÁREA REQUERIDA	
									R.S. COMPACTADOS		MAT. DE COBERTURA		R.S. ESTABILIZADOS		RELLENO SANITARIO			RELLENO	TOTAL
						DIARIA (kg/d)	ANUAL (t/Año)	ACUMULADO (t/año)	DIARIO (m³)	ANUAL (m³)	DIARIO (m³)	ANUAL (m³)	DIARIO (m³)	ANUAL (m³)	ANUAL (DS + MC) (m³)	ACUMULADO (m³)	TOTAL (m³)	AR (m²)	AT (m²)
						(1)	(2)	(1) + (2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	2010	87887.0	775579.0	863466.0	0.75	647599.5	205289.0	31084.8	1679.0	532230.8	335.8	106446.2	1373.7	435461.6	541907.8	82055.4	623963.2	103993.9	124792.6
2	2011	88820.3	1947525.0	2036345.3	0.75	1527259.0	484141.1	73308.4	3959.6	1255180.6	791.9	251036.1	3239.6	1026966.0	1278002.1	193514.5	1471516.6	245252.8	294303.3
3	2012	89741.8	2596700.0	2686441.8	0.75	2014831.4	638701.5	96711.9	5223.6	1655892.9	1044.7	331178.6	4273.9	1354821.5	1686000.0	255293.4	1941293.4	323548.9	388258.7
4	2013	90651.5	3245875.0	3336526.5	0.75	2502394.9	793259.2	120115.0	6487.7	2056597.9	1297.5	411319.6	5308.1	1682671.0	2093990.6	317071.1	2411061.7	401843.6	482212.3
5	2014	91549.4	3895050.0	3986599.4	0.75	2989949.5	947814.0	143517.6	7751.7	2457295.5	1550.3	491459.1	6342.3	2010514.5	2501973.7	378847.7	2880821.4	480136.9	576164.3
6	2015	92435.4	4544225.0	4636660.4	0.75	3477495.3	1102366.0	166919.8	9015.7	2857985.9	1803.1	571597.2	7376.5	2338352.1	2909949.3	440623.2	3350572.6	558428.8	670114.5
7	2016	93309.6	5193400.0	5286709.6	0.75	3965032.2	1256915.2	190321.5	10279.7	3258669.0	2055.9	651733.8	8410.7	2666183.8	3317917.6	502397.6	3820315.2	636719.2	764063.0
8	2017	94171.9	5842575.0	5936746.9	0.75	4452560.2	1411461.6	213722.9	11543.7	3659344.8	2308.7	731869.0	9444.8	2994009.4	3725878.4	564170.9	4290049.2	715008.2	858009.8
9	2018	95022.4	6491750.0	6586772.4	0.75	4940079.3	1566005.1	237123.8	12807.6	4060013.3	2561.5	812002.7	10479.0	3321829.1	4133831.8	625943.0	4759774.8	793295.8	951955.0
10	2019	95861.1	7140925.0	7236786.1	0.75	5427589.6	1720545.9	260524.3	14071.5	4460674.6	2814.3	892134.9	11513.1	3649642.8	4541777.7	687714.0	5229491.7	871582.0	1045898.3
11	2020	96688.0	7790100.0	7886788.0	0.75	5915091.0	1875083.8	283924.4	15335.4	4861328.5	3067.1	972265.7	12547.2	3977450.6	4949716.3	749483.9	5699200.1	949866.7	1139840.0
12	2021	97503.0	8439275.0	8536778.0	0.75	6402583.5	2029619.0	307324.0	16599.3	5261975.1	3319.9	1052395.0	13581.2	4305252.4	5357647.4	811252.6	6168900.0	1028150.0	1233780.0
13	2022	98306.2	9088450.0	9186756.2	0.75	6890067.2	2184151.3	330723.2	17863.1	5662614.5	3572.6	1132522.9	14615.3	4633048.2	5765571.1	873020.2	6638591.3	1106431.9	1327718.3
14	2023	99097.6	9737625.0	9836722.6	0.75	7377542.0	2338680.8	354122.0	19127.0	6063246.5	3825.4	1212649.3	15649.3	4960838.1	6173487.4	934786.7	7108274.1	1184712.3	1421654.8
15	2024	99877.2	10386800.0	10486677.2	0.75	7865007.9	2493207.5	377520.4	20390.8	6463871.3	4078.2	1292774.3	16683.4	5288622.0	6581396.2	996552.1	7577948.3	1262991.4	1515589.7
16	2025	100644.9	11035975.0	11136619.9	0.75	8352464.9	2647731.4	400918.3	21654.5	6864488.8	4330.9	1372897.8	17717.3	5616399.9	6989297.6	1058316.4	8047614.0	1341269.0	1609522.8
17	2026	101400.8	11685150.0	11786550.8	0.75	8839913.1	2802252.4	424315.8	22918.3	7265098.9	4583.7	1453019.8	18751.3	5944171.8	7397191.6	1120079.5	8517271.1	1419545.2	1703454.2
18	2027	102144.8	12334325.0	12436469.8	0.75	9327352.4	2956770.7	447712.9	24182.0	7665701.8	4836.4	1533140.4	19785.3	6271937.8	7805078.2	1181841.5	8986919.7	1497820.0	1797383.9
19	2028	102877.0	12983500.0	13086377.0	0.75	9814782.8	3111286.1	471109.6	25445.7	8066297.4	5089.1	1613259.5	20819.2	6599697.9	8212957.4	1243602.4	9456559.7	1576093.3	1891311.9
20	2029	103597.4	13632675.0	13736272.4	0.75	10302204.3	3265798.8	494505.8	26709.4	8466885.7	5341.9	1693377.1	21853.2	6927451.9	8620829.1	1305362.1	9926191.2	1654365.2	1985238.2
21	2030	104306.0	14281850.0	14386156.0	0.75	10789617.0	3420308.6	517901.6	27973.1	8867466.7	5594.6	1773493.3	22887.1	7255200.0	9028693.4	1367120.8	10395814.1	1732635.7	2079162.8
22	2031	105002.7	14931025.0	15036027.7	0.75	11277020.8	3574815.6	541297.0	29236.7	9268040.4	5847.3	1853608.1	23921.0	7582942.2	9436550.3	1428878.3	10865428.5	1810904.8	2173085.7
23	2032	105687.6	15580200.0	15685887.6	0.75	11764415.7	3729319.8	564692.0	30500.3	9668606.9	6100.1	1933721.4	24954.8	7910678.3	9844399.7	1490634.7	11335034.4	1889172.4	2267006.9

Cálculo del volumen de la franja general:

Continuando con el proceso de cálculo, se presenta a manera de ejemplo, de forma detallada cada paso a seguir; para obtener el cálculo del volumen de la franja requerida para la zona que contempla el relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro para el año 2012:

Información básica: año 2012

Población por servir: 2686441.284 habitantes

Ppc: 0.75 kg/hab·d

Cobertura de servicio de recolección de residuos: 68% de la población

Cantidad de desechos sólidos producidos:

$$DSp = Pob \times Ppc = 2686441.84 \text{ hab} \times 0.75 \text{ kg/hab} \cdot \text{d} = 2014831.4 \text{ kg/d}$$

Cantidad de DS recolectados:

$$DSr = DSp \times Cob = 2014831.4 \text{ kg/d} \times 0.68 = 1370085.3 \text{ kg/d}$$

Volumen de la zanja:

Si se estima en 20% el material de cobertura, una vida útil de 60 días y una densidad de 500 kg/m³, entonces:

$$Vz = (t \times DSr \times mc) / (DSrsm) = (60 \text{ días} \times 1370085.3 \text{ kg/d} \times 0.2) / (550 \text{ kg/d}) = 29892.77 \text{ m}^3$$

Es decir que para depositar los desechos sólidos de un día se requerirán excavar

$$29892.77 / 60 = 498.21 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento de la franja:

$$Hz \text{ (altura de franja)} = 6 \text{ m}$$

$$A \text{ (área de franja)} = 4982.1 \text{ m}^2$$

$$a \text{ (ancho de franja)} = 25 \text{ m}$$

$$L \text{ (largo de franja)} = 199.3 \text{ m}$$

En la tabla mostrada en la parte inferior se visualizan el volumen y área de franjas requeridas para el relleno sanitario durante el periodo (2010 – 2032):

Tabla 3.8 Proyección de volumen de franjas (2032).

Años de proyección	Año	Población por servir	Ppc	Cobertura del servició de recolección	Cantidad de desechos sólidos producidos	Cantidad de desechos sólidos recolectados	Material de cobertura	Densidad de D.S. estabilizados	Vida útil de la franja	Volumen de la franja	Excavación diaria para deposito de D.S.	Altura de franja	Área de franja	Ancho de franja	Largo de franja	Número de franjas al año
		(hab)	(kg/hab·d)	(%)	(kg/d)	(kg/d)	(%)	(kg/m³)	(d)	(m³)	(m³)	(m)	(m²)	(m)	(m)	
1	2010	863466	0.75	68	647599.5	440367.7	20	550	60	9608.02	160.13	6	1601.3	25	64.1	6
2	2011	2036345.335	0.75	68	1527259.0	1038536.1	20	550	60	22658.97	377.65	6	3776.5	25	151.1	6
3	2012	2686441.84	0.75	68	2014831.4	1370085.3	20	550	60	29892.77	498.21	6	4982.1	25	199.3	6
4	2013	3336526.515	0.75	68	2502394.9	1701628.5	20	550	60	37126.44	618.77	6	6187.7	25	247.5	6
5	2014	3986599.36	0.75	68	2989949.5	2033165.7	20	550	60	44359.98	739.33	6	7393.3	25	295.7	6
6	2015	4636660.375	0.75	68	3477495.3	2364696.8	20	550	60	51593.38	859.89	6	8598.9	25	344.0	6
7	2016	5286709.56	0.75	68	3965032.2	2696221.9	20	550	60	58826.66	980.44	6	9804.4	25	392.2	6
8	2017	5936746.915	0.75	68	4452560.2	3027740.9	20	550	60	66059.80	1101.00	6	11010.0	25	440.4	6
9	2018	6586772.44	0.75	68	4940079.3	3359253.9	20	550	60	73292.81	1221.55	6	12215.5	25	488.6	6
10	2019	7236786.135	0.75	68	5427589.6	3690760.9	20	550	60	80525.69	1342.09	6	13420.9	25	536.8	6
11	2020	7886788	0.75	68	5915091.0	4022261.9	20	550	60	87758.44	1462.64	6	14626.4	25	585.1	6
12	2021	8536778.035	0.75	68	6402583.5	4353756.8	20	550	60	94991.06	1583.18	6	15831.8	25	633.3	6
13	2022	9186756.24	0.75	68	6890067.2	4685245.7	20	550	60	102223.54	1703.73	6	17037.3	25	681.5	6
14	2023	9836722.615	0.75	68	7377542.0	5016728.5	20	550	60	109455.90	1824.26	6	18242.6	25	729.7	6
15	2024	10486677.16	0.75	68	7865007.9	5348205.4	20	550	60	116688.12	1944.80	6	19448.0	25	777.9	6
16	2025	11136619.88	0.75	68	8352464.9	5679676.1	20	550	60	123920.21	2065.34	6	20653.4	25	826.1	6
17	2026	11786550.76	0.75	68	8839913.1	6011140.9	20	550	60	131152.16	2185.87	6	21858.7	25	874.3	6
18	2027	12436469.82	0.75	68	9327352.4	6342599.6	20	550	60	138383.99	2306.40	6	23064.0	25	922.6	6
19	2028	13086377.04	0.75	68	9814782.8	6674052.3	20	550	60	145615.69	2426.93	6	24269.3	25	970.8	6
20	2029	13736272.44	0.75	68	10302204.3	7005498.9	20	550	60	152847.25	2547.45	6	25474.5	25	1019.0	6
21	2030	14386156	0.75	68	10789617.0	7336939.6	20	550	60	160078.68	2667.98	6	26679.8	25	1067.2	6
22	2031	15036027.74	0.75	68	11277020.8	7668374.1	20	550	60	167309.98	2788.50	6	27885.0	25	1115.4	6
23	2032	15685887.64	0.75	68	11764415.7	7999802.7	20	550	60	174541.15	2909.02	6	29090.2	25	1163.6	6

3.3.2. Cálculo del volumen de la celda unitaria:

Continuando con el proceso de cálculo, se presenta a manera de ejemplo, de forma detallada cada paso a seguir; para obtener el cálculo del volumen de la celda requerida para la zona que contempla el relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro para el año 2012:

Población = 2686441.84 Habitantes

Ppc = 0.75 kg/hab·d (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT)

Cantidad de R.S. diarios = (Población) x (Ppc) = (2686441.84) x (0.75) = 2014831.4 kg/d

R.S. hacia el relleno sanitario = (Cantidad de R.S. diarios) x (7/6 día laboral)

R.S. hacia el relleno sanitario = (2014831.4) x (7/6) = 2350636.6 kg/d

R.S. del relleno sanitario = (R.S. hacia el relleno sanitario) x (90% R.S. que realmente llegan al relleno sanitario)

R.S. del relleno sanitario = (2350636.6) x (90/100) = 2115572.9 kg/d

Volumen de celda diaria: [(R.S. del relleno sanitario) / (Densidad de R.S. compactados)] x (20% Material de cobertura)

Volumen de celda diaria = [(2115572.9) / (450 kg/m³)] x (20/100) = 940.3 m³

Altura de celda = 1 m

Área de celda: (Volumen de celda diaria) / (Altura de celda) = (940.3) / (1) = 940.3 m²

Ancho de celda = 25 m

Largo de celda: (Área de celda) / (Ancho de celda) = (940.3) / (25) = 37.6 m

Número de celdas por franja: (Volumen de franja) / (Volumen de celda diaria)

Número de celdas por franja = (29892.77) / (940.3) = 32

En la tabla mostrada en la parte inferior se visualizan el volumen y área de celdas requeridas para el relleno sanitario durante el periodo (2010 – 2032):

Tabla 3.9 Proyección de volumen de celdas (2032).

VOLUMEN DE CELDA																	
Años de proyección	Año	Población por servir	Ppc	Cantidad de R.S. diarios	Días laborales 7/6	R.S. hacia el relleno sanitario	R.S. que realmente llegan al relleno	R.S. del relleno sanitario	Material de cobertura	Densidad de R.S. compactados	Volumen de celda diaria	Altura de celda	Área de celda	Ancho de celda	Largo de celda	Volumen de franja (v.u. 60 días)	Número de celdas por franja
		(hab)	(kg/hab·d)	(kg/d)		(kg/d)	(%)	(kg/d)	(%)	(kg/m³)	(m³)	(m)	(m²)	(m)	(m)	(m³)	
1	2010	863466	0.75	647599.5	1.17	755532.8	90	679979.5	20	450	302.2	1	302.2	25	12.1	9608.02	32
2	2011	2036345.34	0.75	1527259.0	1.17	1781802.2	90	1603622.0	20	450	712.7	1	712.7	25	28.5	22658.97	32
3	2012	2686441.84	0.75	2014831.4	1.17	2350636.6	90	2115572.9	20	450	940.3	1	940.3	25	37.6	29892.77	32
4	2013	3336526.52	0.75	2502394.9	1.17	2919460.7	90	2627514.6	20	450	1167.8	1	1167.8	25	46.7	37126.44	32
5	2014	3986599.36	0.75	2989949.5	1.17	3488274.4	90	3139447.0	20	450	1395.3	1	1395.3	25	55.8	44359.98	32
6	2015	4636660.38	0.75	3477495.3	1.17	4057077.8	90	3651370.0	20	450	1622.8	1	1622.8	25	64.9	51593.38	32
7	2016	5286709.56	0.75	3965032.2	1.17	4625870.9	90	4163283.8	20	450	1850.3	1	1850.3	25	74.0	58826.66	32
8	2017	5936746.92	0.75	4452560.2	1.17	5194653.6	90	4675188.2	20	450	2077.9	1	2077.9	25	83.1	66059.80	32
9	2018	6586772.44	0.75	4940079.3	1.17	5763425.9	90	5187083.3	20	450	2305.4	1	2305.4	25	92.2	73292.81	32
10	2019	7236786.14	0.75	5427589.6	1.17	6332187.9	90	5698969.1	20	450	2532.9	1	2532.9	25	101.3	80525.69	32
11	2020	7886788	0.75	5915091.0	1.17	6900939.5	90	6210845.6	20	450	2760.4	1	2760.4	25	110.4	87758.44	32
12	2021	8536778.04	0.75	6402583.5	1.17	7469680.8	90	6722712.7	20	450	2987.9	1	2987.9	25	119.5	94991.06	32
13	2022	9186756.24	0.75	6890067.2	1.17	8038411.7	90	7234570.5	20	450	3215.4	1	3215.4	25	128.6	102223.54	32
14	2023	9836722.62	0.75	7377542.0	1.17	8607132.3	90	7746419.1	20	450	3442.9	1	3442.9	25	137.7	109455.90	32
15	2024	10486677.2	0.75	7865007.9	1.17	9175842.5	90	8258258.3	20	450	3670.3	1	3670.3	25	146.8	116688.12	32
16	2025	11136619.9	0.75	8352464.9	1.17	9744542.4	90	8770088.2	20	450	3897.8	1	3897.8	25	155.9	123920.21	32
17	2026	11786550.8	0.75	8839913.1	1.17	10313231.9	90	9281908.7	20	450	4125.3	1	4125.3	25	165.0	131152.16	32
18	2027	12436469.8	0.75	9327352.4	1.17	10881911.1	90	9793720.0	20	450	4352.8	1	4352.8	25	174.1	138383.99	32
19	2028	13086377	0.75	9814782.8	1.17	11450579.9	90	10305521.9	20	450	4580.2	1	4580.2	25	183.2	145615.69	32
20	2029	13736272.4	0.75	10302204.3	1.17	12019238.4	90	10817314.5	20	450	4807.7	1	4807.7	25	192.3	152847.25	32
21	2030	14386156	0.75	10789617.0	1.17	12587886.5	90	11329097.9	20	450	5035.2	1	5035.2	25	201.4	160078.68	32
22	2031	15036027.7	0.75	11277020.8	1.17	13156524.3	90	11840871.8	20	450	5262.6	1	5262.6	25	210.5	167309.98	32
23	2032	15685887.6	0.75	11764415.7	1.17	13725151.7	90	12352636.5	20	450	5490.1	1	5490.1	25	219.6	174541.15	32

3.3.3. Canales interceptores de aguas de escorrentía:

Posteriormente se presenta de forma detallada cada paso a seguir; para obtener el cálculo del canal interceptor requerido para la recolección de agua de escorrentía perimetral a la zona que contempla el relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro:

Caudal que ingresa:

$$Q_p = [(K_i) \times (A_d)] / (3.6 \times 10^6)$$

Q_p = Caudal que ingresa (m^3/s)

K = Coeficiente de escurrimiento

i = Intensidad de la lluvia (mm/h)

A_d = Área de la cuenca (m^2)

- Precipitación máxima anual:

Tabla 3.10 Precipitación media máxima anual (SMN).

Precipitación												
Máxima anual												Máxima anual
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
206.7	25.1	21.1	59.2	87.8	243.6	343.6	300.6	231.1	216.6	53.5	53	1841.9

Región hidrológica = RH12 (Cuenca Lerma – Santiago)

Clave de cuenca = G (L. de Pátzcuaro – Cuitzeo y L. de Yuriría)

Clave de subcuenca = RH12Ga (L. de Pátzcuaro)

Área de subcuenca = $934.52 (Km^2) = 0.93452 (m^2) = 0.000093452 (ha)$ (SIATL – INEGI)

- Coeficientes de escurrimiento:

Tabla 3.11 Coeficientes de escurrimiento (UAC).

Vegetación - Velocidad de infiltración		Pendiente en %				
		< 1	1 - 5	5 - 20	20 - 50	> 50
Bosques y vegetación densa	Alto	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2
	Moderado	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4
	Bajo	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
Pastos y bosques abiertos	Alto	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4
	Moderado	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
	Bajo	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
Arbustos	Alto	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
	Moderado	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5
	Bajo	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
Cultivos	Alto	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
	Moderado	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6
	Bajo	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7
Sin vegetación	Alto	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
	Moderado	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5
	Bajo	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6

Por lo tanto:

$$Q_p = [(0.5 \times 1841.9) \times (0.93452)] / (3.6 \times 10^6) = 0.000239068 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$Q_p = 0.00024 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Área de la sección de la zanja:

$$A = Q_p / V$$

$$A = \text{Área de la sección de la zanja (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{Velocidad máxima promedio (m/s)}$$

- Velocidades máximas que no producen erosión:

Tabla 3.12 Velocidades máximas en canales.

Tipo de suelo	Velocidad media (m/s)
Arena suelta y muy fina	0.23 - 0.30
Arena suelta fina	0.30 - 0.45
Arena gruesa ó suelo arenoso ligero	0.45 - 0.60
Suelo arenoso ordinario	0.60 - 0.75
Fango arenoso	0.75 - 0.85
Fango ordinario, suelo aluvial, cenizas volcánicas	0.85 - 0.90
Fango compacto, fango arcilloso	0.90 - 1.15
Suelo arcilloso firme, suelo ordinario de grava	1.20 - 1.50
Grava gruesa, cantos rodados, cascajo	1.50 - 1.85
Aglomerados, grava cementada, arcilla endurecida, roca sedimentaria blanda	1.85 - 2.45
Roca dura	3.0 - 4.50

$V = 0.5 \text{ (m/s)}$

Por lo tanto:

$$A = 0.00024 / 0.5 = 0.00048 \text{ (m}^2\text{)}$$

Nota: En base al área = $0.00048 \text{ (m}^2\text{)}$, se selecciona el tipo de sección del canal de drenaje de aguas de escorrentía más adecuado.

Recomendaciones para el canal interceptor:

- Tipos de sección de canales de drenaje de aguas de escorrentía:

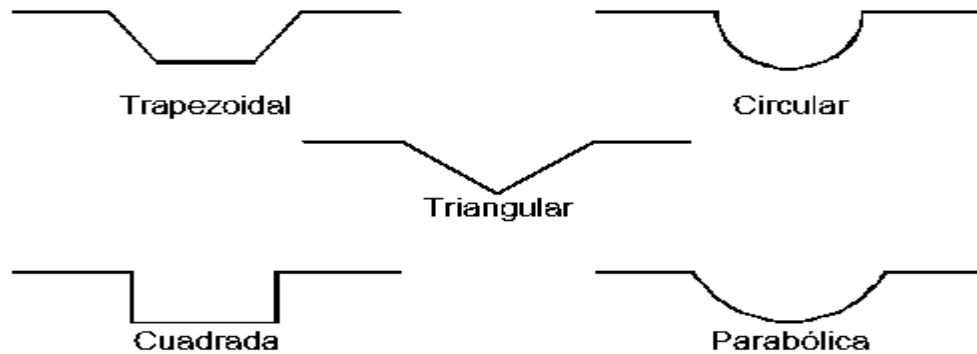


Figura 3.16 Tipos de sección de canales de drenaje.

En base al gasto y área calculados, se sugiere implementar la sección transversal triangular donde la pendiente del talud cuesta arriba se menor a 1:2; y en talud de 1:2 o mayores se recomienda la sección trapezoidal, debido tanto al gasto de captura que se genera. Siendo además los procesos constructivos más comunes, creando por lo tanto costos menores en comparación con las demás secciones.



Figura 3.17 Berma y cunetas perimetrales al predio del relleno.

- Taludes de acuerdo al tipo de material:

Tabla 3.13 Recomendaciones de talud.

Tipo de material	Talud recomendables (S) altura del corte (H) hasta 6 m	Observaciones
1. Arenas limosas y limos compactados	1/2	Descopetar 1:1 la partes superior más intemperizada. Si son materiales fácilmente erosionables, deberá proyectar talud 1:1
2. Arenas limosas y limos poco compactados	1/2	Proyectar contracuneta impermeable. Descopetar 1.5:1 la parte más intemperizada
3. Arenas limosas y limos muy compactados	1/2	Descopetar la parte superior suelta
4. Arenas poco arenosas, firmes y homogéneas	1/4	Descopetar 1:1 la parte superior intemperizada. Si existe flujo de agua construir subdrenaje
5. Arcillas blandas y expansivas	1	

Con base a lo mostrado en la tabla superior el talud sugerido es el no. 2 del listado, debido al tipo de material y preciso por la importancia de la contracuneta perimetral al relleno sanitario.

3.4. LIXIVIADOS EN EL RELLENO SANITARIO

3.4.1. Generación de lixiviado

Consecuentemente se presenta de forma detallada cada paso a seguir; para obtener el cálculo del lixiviado ó percolado generado por la zona que contempla el relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro:

$$Q = (1/t) \times P \times A \times K$$

Q = Caudal medio de lixiviado o liquido percolado (L/s)

P = Precipitación media anual (mm/Año)

A = Área superficial del relleno (m²)

K = Coeficiente de grado de compactación de basura.

Dc = 400 – 500 (kg/m) ; K = 0.25 – 0.50 ; = 25% - 50% (Producción de lixiviado)

t = Número de segundos al año (31536000 s/Año)

- Precipitación media anual:

Tabla 3.14 Precipitación media anual.

Precipitación												
Media anual												Media anual
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
27.1	5	5.1	9.7	37.8	150.3	219.6	204.1	157.9	71.2	17.6	13.4	76.6

Por lo tanto:

$$Q = (1/31536000) \times (76.6) \times (2267006.9) \times (0.375) = 2.065 \text{ (L/s)}$$

$$Q = 2 \text{ (L/s)}$$

$$Q_m = P \times A \times K$$

Qm = Caudal medio de lixiviado generado (m³/Mes)

P = Precipitación máxima mensual (mm/Mes)

A = Área superficial del relleno (m²)

K = Coeficiente de grado de compactación de basura.

- Precipitación máxima mensual:

Tabla 3.15 Precipitación máxima mensual.

Precipitación												
Máxima mensual												Media máxima mensual
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
206.7	25.1	21.1	59.2	87.8	243.6	343.6	300.6	231.1	216.6	53.5	53	153.5

Por lo tanto:

$$Q_m = (1/2592000) \times (153.5) \times (2267006.9) \times (0.375) = 50.345 \text{ (m}^3\text{/mes)}$$

$$Q_m = 50 \text{ (m}^3\text{/mes)}$$

Volumen de lixiviado:

$$V = Q \times t$$

V = Volumen de lixiviado que será almacenado (m^3)

Q = Caudal medio de lixiviado o liquido percolado (m^3 /Mes)

t = Número máximo de mese con lluvias consecutivas (Mes) (junio – octubre)

Por lo tanto:

$$V = (50) \times (5) = 250 \text{ (} m^3 \text{)}$$

3.4.2. Diseño del sistema de drenaje de lixiviado:

$$L = V / A$$

L = Longitud de las zanjas de almacenamiento (m)

V = Volumen de lixiviado que será almacenado durante los periodos de lluvia (m^3)

A = Área superficial de l zanja (m^2)

Por lo tanto:

$$A = (1.0 \times 0.60) \text{ O } 0.60 \text{ (} m^2 \text{)}$$

$$L = (50) / (0.6) = 83.33 \text{ (m)}$$

En las continuas imágenes se muestra la instalación de la geomembrana, previamente a cualquier proceso a realizar en el relleno sanitario; esta geomembrana debe ser de alta densidad lo cual le permite una gran vida útil y un buen manejo por su flexibilidad, cabe notar que las juntas entre cada rollo de geomembrana deben realizarse perfectamente y ser totalmente herméticas para evitar fugas en un tiempo futuro.



Figura 3.18 Instalación adecuada de geomembrana.

En la Figura 3.19 se muestra el sistema general del drenaje de lixiviados, que contempla cada franja de celdas; teniendo en el 1) la red de drenes, 2) drenaje principal, 3) tubería de drenaje, 4) caja de registro, 5) fondo de roca sedimentaria.

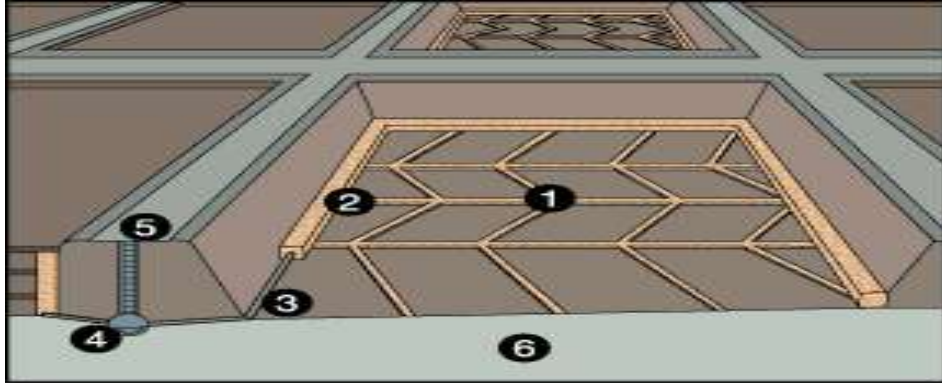


Figura 3.19 Sistema del dren de lixiviados en franja.

De manera más clara se puede observar en la foto inferior la instalación (Figura 3.20) del dren de lixiviado, el cual se realiza a base de tubería pvc de alta densidad que es microperforada para obtener la captación de los lixiviados; cabe mencionar que este proceso se realiza por cada franja de celdas.



Figura 3.20 Instalación del dren de lixiviados en franja.

En la Figura 3.21 se visualiza el corte transversal de lo que es un pozo de control de gas y lixiviado; donde se puntualizan las partes de las que consta este mismo.

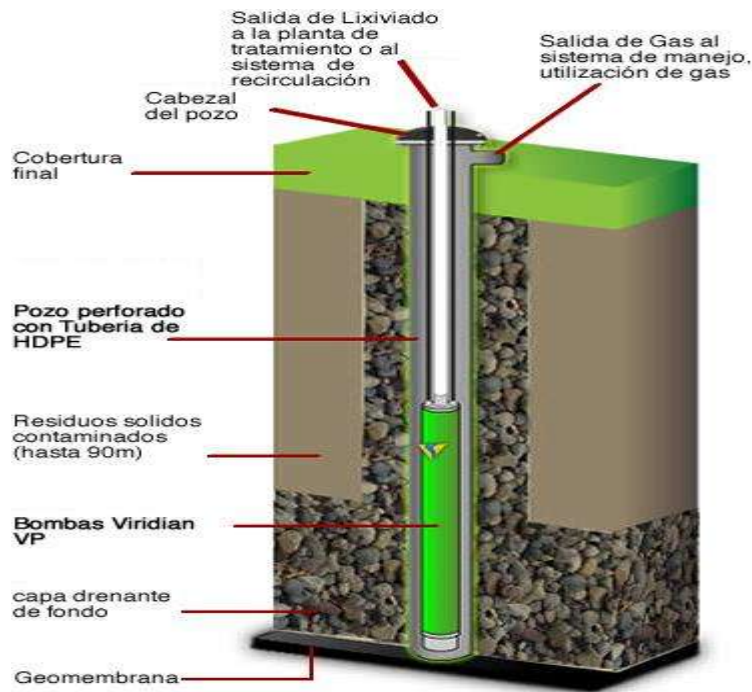


Figura 3.21 Pozo de extracción de gas y lixiviado.

Es necesario contar con una bomba de control de lixiviados (Figura 3.22), la cual cuenta con: 1) bomba utilizada para remover el lixiviado ó agua del pozo de control en la tierra, 2) sensor de presión sumergible, 3) tubería de recuperación de gas metano, 4) nodos y fuente de poder con batería de suministro, 5) nodo contador de volumen de lixiviado.



Figura 3.22 Bomba de control de lixiviado.

- Parámetros para medir la calidad del agua y lixiviado:

Tabla 3.16 Parámetros de monitoreo de calidad.

parámetro	H2O Superficial	H2O Subterránea	Lixiviado
PH	x	x	x
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (mg/L)	x	x	x
Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/L)	x	x	x
Temperatura (°C)	x	x	x
Hierro total (mg/L)	x	x	
Carbono orgánico total (COT) (mg/L)			
Nitratos (mg/L)	x		x
Cloruros (mg/L)	x	x	x
Sulfatos (mg/L)		x	x
Recuento total de colonias (Colonias/MI)	x	x	x
Conductividad (uohms/cm)			x
Sólidos suspendidos totales	x		x
Metales pesados (Hg, Cd, Pb, Cr, Fe, Zn, Cu, Ni)			x

3.5. BIOGÁS EN EL RELLENO SANITARIO

3.5.1. Generación de biogás

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_o \left[\frac{M_i}{10} \right] (e^{-kt_{ij}}) (MCF) (F)$$

Fórmula de cálculo de generación de Biogás.

Q_{LFG} = Flujo de biogás máximo esperado ($m^3/año$)

i = Incremento en tiempo de un 1 año

n = (Año del cálculo) – (año inicial de disposición de residuos)

j = Incremento de tiempo en 0.1 años

K = Índice de generación de metano (1/año)

L_o = Generación potencial de metano (m^3/mg)

M_i = Masa de residuos dispuestos en el año i (mg)

T_{ij} = Edad de la sección j de la masa M_i dispuesta en el año i (Años decimales)

MCF = Factor de corrección de metano

F = Factor de ajuste por incendios

Categorización de los residuos por regiones climáticas:

A continuación se muestra el esquema de categorización de tipos de residuos colectados de los estados del país, que para nuestro caso en particular nos corresponde la región “W”:



Figura 3.23 Regiones climáticas de México.

Como se muestra en la tabla, podemos observar los índices de generación de residuos orgánicos de acuerdo a su degradación; la cual va de lenta a muy rápida, siendo los residuos orgánicos los de mayor problema a causa de su velocidad de degradación:

Tabla 3.17 Índice de degradación.

Residuos de degradación muy rápida	Residuos alimenticios, otros organicos, 20% de pañales.
Residuos de degradación moderadamente rápida	Residuos vegetales, poda de casas o parques, papel higiénico.
Residuos de degradación moderadamente lenta	Papel, cartón, textiles.
Residuos de degradación muy lenta	Madera, caucho - piel, huesos, paja.

En la tabla presente en la parte inferior se visualizan los factores que están en función del índice de generación de metano (K); siendo en prioridad el contenido de humedad de los residuos, para la producción de este:

Tabla 3.18 Factores de (K).

1	Contenido de humedad en los residuos
2	Disponibilidad de nutrientes para bacterias generadoras de metano
3	pH
4	Temperatura

En la tabla posterior se muestran los valores del índice de generación de metano (K); que para nuestro interés nos corresponde la región 2:

Tabla 3.19 Índice de generación (K).

Categoría de los residuos	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
	Sureste	Oeste	Centro/Interior	Noroeste	Noroeste/Interior norte
1	0.300	0.220	0.160	0.150	0.100
2	0.130	0.100	0.075	0.070	0.050
3	0.050	0.040	0.032	0.030	0.020
4	0.025	0.020	0.016	0.015	0.010

Continuando con compilación de datos, ahora se presentan los valores de la generación potencial de metano (Lo); siguiendo siendo para nuestro interés la región 2:

Tabla 3.20 Generación potencial (Lo).

Categoría de los residuos	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
	Sureste	Oeste	Centro/Interior	Noroeste	Noroeste/Interior norte
1	69	69	69	69	69
2	115	126	138	138	149
3	214	214	214	214	214
4	202	202	202	202	202

Por ultimo se tiene la tabla de los factores de corrección de metano (MCF); en donde es de nuestro interés se declina por un a profundidad mayor a 5m, y por ser un relleno tipo “A” se requiere el manejo del sitio:

Tabla 3.21 Factor de corrección (MCF).

Manejo del sitio	Profundidad d < 5 m	Profundidad d > 5 m
Sin manejo	0.4	0.8
Con manejo	0.8	1
Semi-Aeróbico	0.4	0.5
Condición desconocida	0.4	0.8

Generación y recuperación de Biogás: (Alimentación de datos)

A continuación se muestra la tabla en general con todos los datos de ingreso que contempla el programa modelo mexicano de biogás versión 2.0; el cual calcula la generación y recuperación del biogás producido en el relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro, Michoacán:

Tabla 3.22 Datos de ingreso.

1	Nombre del sitio:	Relleno sanitario
2	Ciudad:	Pátzcuaro
3	Estado:	Michoacán
4	Región:	Oeste 2
5	¿Existen datos de caracterización de residuos específicos al relleno sanitario en cuestión?	Si
6	Año de apertura del sitio:	2012
7	Disposición anula del año más reciente:	1000,000 mg
8	Año de disposición:	2012
9	Año de clausura o año de clausura proyectado:	2032
10	Incremento anual estimado de la disposición:	3.5%
11	Profundidad promedio del relleno sanitario:	12 m
12	Practicar de diseño y manejo del relleno sanitario:	2
13a	¿Ha habido algún incendio en el relleno sanitario?	No
13b	Si la respuesta 13a es "si", indique el área de impacto en % del total:	0%
13c	Si la respuesta 13a es "si", indique la severidad del impacto del incendio:	1
14	Año de arranque de sistema de captura (actual/estimado):	2013
15	Porcentaje del con residuos con sistema de captura:	95%
16	Porcentaje del área con residuos con cubierta final:	80%
17	Porcentaje del área con residuos con cubierta intermedia:	10%
18	Porcentaje del área con residuos con cubierta diaria:	10%
19	Porcentaje del área con residuos sin cubierta:	0%
20	Porcentaje del área de residuos con recubrimiento inferior de (arcilla/geomembrana):	100%
21	¿Se compactan los residuos regularmente?	Si
22	¿La disposición de residuos se hace en un área específica?	Si
23a	¿Existen afloramientos de lixiviado en la superficie del relleno sanitario?	Si
23b	Si la respuesta 23a es "si", ¿esto ocurre solo después de llover?	Si
24	Eficiencia de captura estimada:	75%

3.5.2. Cálculo de la generación de biogás

En la tabla inferior se visualiza la disposición y recuperación de biogás del relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro, Michoacán; en base a las toneladas acumuladas por año durante el periodo (2012 – 2032):

Tabla 3.23 Disposición y generación de Biogás.

Año	Disposición de residuos estimada (t)	Toneladas acumuladas	Eficiencia del sistema de captura	Recuperación de Biogás estimada (m ³ a 50% CH ₄)
2012	638701.55	638701.55	75%	0.0
2013	793259.18	1431960.73	75%	662.3
2014	947814.00	2379774.72	75%	1370.5
2015	1102366.00	3482140.73	75%	2118.4
2016	1256915.20	4739055.93	75%	2900.9
2017	1411461.58	6150517.51	75%	3713.6
2018	1566005.15	7716522.65	75%	4553.1
2019	1720545.90	9437068.56	75%	5416.2
2020	1875083.85	11312152.40	75%	6300.4
2021	2029618.98	13341771.38	75%	7203.6
2022	2184151.30	15525922.68	75%	8124.0
2023	2338680.80	17864603.48	75%	9059.9
2024	2493207.49	20357810.97	75%	10010.1
2025	2647731.38	23005542.35	75%	10973.2
2026	2802252.44	25807794.79	75%	11948.4
2027	2956770.70	28764565.49	75%	12934.6
2028	3111286.14	31875851.63	75%	13931.2
2029	3265798.77	35141650.40	75%	14937.4
2030	3420308.59	38561958.99	75%	15952.6
2031	3574815.59	42136774.59	75%	16976.2
2032	3729319.79	45866094.37	75%	18007.8

A continuación se muestra la tabla de las categorías de los residuos, donde se dividen en generales, orgánicos e inorgánicos; que para este caso es el estado de Michoacán que es donde se localiza el relleno sanitario:

Tabla 3.24 Caracterización de residuos.

Categoría de residuo	Datos específicos al sitio	Michoacán
Comida	0.2	0.3445
Papel y cartón	0.02	0.0812
Poda (jardines)	0.05	0.106
Madera	0.04	0.0462
Caucho, piel , huesos y paja	0	0.0233
Textiles	0.01	0.0233
Papel higiénico	0.02	0
Otros orgánicos	0.19	0.1052
Pañales (20% orgánico / 80% inorgánico)	0.01	0
Metales	0.06	0.2703
Construcción y demolición	0.04	0
Vidrio y cerámica	0.11	0
Plásticos	0.03	0
Otros inorgánicos	0.19	0
Total orgánicos	0.532	0.7297
Porcentaje de degradación muy rápida (1)	0.392	0.4497
Porcentaje de degradación moderadamente rápida (2)	0.07	0.106
Porcentaje de degradación moderadamente lenta (3)	0.03	0.1045
Porcentaje de degradación muy lenta (4)	0.04	0.0695
Total inorgánicos	0.468	0.2703
Porcentaje de degradación muy rápida (1)	0.7	0.7
Porcentaje de degradación moderadamente rápida (2)	0.45	0.45
Porcentaje de degradación moderadamente lenta (3)	0.07	0.07
Porcentaje de degradación muy lenta (4)	0.12	0.12
Lo de degradación rápida calculado	69	69
Lo de degradación moderadamente rápida calculado	126	126
Lo de degradación moderadamente lenta calculado	214	214
Lo de degradación lenta calculado	202	202

Enseguida se presenta la tabla de estimación de generación y recuperación de Biogás, generada por el modelo mexicano de biogás versión 2.0, durante el periodo (2012 – 2032); donde podemos observar la generación de biogás y su recuperación estimada, que es de la cual dependemos para la producción de electricidad:

Tabla 3.25 Generación y recuperación de Biogás.

Año	Disposición (mg/año)	Disposición acumulada (mg)	Generación de Biogás		Eficiencia del sistema de captura (%)	Recuperación de Biogás estimada		Capacidad máxima de la planta de electricidad (MW)	Reducción de emisiones estimada	
			(m ³ /h)	(mmBut/h)		(m ³ /h)	(mmBut/h)		(t CH ₄ /año)	(t CO ₂ eq /año)
2012	638701.5	638701.5	0	0	75%	0	0	0	-156.8	-3292.9
2013	793259.2	1431960.7	883.1	15.8	75%	662.3	11.8	1.1	1920.3	40326.9
2014	947814.0	2379774.7	1827.4	32.7	75%	1370.5	24.5	2.3	4141.3	86967.9
2015	1102366.0	3482140.7	2824.6	50.5	75%	2118.4	37.9	3.5	6486.8	136222.9
2016	1256915.2	4739055.9	3867.9	69.1	75%	2900.9	51.8	4.8	8940.7	187753.9
2017	1411461.6	6150517.5	4951.5	88.5	75%	3713.6	66.4	6.1	11489.5	241278.8
2018	1566005.1	7716522.7	6070.8	108.5	75%	4553.1	81.4	7.5	14122.0	296561.6
2019	1720545.9	9437068.6	7221.6	129.0	75%	5416.2	96.8	9.0	16828.8	353404.0
2020	1875083.8	11312152.4	8400.6	150.1	75%	6300.4	112.6	10.4	19601.8	411638.3
2021	2029619.0	13341771.4	9604.9	171.6	75%	7203.6	128.7	11.9	22434.4	471122.5
2022	2184151.3	15525922.7	10832.0	193.6	75%	8124.0	145.2	13.4	25320.7	531735.5
2023	2338680.8	17864603.5	12079.9	215.9	75%	9059.9	161.9	15.0	28255.9	593373.3
2024	2493207.5	20357811.0	13346.7	238.5	75%	10010.1	178.9	16.6	31235.5	655946.4
2025	2647731.4	23005542.3	14631.0	261.4	75%	10973.2	196.1	18.2	34256.1	719377.5
2026	2802252.4	25807794.8	15931.2	284.7	75%	11948.4	213.5	19.8	37314.2	783599.1
2027	2956770.7	28764565.5	17246.2	308.2	75%	12934.6	231.1	21.4	40407.2	848551.9
2028	3111286.1	31875851.6	18574.9	331.9	75%	13931.2	248.9	23.1	43532.6	914184.1
2029	3265798.8	35141650.4	19916.5	355.9	75%	14937.4	266.9	24.7	46688.1	980449.6
2030	3420308.6	38561959.0	21270.1	380.1	75%	15952.6	285.1	26.4	49871.8	1047307.5
2031	3574815.6	42136774.6	22634.9	404.5	75%	16976.2	303.4	28.1	53082.0	1114721.1
2032	3729319.8	45866094.4	24010.4	429.1	75%	18007.8	321.8	29.8	56317.0	1182657.6

A continuación se presenta (Figura 3.24) el esquema de la distribución de él dren de captura de biogás, el cual consta de: 1) fondo de roca sedimentaria, 2) capa de residuos, 3) material inerte de cubierta, 4) instalación de captación de biogás, 5) tubería de conducción de biogás hasta la caseta de planta de tratamiento. Cabe hacer notar que este proceso se debe realizar por cada franja de celdas.

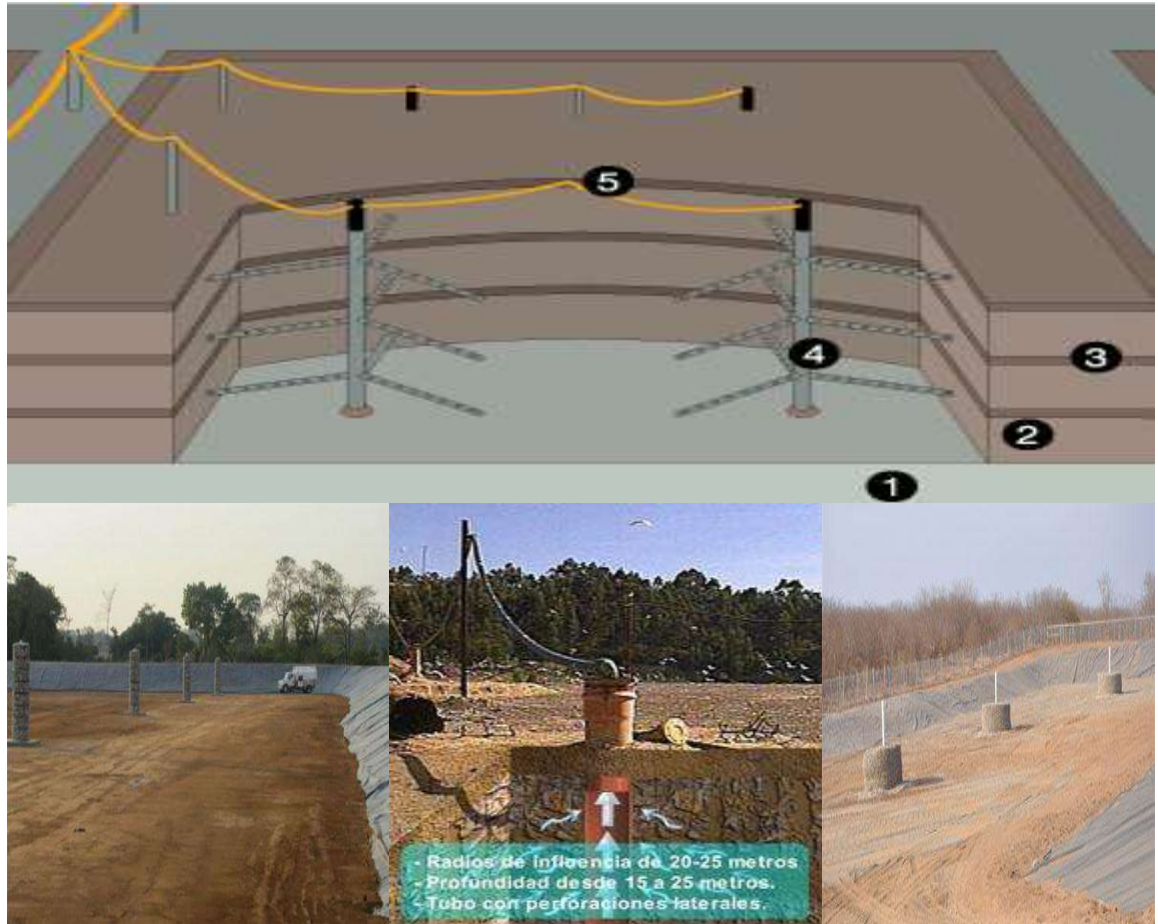


Figura 3.24 Sistema del dren de biogás.

En la Figura 3.25 se representa el sistema de él dren de biogás hasta su proceso en la planta de tratamiento de biogás; 1) dren general de líneas de captura de los pozos de control en el relleno sanitario hacia la planta de tratamiento, 2) caseta de regulación de líneas de conducción a fin de mantener constante el porcentaje de metano en el biogás y controlar los niveles de oxígeno para evitar mezclas explosivas, 3) estación de regulación donde de cada línea de conducción se dispone una toma de gas para su análisis y una toma de presión, 4) cuarto de motores, aquí se suministra el biogás para su aprovechamiento y posterior generación de energía eléctrica por parte de los motores de producción.



Figura 3.25 Planta de proceso de tratamiento de biogás.

Gráfica comparativa de generación y recuperación de Biogás:

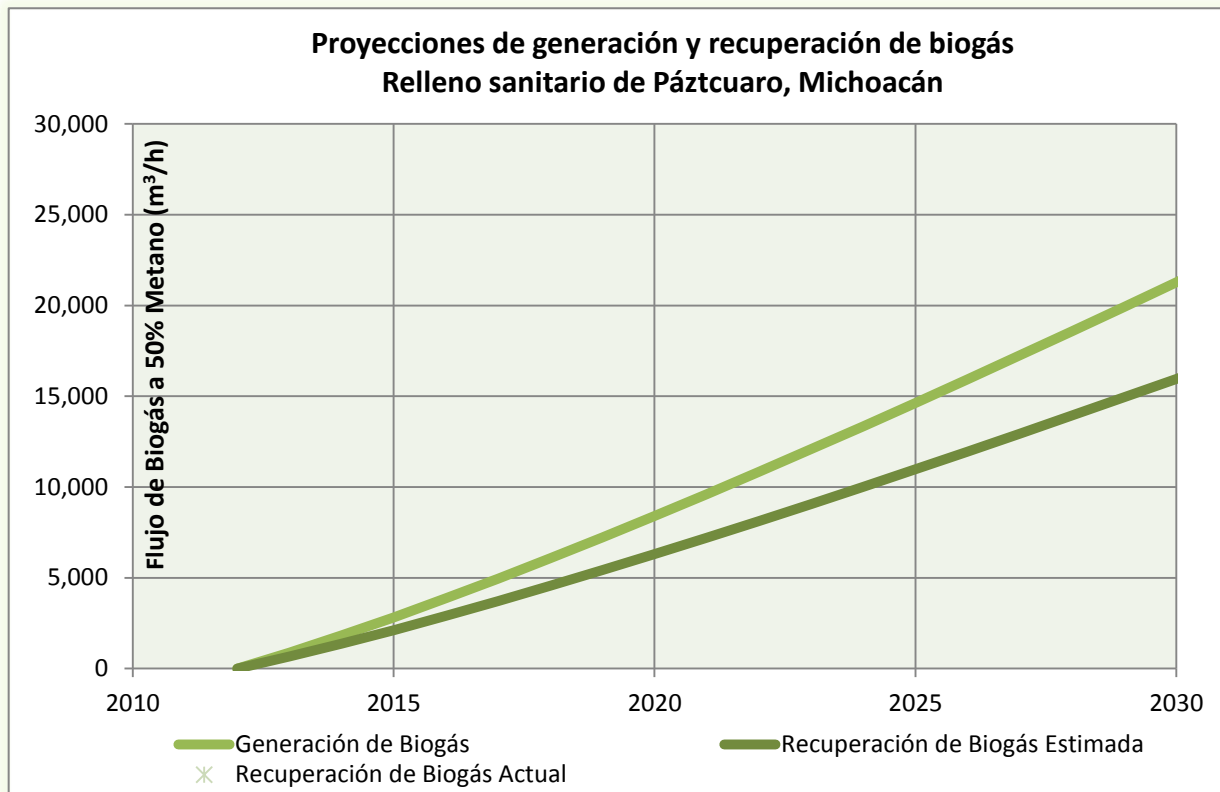


Figura 3.26 Proyección de generación y recuperación de Biogás.

3.6. USO FUTURO DEL RELLENO SANITARIO

Como última parte de la ejecución de este anteproyecto de relleno sanitario del municipio de Pátzcuaro, se hace una propuesta de uso postclausura del relleno sanitario. Para ellos es importante tomar en cuenta los siguientes elementos: la dimensión del predio es de 2.267 hectáreas. El clima en donde se localiza el cual es Templado subhúmedo con lluvias en verano, además estar rodeado por una superficie forestal maderable ocupada por encino y pino. Tiene acceso al municipio mediante la carretera federal número 15 Morelia-Quiroga-Pátzcuaro, la autopista Morelia-Pátzcuaro-Uruapan y la carretera de la rivera del lago de Pátzcuaro por la cual se llega mediante la ruta Morelia-Quiroga-Santa Fe de la Laguna-Chupícuaro-Erongarícuaro-Pátzcuaro. Considerando lo anterior se hace la siguiente propuesta para el uso posterior al cierre del relleno:

Primero.- Se tiene como prioridad destinar un 60% del área total del predio como área de reforestación, debido al enorme problema ecológico en deforestación que sufre el Estado y en particular la región, con especies autóctonas de raíz somera para no contrastar la estética del paisaje y el equilibrio natural, ni afectar la estructura del relleno sanitario.

Segundo.- Posteriormente del 40% restante se propone usar un 25% para área deportiva, en donde se pretende instalar canchas de futbol – basquetbol – juegos infantiles – pista de atletismo y zonas de esparcimiento. En general instalaciones que no representen cargas importantes al terreno, ni cimentaciones que puedan afectar la estructura del relleno sanitario.

Tercero.- Por último se contempla un 15% restante; para área efectiva de colocación de viveros y producción de plantas de ornato, a cargo del H. Ayuntamiento presente y en beneficio de parques y jardines del municipio.

4. CONCLUSIONES

Primeramente por la parte social, es importante señalar que en el transcurso de este trabajo se puso de manifiesto la falta de conciencia y cultura ecológica que tiene el ser humano desde su niñez hasta su vejez, siendo esto la causa principal del gran impacto a nivel global del deterioro de nuestro planeta tierra; por lo que es necesario actuar de manera urgente y drástica en todos los ámbitos y niveles sociales de nuestro mundo. Por lo tanto, no obstante que tanto se habla de la conciencia ecológica, se concluye que es importante poner en práctica todos estos conceptos en la vida cotidiana.

En el aspecto económico, sería recomendable lograr que un relleno pueda funcionar de manera autosustentable, mediante el aprovechamiento y venta de la electricidad producida mediante la generación del biogás, ya que los municipios en general no cuentan con recursos económicos suficientes para garantizar su operación. Se concluye que es muy importante trabajar en el aprovechamiento de este tipo de recursos energéticos que contribuyen ambiental y económicamente al beneficio de los municipios.

De manera general se concluye que este anteproyecto en principio satisface los requerimientos contemplados dentro de la NOM-083-SEMARNAT, sin embargo es importante señalar que este trabajo se realizó mediante el uso de cartografía proporcionadas por INEGI y será importante que el proyecto ejecutivo sea complementado y reajustado, con base a estudios de campo realizados en sitio y mediante las gestiones necesarias en lo relativo al uso del suelo y propiedad de los predios seleccionados.

5. REFERENCIAS

Bioengineer; 03/11/2011; Descripción de enfoque ingenieril de un Relleno sanitario (Categoría - Medio ambiente); Ed. Ingenieros inc. (31/07/2008); Ed. INEGI; México, D.f.; P. única. <http://www.ingenierosinc.com/articulos/que-es-un-relleno-sanitario-22.html>

BVSDE (Biblioteca Virtual d Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental); 30/11/2011; Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios (ejemplos de cálculo); Ed. Organización Panamericana de la Salud; U.S.A., Washington; Cap. D; P.p. 22 – 22. <http://www.bvsde.paho.org/cursosm/e/unidades/apendiceD.pdf>

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua); 29/11/011; Registro público de derechos de agua – Títulos y permisos de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes; Ed. CNA; México, D.F.; P. única. <http://www.cna.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>

CPLADE (Coordinación de Planeación para el Desarrollo); 14/11/2011; Mapas temáticos de Michoacán – Regiones Pátzcuaro; Ed. Gobierno de Michoacán; México, Michoacán; P. única. http://www.cplade.michoacan.gob.mx/cplade/index.php?option=com_content&task=view&id=275&Itemid=345

Edifema (Ingeniería ambiental); 03/11/2011; Reseña histórica de un Relleno sanitario, (Evolución histórica de los Residuos sólidos urbanos); Ed. Abogarse – edifesa; España, Sevilla; Cap. 1; P.p. 5 – 23. http://www2.epm.com.co/bibliotecaepm/biblioteca_virtual/documents/capitulo1.pdf

Ernesto Martínez Elorriaga; 15/11/2011; Regularización de residuos salidos en el estado; Ed. La jornada Michoacán; México, Michoacán (2005); P. única. <http://www.lajornadamichoacan.com.mx/2005/10/25/13n1mun.html>

Eva Lourdes Vega Granillo, Ricardo Vega Granillo, Ramón Martínez León (Universidad de Sonora - Departamento de Geología); 17/11/2011; Unidades geohidrologicas; Ed. Departamento de Ingeniería civil y minas (2005); México, Sonora; P.p. 5 – 13. <http://www.geologia.uson.mx/boletines/radelli/vegatex.pdf>

Gobierno del Estado de Michoacán; 24/10/2011; Enciclopedia de los Municipios de México Michoacán – Pátzcuaro; Ed. Centro nacional de desarrollo Municipal Gobierno del Estado de Michoacán, 1999; Michoacán, Pátzcuaro; P.p. 19 – 19. <http://www.mexicantextiles.com/library/purepacha/patzcuaro.pdf>

Gonzonet; 26/10/2011; Cuanta cantidad de basura se produce en México; Ed. Google Reader; México, D.f. 2009; P. única.
<http://temas-biologia.blogspot.com/2009/08/cuanta-basura-se-produce-en-la-ciudad.html>

INE (Instituto nacional de ecología); 27/10/2011; Clasificación, generación y composición de los Residuos Sólidos; México, D.f. 2007; Ed. INE-SEMARNAT; México, D.f.; Parte III; P. única.
<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/133/situacion%20en%20mexico.html>

INEGI (Instituto nacional de estadística, geografía e informática); 29/10/2011; Series históricas de Censos y Conteos de población y vivienda (1985 – 2010); Ed. INEGI 2011; México, D.f.; P. única. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx>

INEGI (Instituto nacional de estadística, geografía e informática); 24/10/2011; Michoacán de Ocampo – Población por entidad federativa y municipal; Ed. INEGI; Michoacán, Pátzcuaro; P. única.
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/poblacion/default.aspx?tema=me&e=16>

INEGI (Instituto nacional de estadística, geografía e informática); 29/10/2011; Métodos matemáticos de proyección poblacional (Método Lineal, Geométrico y Parabólico); Ed. INEGI; México, D.f.; Cap.3; P. única.
<http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0337/cap05.HTM>

INEGI (Instituto nacional de estadística, geografía e informática); 31/10/2011; Municipios con mayor población y tasa de crecimiento promedio anual 2000 – 2010; Ed. INEGI; México, D.f.; Cap. 1; P.p. 1 – 5.
http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/princi_result/mich/16_principales_resultados_cpv2010-2.pdf

INEGI (Instituto nacional de estadística, geografía e informática); 01/11/2011; Listado de localidades del municipio de Pátzcuaro (Archivo histórico de localidades –No. De habitantes); Ed. INEGI; México, D.f.; P. única. <http://mapserver.inegi.org.mx/AHL/realizaBusqueda.do>

INEGI (Instituto nacional de estadística, geografía e informática); 17/11/2011; Mapa digital de México 5.0 – Visualizador; Ed. INEGI; México, D.F.; P. única.
<http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html>

INEGI (Instituto nacional de estadística, geografía e informática); 17/11/2011; Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL); Ed. INEGI; México, D.F.; P. única.
http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#

Jorge Jaramillo (Universidad de Antioquia – Colombia); 11/11/2011; Guía para el diseño, construcción y operación de Rellenos sanitarios manuales (Generalidades, gestión, diseño y construcción de un Relleno sanitario); Ed. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Perú, Lima (2002); Cap. 3, 4, 5; P.p. 55 – 145.
<http://www.redrrss.pe/material/20090128200240.pdf>

Montajes e instalaciones; 03/11/2011; Formas de operación de los Rellenos sanitarios (Diseño, construcción, operación y cierre de Rellenos sanitarios municipales); Ed. Villarrubia; España, Madrid; Cap. 1.4; P.p. 17 – 23.
http://www2.epm.com.co/bibliotecaepm/biblioteca_virtual/documents/capitulo1.pdf

Portal turístico de Pátzcuaro; 24/10/2011; Listado de Hoteles de Pátzcuaro y sus alrededores; Michoacán, Pátzcuaro; P. única.
<http://www.patzcuaro.com/hoteles/>

Portal turístico de Pátzcuaro; 24/10/2011; Listado de Restaurantes y cafés en Pátzcuaro y sus alrededores; Michoacán, Pátzcuaro; P. única.
<http://www.patzcuaro.com/restaurantes/>

Portal turístico Pátzcuaro Michoacán, México; 24/10/2011; Listado de restaurantes de Pátzcuaro; Michoacán, Pátzcuaro; P. única.
<http://www.patzcuaromexico.com/es/restaurantes.html>

RedRRS (Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos); 14/11/2011; Reglamento para el diseño, operación y mantenimiento de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos del ámbito municipal; Ed. Ministerio del Ambiente; Perú, Lima; P.p. 30 – 30. <http://www.redrrss.pe/material/20090128193553.pdf>

Residuos sólidos; 27/10/2011; Clasificación de los Residuos Sólidos, tipos de residuos y color de bolsa correspondiente; Ed. 4 de marzo del 2010; Michoacán, Pátzcuaro; P. única.
<http://gestionintegralresiduos.blogspot.com/2010/03/almacenamiento-y-separacion-de-los.html>

Rubén Darío Sbarato; 13/11/2011; Métodos para medir la generación de Residuos (Plan nacional de valorización de residuos); Ed. Dirección nacional de planificación ambiental; Argentina, Córdoba; P.p. 5 – 25.
http://www.pensaryhacer.org.ar/cursosambiente/libros/ASPECTOS_GENERALES_RSU_2_DE_5.pdf

SEDUE (Secretaría de desarrollo urbano y ecológico); 04/11/2011; Guía para el diseño, construcción y operaciones Rellenos sanitarios manuales (Programa estatal de Residuos sólidos municipales); Ed. Gobierno del estado; México, Hidalgo; Cap. 3; P.p. 16 – 16.
http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidades/unidad3.pdf

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales); 21/11/2011; Reporte de la situación de los residuos en Michoacán (septiembre 2011); Ed. (Sistema de Información de los Residuos Sólidos de Michoacán. Con apoyo de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) y de la Delegación de la PROFEPA en Michoacán. Integración Delegación de SEMARNAT en Michoacán. Elaboración de la Unidad de Planeación y Política Ambiental); Michoacán, Morelia; P.p. 27 – 35.

SEMARNAT (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales); 26/10/2011; Datos porcentuales de generación de Residuos sólidos diarios y su composición; Ed. Subsecretaría de fomento y normatividad ambiental; México, D.f. 2008; P. 4 – 13.
<http://www.eclac.cl/dmaah/noticias/paginas/8/36398/Mesa4Residuos-CesarChavezSEMARNAT.pdf>

SEMARNAT (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales); 27/10/2011; Listado total de las normatividades oficiales Mexicanas de SEMARNAT; Ed. Consorcio ambiental S.C.; México, D.f.; P. única. http://www.consorcioambiental.com/subpages/legislacion/norma_semar.htm

SMN (Servicio Meteorológico Nacional); 23/01/2012; Normales climatológicas de Pátzcuaro, Michoacán (estadísticas 1971 – 2000); Ed. CNA; México, D.F.; P. única.
<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/mich/NORMAL16087.TXT>

UAC (Universidad Autónoma de Chapingo), Manuel Mendoza, Gerardo Bocco, Miguel Bravo y Erna López; 23/01/2012; Coeficiente de escurrimiento en base a vegetación, velocidad de infiltración y pendiente; Ed. Revista Terra; México, D.F.; Cap. 6; P.p. 5 – 17.
http://www.oikos.unam.mx/laboratorios/geoecologia/PDF/TESISDOC_MANUEL/6_ESTIMACION_DEL_ESCURRIMIENTO.PDF

Universidad Nacional del Nordeste (Comunicaciones científicas y tecnológicas 2005); 29/10/2011; Fuentes y tipos de Residuos Sólidos en ciudades intermedias; Ed. NEA; Chaco, ARGENTINA; P. 2 – 4. <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-029.pdf>

Wikipedia (La enciclopedia libre); 26/10/2011; Mapa de ubicación de las principales localidades de Pátzcuaro – Edición 2003; Ed. Wikipedia; Michoacán, Pátzcuaro; P. única.
[http://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1tzcuaro_\(municipio\)](http://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1tzcuaro_(municipio))