



UNIVERSIDAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DESCARTES  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

**“METODOLOGÍA PARA OBTENER PARÁMETROS DE DISEÑO DE RELLENOS  
SANITARIOS EN ROCA”**

**TESINA**

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**PRESENTA:**

CÉSAR GEOVANNY BARBOSA HERNÁNDEZ

**ASESOR:**

DR. JOSÉ RAFAEL GUZMÁN MONZÓN

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, AGOSTO DE 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	3
HIPÓTESIS.....	3
CAPÍTULO I.....	4
I.I Generalidades.....	4
I.II Conceptos de estudio.....	9
CAPÍTULO II.....	13
I.I Marco teórico.....	13
I.II Métodos fundamentales para la proyección de un relleno sanitario.....	15
CAPITULO III.....	27
III.I Metodología.....	27
III.II Tratamiento de lixiviados.....	36
CAPÍTULO IV.....	45
IV.I Resultados y experiencias.....	45
IV.II Evidencias fotográficas.....	46
CONCLUSIÓN.....	58
ANEXO A.....	59
ANEXO B.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	66

## INTRODUCCIÓN

El desmesurado aumento de la mancha urbana que acosa tanto a las poblaciones pequeñas como a las grandes ciudades, es uno de los motivos más preocupantes por los cuales se deben solventar todos los servicios públicos que demandan las personas. Este aumento demográfico ha dado como resultado el cambio ideológico y ha impactado tanto de manera positiva como negativa a la población en general, por lo cual el manejo de los desechos sólidos urbanos se ha convertido en un problema real y grave, tanto en pueblos con población pequeña, que tiran la basura en un lugar común al aire libre para eventualmente quemarla, y en ciudades que al ser una población más grande e industrializada todos los desechos producidos en muchas ocasiones son mal manejados, provocando un gran impacto negativo a todos nuestros ecosistemas.

En la presente tesina tiene como objeto de estudio relevar toda la información correspondiente a la metodología para obtener parámetros de diseño de rellenos sanitarios en roca en el cual se basó y se buscó información de autores de libros, revistas, artículos en internet y en un laboratorio de mecánica de suelos de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. También destacar que los sitios de disposición final para desechos proyectados en zonas con estratos rocosos son más eficientes por muchos factores, además de que suelen tener un lapso de vida útil más prolongada, es importante mencionar que es relativo al mantenimiento al que esté sujeto.

Esta tesina consta de cuatro capítulos en los cuales se mencionan factores relevantes para la construcción de un relleno sanitario, en el capítulo I, se describen algunos antecedentes de los sitios de disposición final tanto a nivel mundial como a nivel nacional con conceptos de estudios. En el capítulo II, se citan algunos procedimientos constructivos para proyectar un relleno sanitario además de datos relevantes sobre la basura en nuestro país.

En el siguiente capítulo se mencionan algunas de las características y factores más importantes que las autoridades correspondientes demandan para la construcción de una obra para desechos. Y por último en el capítulo IV, se demuestra de manera gráfica algunas pruebas realizadas en el estado de Chiapas que se realizaron para municipios importantes que han estado aumentando su población y que demandaban un relleno sanitario para satisfacer el problema.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al aumento desmesurado de la población y la expansión sin las correctas alternativas de control, la falta de estrategias o información para un correcto reúso o proceso que existe sobre la basura y el escaso conocimiento que hay sobre ella, se plantea un problema sobre si existen metodologías para la construcción de rellenos sanitarios, en esta tesina se abordará específicamente sobre rellenos sanitarios en estratos rocosos, se pueden plantear distintos sitios de disposición final para residuos en diferentes estratos de suelo, que pueden ser una alternativa viable, esto varía dependiendo la zona en la que se proyecte y queda en función de muchos otros factores que se deben tomar en cuenta, los cuales rigen en la decisión en la etapa de definir una construcción de este tipo. Para ello se deben analizar las características del tipo de suelo y elegir la que mejor satisfaga a las necesidades de la población y reducir en gran medida los impactos ambientales.

## JUSTIFICACIÓN.

La tesina realizada con metodología para obtener parámetros en rellenos sanitarios en rocas, busca obtener una alternativa de desahogo respecto a los residuos que una ciudad produce diariamente y que es un problema actual tanto a nivel estatal como nacional.

Este es un problema que nos atañe a todos los habitantes de una población, en la que somos corresponsables de propiciar una solución dado que las consecuencias repercuten en todos los habitantes de la localidad. En este estudio se buscó proponer una solución mediante la elección del estrato de suelo ideal para la proyección de un relleno sanitario, en el estado de Chiapas, además de demostrar los parámetros provenientes de normas que rigen una construcción de esta índole.

## OBJETIVOS.

Objetivo General:

Demostrar de manera clara y concisa la metodología para obtener parámetros en la construcción de un relleno sanitario en rocas.

Objetivos particulares:

Entender los aspectos generales para la metodología para obtener parámetros en el diseño de un relleno sanitario en estratos rocosos.

Ejemplificar por medio de imágenes la metodología para obtener parámetros en el diseño de un relleno sanitario en estratos rocosos.

## HIPÓTESIS

**HIPÓTESIS:** ¿Es viable considerar los aspectos de la metodología para obtener parámetros en la construcción de rellenos sanitarios en rocas, ya que construir en otros estratos de suelo resultaría un mayor daño ambiental?

## CAPITULO I

### ***Generalidades***

“Los rellenos sanitarios datan de los tiempos bíblicos. En las excavaciones de Kouloure en Chosos, antigua capital de Creta, se encontraron trazas de mezclas de basura y fango, así como residuos que habían sido enterrados. En 1910 en Estados Unidos se usaba basura como relleno de hondonadas.

Así mismo en el siglo pasado se realizaban incineraciones de la basura ya en todo el mundo y la trituración se hacía en la década de los veinte.

Autores atribuyen la aplicación del método de relleno sanitario, tal como se conoce hoy a los ingenieros ingleses J.C. Dawes y M. Call quienes lo utilizaron por primera vez en Bradford, Inglaterra en la década de los veinte. En Francia, en la segunda guerra mundial el ejército de los Estados Unidos practicó el relleno sanitario con maquinaria de almeja, palas de arrastre, excavadoras de cuchara y demás equipo para remover grandes cantidades de residuos sólidos.”<sup>1</sup>

Los seres humanos han intentado desde la antigüedad administrar los residuos de una mejor manera, desde sepultarla bajo la tierra, como los egipcios, o tener un lugar predeterminado para su destino final como los aztecas.

De tal manera se sabe que los precedentes para el manejo de la basura datan desde los siglos XIII y XIV, se comenzó a presidir con mejores técnicas en el transcurso del siglo XX, debido a que se preparaba el espacio para el resguardo de los residuos, reduciendo su volumen y embozándolos con distintas capas de arcilla para evitar el crecimiento y reproducción de animales peligrosos y malos olores.

---

<sup>1</sup> Trejo Vázquez Rodolfo, Procesamiento de la Basura urbana, Ed Trillas, México, 1994.

Según los estudios acerca del tratamiento y recopilación de la basura en el área de la CDMX que elaboró una empresa mexicana, DIMSA, en el año de 1972, se averiguó que en la época prehispánica el saneamiento de la pasada Tenochtitlan era completa, esto debido a que era antirreglamentario consumir alimentos en las vialidades, así como arrojar todo tipo de residuos que pudieran dañar o afectar a todo el medio ambiente, por lo consiguiente se implementaba de la enseñanza inducida por los indígenas de no tirar residuos y almacenarla en lugares predeterminados para que una agrupación de aproximadamente mil personas que circulaban la zona lo recogieran y se lo llevaran.

Los basureros se situaban en aquel entonces, en el límite de la ciudad; el crecimiento desmesurado de la población lo fue consumiendo, trasladándola hacia los límites de la ciudad.

Supuestamente, Revillagigedo, el virrey, fue un referente desde la invasión, que constituyó el orden en el sistema de recopilación de residuos, los cuales eran reunidos en carretas jaladas por caballos o mulas y se transportaban a orilladas de la comunidad. Con este método aumentaron los basureros a cielo abierto, esto fue tan grave al grado que al comienzo de los años ochenta existían alrededor de 25,000 basureros a cielo abierto.

El crecimiento inadecuado de la mancha urbana, así como las modificaciones en las costumbres, dan como resultado el aumento de residuos de tal manera, que supera la capacidad de degradación del medio ambiente, provocando consigo la permanencia de la basura sin poder descomponerse de manera natural durante mucho tiempo.

Un ejemplo claro de esto, se hallaron restos de papel papiro relativamente degradados aproximadamente hace 30 años en basureros viejos, situación contraria en los rellenos sanitarios donde el mismo papel puede descomponerse en muy poco tiempo.

La producción de desechos sólidos es una característica peculiar de todos los seres vivos. Por otra parte, el hombre, ha producido residuos desde su aparición, perturbando al medio que lo rodea y a la naturaleza con las actividades que hemos desarrollado a lo largo de nuestra evolución desde la agricultura hasta la formación de industrias y ciudades.

Esto ha traído como resultado la producción de cantidades exorbitantes de todo tipo de basura, que van desde residuos sumamente inorgánicos, los cuales son difícilmente degradables para la tierra, estos pueden tardar años incluso siglos, hasta los biodegradables que en cuestión de días se descomponen y no tienen muchas repercusiones en el medio ambiente.

La disparidad está fundamentada en la clase de basura y el entorno en donde se consigna, esto debido a que la degradación está completamente ligada a varios factores como la dimensión de partículas, su estructura, el oxígeno y la humedad.

Independiente de la clase de residuo estos (orgánico e inorgánico) son separados en el proceso de descomposición biológica, el factor más importante es el contenido de humedad que se encuentre, el cual depende de la precipitación anual de la región.

“En la ciudad de México desde hace varias décadas ya se hablaba de reciclar o industrializar la basura, para evitar con ello los problemas de contaminación del suelo, aire y agua, y de la necesidad de que los tiraderos quedaran lo más apartados posible de la ciudad.

Sin embargo, la falta de recursos algunas de las veces y en otras, el incremento urbano desproporcionado, ha generado basureros al aire libre y en otras circunstancias, el desarrollo de unidades habitacionales alrededor de estos basureros.

Aun cuando la técnica de confinamiento de residuos ha mejorado, la normal carencia de financiamiento para lograr su correcto tratamiento ha impedido la proliferación de rellenos.

A esto hay que agregar un acelerado cambio en los patrones de consumo, de una población a principios de siglo predominantemente agrícola y ganadera con un crecimiento urbano e industrial pobre, a un urbanismo acelerado en el que los productos plásticos desechables proliferan.

Para muestra basta recordar que en las últimas tres décadas el incremento de basura ha aumentado en casi siete veces, decreciendo la proporción de elementos biodegradables y aumentando a residuos de lenta y difícil degradación. De estos últimos, se piensa que del volumen total que se genera, el 90% no cuenta con sitios adecuados para su almacenamiento, estimándose que solo el 2% de los desechos industriales recibe tratamiento.”<sup>2</sup>

Infortunadamente no es solo una cuestión de falta de apoyos o programas de gobierno, porque por supuesto ocasionalmente se realizan estos proyectos, a menor escala en comparación de cómo se necesita claro; también es un gran problema la falta de difusión de la información acerca del correcto tratamiento de los residuos, los cuales manejamos de manera cotidiana. A las personas se les hace demasiado fácil deshacerse de ellas mientras caminan, van en el automóvil o fuera de su casa, sin pensar por un momento en las consecuencias que dicho acto “pequeño” según ellos tendrá a corto y largo plazo.

Perjudicando a primera instancia el lugar donde viven, con un aspecto desagradable, con olores indeseados, además de que los sistemas hidráulicos de la ciudad no son los mejores ni tampoco llevan el mantenimiento adecuado para su correcta función, el hecho de tirar basura hace el trabajo aún más complicado para el desagüe de las aguas pluviales.

En la mayoría de las ocasiones esa pequeña basura termina contaminando algún río, lago o mar provocando un daño ambiental impresionante, ya que no es solo una persona sino miles, tardando décadas en degradarse e incluirse al ambiente de nuevo.

Incluyendo también a todas las fábricas y empresas que contaminan sin ningún tipo de consciencia que, además están en complicidad con el mismo gobierno, llevando cientos o toneladas, ya sea de basura sólida o líquida a ríos o espacios que no deberían estar permitidos, causando un impacto negativo muy grande a nuestro entorno salvaje, eso en

---

<sup>2</sup> Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla, Ing. Francisco León Guzmán Director General de Manejo de Desechos Sólidos SEDAM, 2010.

conjunto con la irresponsabilidad social nos ha llevado al punto en donde nos encontramos ahora de contaminación y toxicidad.

Después de consultar diferentes fuentes, cito este artículo periodístico referente a los rellenos sanitarios en el estado de Chiapas.

“En cuatro años se han construido seis rellenos sanitarios con una capacidad instalada para la disposición adecuada de 134,192 toneladas de residuos sólidos, informó el Cuarto Informe de Gobierno, entregado por el gobernador Manuel Velasco Coello al Congreso del estado de Chiapas.

También se entregaron tres camiones recolectores compactadores al municipio de Comitán de Domínguez, con los cuales se mejora el servicio primario de limpia y recolección de la basura en la cabecera municipal y 2,177 contenedores de basura a 55 municipios.”

Un acelerado crecimiento de la población afecta la calidad y cantidad de recursos naturales, en ese sentido, en los últimos años, la contaminación representa una amenaza para la salud y los ecosistemas, por el incremento de residuos sólidos urbanos (RSU).

Hasta 2006, la disposición de los RSU se realizaba mediante tiraderos a cielo abierto, sin previa separación de subproductos potencialmente reciclables, por lo cual no cumplían con la normatividad. No obstante, ese año se sentaron las bases para modernizar los sistemas de recolección de basura y el tratamiento de residuos sólidos urbanos con la clausura de los tiraderos a cielo abierto y la construcción del primer relleno sanitario en Tuxtla Gutiérrez.

El resto de los municipios continuaban con la disposición de sus residuos en barrancas, caminos, riberas o cualquier sitio poco visible, denominados tiraderos a cielo abierto, que generaban alto grado de contaminación en el suelo, subsuelo y agua, por la filtración de lixiviados (Los lixiviados se producen en la propia descomposición de la basura o por lavado de la misma por las aguas de lluvia).

Ante la necesidad de contar con sitios de recolección y disposición final, el Gobierno del estado de Chiapas se sumó a las políticas ambientales nacionales para contrarrestar los efectos del cambio climático al promover el desarrollo sustentable y revertir los procesos de

contaminación y deterioro del medio ambiente. De esta forma, se impulsaron estrategias para el manejo de los residuos sólidos urbanos, con la construcción de rellenos sanitarios que cumplen con la normatividad ambiental y basan su operación en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

En este sentido, con el gobierno federal, atendió el problema del manejo de los residuos sólidos, mediante la separación, reciclaje y disposición final, por lo que se construyeron cuatro rellenos sanitarios en los municipios de Siltepec, Palenque, Comitán de Domínguez y Ocozacoautla de Espinosa; además de la tercera etapa del relleno sanitario de La Concordia y la segunda etapa de la rehabilitación del sitio de disposición final en Tapachula.”<sup>3</sup>

Es muy importante optar por un suelo adecuado, para la proyección de un relleno sanitario, juntar algunos requisitos idóneos fundamentales como la orografía del terreno, las cotas (se llama cota al número que en los mapas cumple la función de indicar la altura de un punto sobre el nivel del mar o sobre otro plano de nivel. Por otra parte, a la mencionada altura de un punto sobre el nivel del mar o sobre cualquier otro plano de nivel se la llama cota), en las que podemos hallar las corrientes acuíferas subterráneas y la existencia disponible del material para cubrir los residuos sólidos.

Un relleno sanitario funciona en relación a la basura que se le vaya arrojando, después se reduce el volumen de ésta con los aparatos o maquinaria requerida y se recubre con un revestimiento de suelo y otros materiales mezclados, este varía entre los 30 y 45 cm de espesor, este proceso se repite de la misma manera hasta que el relleno sanitario ocupa sus límites permisibles.

Es un procedimiento complejo para la disposición de la basura en la tierra con la intención de proteger nuestro ambiente.

Existen dos tipos de rellenos sanitarios para administrar los desechos: los rellenos controlados que significan un enorme progreso en el manejo de la basura.

---

<sup>3</sup> José Salazar, Diario de Chiapas, 17 de abril, 2017. <http://www.diariodechiapas.com/landing/rellenos-sanitarios-han-ido-en-aumento/>

Ya que los residuos son compactados y colocados en medio de capas de revestimientos de tierra, se diseñan respiraderos para la emanación que es resultado de la putrefacción y existe un organigrama complejo para el manejo de los lixiviados, que va desde la recopilación hasta la depuración.

Por otro lado, existen los rellenos descontrolados que son los más austeros. La contingencia está en función de la producción descontrolada de los lixiviados, ya que no existe un verdadero manejo, esto tiene como consecuencia contaminar de manera irreparable corrientes subterráneas de agua, así como ríos y lagos que se encuentren cerca.

Con la intención de reducir la contaminación, los rellenos sanitarios deben tener un tratamiento para los lixiviados, que es el conjunto de líquidos producto de la basura, administración de olores, incineración de gases y repoblación de flora en la zona de la construcción del relleno sanitario. Se toman todas estas medidas como manera de precaución, ya que encerrar los residuos significa un peligro muy alto para el medio ambiente.

### ***Conceptos de estudio.***

- Rellenos sanitarios: El relleno sanitario es el método de disposición final de la basura más conocida y popular por ser eficiente, barata y de menores costos que hay.
- Lixiviados: Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.
- Fango: Barro blando y viscoso, mezclado a veces con restos orgánicos, que se forma en el fondo de una corriente o depósito de agua, o en un lugar en el que queda circunstancialmente agua estancada.
- Hondonada: Terreno que se encuentra a una profundidad más baja que las zonas que lo rodean.

- Trituración: Acción que consiste en partir o desmenuzar en trozos pequeños una materia sólida, pero sin llegar a convertirla en polvo.
- Compactación: Apretar, apiñar, hacer compacta una cosa.
- Saneamiento: Dotación de las condiciones necesarias de sanidad a un terreno, un edificio u otro lugar.
- Mancha urbana: Se refiere a área que ocupa una población en una zona determinada.
- Embozar: Intentar ocultar una cosa.
- Revestimiento: Capa de algún tipo de material con la que se cubre una superficie.
- Putrefacción: Descomposición de una materia o una sustancia por la acción de diversos factores y de determinados microorganismos.
- Depuración: Eliminación de la suciedad, impurezas o sustancias nocivas de una cosa.
- Geología: Conjunto de características del subsuelo o de la corteza terrestre de una zona o de un territorio.
- Sondeo pozo a cielo abierto: Es una excavación que se hace en una zona determinada donde se requiere observar los distintos estratos del suelo donde se pretende edificar, rescatando muestras alteradas o inalteradas.
- Muestras inalteradas: Son aquellas en las que se conserva la estructura y la humedad que tiene el suelo en el lugar donde se obtenga la muestra.
- Estrato: Masa de sedimentos, de espesor más o menos uniforme y escaso, extendida en sentido horizontal y separada de otras por capas paralelas.
- Pruebas índices: Propiedades físicas que definen los suelos para que estos puedan sostener cualquier tipo de estructura.
- Permeabilidad: Es la capacidad que posee una estructura de ser atravesada por un fluido, o cualquier material sin que el mismo modifique su composición estructural.
- Plasticidad: Propiedad que tiene un material de ser moldeado o trabajado para cambiarlo de forma.

- Conductividad hidráulica: Es un valor constante que indica el flujo de un líquido a través de un medio poroso, saturado con un líquido que fluye a través de un sistema.
- Arcilla: Tierra constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados.
- Cimentación: Colocación o construcción de los cimientos de un edificio u otra obra.
- Geotecnia: Parte de la geología aplicada que estudia la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, para el asiento de todo tipo de construcciones y obras públicas.
- Penetración estándar (STP): Es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico.
- Agua freática: Precipitación que se filtra a través del suelo hasta llegar al material rocoso que está saturado de agua.
- Membrana: Lámina fina de material elástico, con características impermeables.
- Banco de préstamo: El sitio del que se extraen materiales para diversas aplicaciones.
- Cuerpos de agua: Los lagos, lagunas, acuíferos, ríos y sus afluentes, directos e indirectos, permanentes o intermitentes, presas o embalses, cenotes, manantiales, lagunas litorales, estuarios, esteros, marismas y en general las zonas marinas mexicanas y otras corrientes de agua.
- Falla geológica: El área que presenta desplazamientos por una fisura longitudinal o transversal de origen sísmico o tectónico, las cuales producen porosidad y permeabilidad de tipo secundario, dependiendo de su origen.
- Hidrología superficial: El estudio del comportamiento de las aguas superficiales de una cuenca hidrográfica.
- Nivel freático: La superficie de agua que se encuentra únicamente bajo el efecto de la fuerza de gravitación y que delimita la zona de aireación, de la de saturación
- Desecho sólido municipal: El Desecho sólido que proviene de actividades que se desarrollan en casas-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como los residuos industriales que no se deriven de su proceso.

## CAPÍTULO II

### ***Marco Teórico***

Para la construcción de un relleno sanitario, primero debemos conocer los parámetros de diseño para la realización del proyecto, pero antes de eso necesitamos saber los tipos de rellenos sanitarios y las diferentes alternativas de construcción que conllevan cada clase, cada uno está ligado estrictamente a diferentes tipos de variables que puedan presentarse como la geografía, el tipo de suelo, el clima, en otros.

Obviamente estará estrictamente ligado a todas las condiciones ambientales de la zona donde se plantee el proyecto, incluyendo el clima, la altura sobre el nivel del mar, su geología, el nivel freático, la geografía y todos los factores externos que pudieran ser un inconveniente para la proyección.

“El 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.

El relleno sanitario semimecanizado, se emplea cuando la población genera o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de RSM (Residuos Sólidos Municipales) 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.

Con base en experiencias previas, se puede afirmar que es necesario el empleo de equipos de movimiento de tierras (tractores de orugas o retroexcavadoras) en forma permanente cuando al relleno sanitario se llevan más de 40 t/día de RSM. En la Región, esto equivale por lo general a poblaciones mayores de 40,000 habitantes.

Por su versatilidad, el tractor agrícola puede servir para prestar o apoyar el servicio de recolección de basura si de preferencia se le engancha un remolque con volteo hidráulico de unos 6 a 8 metros cúbicos de capacidad o bien una caja compactadora, dependiendo de las necesidades y recursos de la localidad.

El 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/día–, 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 ejecutada con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.”<sup>4</sup>

Una vez mencionados las distintas variantes de rellenos sanitarios que existen, podemos observar que varían a grandes rasgos, del tipo de población (comunidad o ciudad) y por consiguiente de la cantidad de toneladas que estas producen a diario.

---

<sup>4</sup> Jorge Jaramillo, Universidad de Antioquia, Colombia. 2002  
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente  
Organización Panamericana de la Salud  
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud

De igual manera el tendido y compactación se ejecutan de diferente forma que van desde maquinaria pesada hasta la mano de obra de varias personas, que al mismo tiempo va ligado a los años en futuro que se proyecte el relleno sanitario y el material que se plantee utilizar para el mayor rendimiento de cada una de las variantes.

El procedimiento constructivo y la siguiente ejecución de un relleno sanitario tienen características fundamentales, por ejemplo, la topografía del terreno, esto varía según la clase de suelo y de la profundidad del nivel freático. Según algunos autores existen dos clases fundamentales para la proyección de un relleno sanitario que citaré a continuación:

#### ***Métodos fundamentales para la proyección de un relleno sanitario***

“El método de trinchera o zanja 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 7 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.

El método de área se aplica en lugares relativamente planos, 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.

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.

El relleno se construye apoyando las celdas 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. Se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 18.4 a 26.5 grados en el talud; es decir, la relación vertical/horizontal de 1:3 a 1:2, respectivamente, y de 1 a 2 grados en la superficie, o sea, de 2 a 3.5%. <sup>5</sup>

Como se menciona anteriormente las técnicas de construcción se efectúan de manera particular y dependiendo de la topografía de la zona, de manera que se debe hacer las investigaciones de geotecnia adecuadas, los estudios que sean necesarios para causar los

---

<sup>5</sup> Jorge Jaramillo, Universidad de Antioquia, Colombia. 2002  
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente  
Organización Panamericana de la Salud  
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud

menores daños posibles sin afectar a una población a futuro. Es importante conocer las generalidades de los métodos citados.

En la mayoría de las ocasiones en nuestro país, el aumento de la población no tiene un control adecuado y la misma necesidad provoca que se habiten zonas de reserva natural, por lo que el gobierno debe efectuar de una óptima los planes de contingencia que tenga en determinadas situaciones, para que tanto el crecimiento de la ciudad como los destinos de residuos peligrosos estén a la distancia adecuada para prevenir riesgos.

Debido a que los procedimientos de la construcción de ambos rellenos sanitarios son muy parecidos, en muchas ocasiones se decide combinar ambas técnicas porque cada lugar de proyección es distinto, entonces se intenta aprovechar y adaptar lo mejor de cada técnica para tener un mejor resultado, esto significa que siguiendo las especificaciones que marque el proyecto y respetando las normas, se pueden combinar ambas técnicas de construcción.

Antes de ejecutar los aspectos generales ya mencionados, se citará a continuación un par de aspectos fundamentales, tales como la selección del sitio y la localización que debe tener, para la proyección del sitio destinado para los residuos sólidos, es muy importante para toda la población este tipo de proyectos por los beneficios que un relleno sanitario brinda, en comparación de un tiradero a cielo abierto que.

Además de ser dañino para los seres humanos es perjudicial para todos los seres vivos que existen a su alrededor y el peligro que conlleva para los mantos acuíferos, ríos y lagos.

Los residuos que produce la raza humana son una amenaza constante, por lo que la construcción de un sitio para su disposición final es fundamental.

“Para la selección del sitio se deberán preferir aquellos lugares donde las operaciones del relleno sanitario conduzcan a mejorar el terreno; de esta manera, se ahorrarán problemas operacionales futuros.

En muy pocas ocasiones un terreno reunirá todas las condiciones ideales para la construcción de un relleno sanitario. Por lo tanto, se debe elegir aquellos que presenten las mejores

características y analizar sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles.

Para la localización se recomienda que el relleno sanitario esté ubicado en la dirección o el sentido de crecimiento de la urbanización; sin embargo, para evitar conflictos con los vecinos, lo mejor es que este sitio comience a poblarse cuando concluya la vida útil de la obra; de esta manera, la comunidad podrá beneficiarse con un parque o una zona verde.

Debe tenerse cuidado al seleccionar sitios en terrenos que puedan estar en zonas arqueológicas o áreas de protección especial, lo que implica elevar consultas al INAH (Instituto Nacional de Antropología e Historia) para obtener los respectivos permisos. No se deberá construir rellenos en lotes que estén debajo de líneas de alta tensión.

Desde el punto de vista del servicio de aseo urbano, la ubicación del terreno juega un papel importante en cuanto a la distancia al centro urbano (plaza principal) y el tiempo que tarda el vehículo recolector en llegar a su destino final, porque de ello depende el número de viajes diarios con cargas de basura que este pueda hacer.

Esto repercute en la cobertura del servicio de recolección y el costo del transporte de los desechos. Por lo tanto, el sitio no debe estar a más de 30 minutos de ida y regreso del centro del poblado.

La cercanía del relleno permitirá, además, una mayor vigilancia y supervisión por parte de la comunidad, que de esta forma podrá evaluar la calidad de su operación y mantenimiento. Una vez terminada su vida útil, el relleno podrá ser utilizado por los vecinos, de acuerdo con las propuestas del proyecto inicial.

Es bueno recordar que no existe consenso sobre una distancia mínima entre un relleno y un centro poblado que garantice la ausencia de riesgos para la salud y el ambiente, pues mucho depende de la disponibilidad de terrenos adecuados, de la topografía del lugar, de la

cantidad y calidad de residuos que se van a disponer, de la vida útil del sitio y, sobre todo, del tipo de infraestructura que tendrá el relleno para evitar o mitigar los efectos negativos.

En estos casos, no se debe olvidar que, si bien definir una distancia juega un papel importante en la reducción de posibles riesgos o molestias, no es algo definitivo.

El mayor obstáculo para acordar una distancia es la percepción de algunos técnicos y vecinos del sitio que piensan que este tipo de obras debe estar lo más lejos posible, ya que pueden terminar convirtiéndose en simples botaderos, debido a que las administraciones locales no siempre invierten en la infraestructura necesaria ni garantizan la calidad de la operación después de iniciada la descarga de RSM en el lugar.

Una de las causas de esta desconfianza radica en los continuos cambios de estas administraciones y, con ello, de sus prioridades. El síndrome NIMBY (not in my back yard ‘no en mi patio trasero’) es una clara muestra de lo anterior.

Algunos especialistas recomiendan que los linderos del terreno de un relleno sanitario sean trazados a una distancia mínima de 200 metros del área residencial más cercana; sin embargo, para el caso de un relleno sanitario manual —que es muy pequeño—, la distancia puede ser mucho menor. De todas maneras, a la hora de emitir un juicio en particular, es conveniente analizar las variables anotadas y, en especial, las condiciones del suelo y del entorno.

No hay que olvidarlo: cada caso es único y amerita su propia evaluación.”<sup>66</sup>

Existen antecedentes de algunas ciudades en donde se construyeron rellenos sanitarios en áreas urbanas y no existen riesgos hacia la población debido a la buena planeación que se

---

<sup>66</sup> Jorge Jaramillo, Universidad de Antioquia, Colombia. 2002  
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente  
Organización Panamericana de la Salud  
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud

realizó, de los mantenimientos oportunos y programados, y la responsabilidad que existe, un valor fundamental que debería regir en cualquier tipo de obra en la que estuviera involucradas la seguridad, salud física y psicológica de cualquier ser humano.

Realmente es una situación no muy alentadora la que sucede en nuestro país, debido a todas las situaciones que rodean las obras públicas y como encarecen el presupuesto general para fines particulares económicos, además de que los mantenimientos son escasos en el mejor de los casos y normalmente nulos.

En la cita anterior, cabe destacar que cuando se menciona la distancia que debe haber entre un relleno sanitario y la población no es definitiva, considero que no debería aplicar, porque de una u otra forma se debe mantener una distancia mucho mayor, tanto por seguridad para la población como por precaución, ya que no existe total certeza de evitar accidentes, por lo que se deben mantener márgenes muy estrictos para evitar y prevenir cualquier tipo de inconveniente que se pueda presentar.

También es importante conocer las condiciones hidrogeológicas y las condiciones climatológicas que se mencionarán a continuación, de igual manera son factores muy relevantes como los antes mencionados.

La participación de la población en general en frecuencia de las autoridades correspondientes son una combinación idónea para obtener los resultados esperados y cumplir la vida útil del relleno sanitario, esto puede variar dependiendo el proyecto, población y en consecuencia la cantidad de basura que se produzca diariamente.

“Las condiciones hidrogeológicas, antes de negociar sobre el terreno, es importante analizar el tipo de suelo sobre el que se construirá el relleno sanitario, el cual deberá ser impermeable, es decir, arcilloso; de lo contrario, se debe impermeabilizar con una capa de arcilla compactada de 0.3 metros de espesor o, en última instancia, con una geomembrana de PVC4 o polietileno de alta densidad.

En algunos casos, es conveniente probar la permeabilidad del suelo que servirá de base al futuro relleno a fin de evitar la contaminación del acuífero.

Lo anterior es posible, ya que, al no existir agua en la basura, el proceso de descomposición bacteriano no se produce o es muy lento, razón por la cual se generan muy pocas cantidades de lixiviado y biogás (es el gas que se genera naturalmente o por medio de dispositivos específicos como el biodigestor, y que se produce a partir de la fermentación o biodegradación de la materia orgánica), que quedan retenidos en el interior del relleno.

Conviene recordar que la capacidad de campo de la tierra de cobertura y la basura influyen para que no se liberen líquidos, máxime cuando la compactación en estos rellenos manuales es considerada débil.

Igualmente, se requiere evaluar la profundidad del manto freático o aguas subterráneas. Se recomienda tener por lo menos una distancia de 1.0 metro entre el nivel freático y los residuos sólidos cuando se tenga material limo-arcilloso.

Las condiciones climatológicas, la dirección del viento predominante es importante debido a las molestias que puede ocasionar la descarga de los residuos y las labores de extracción de tierra y cobertura; a los papeles, el material liviano y el polvo que se levantan, y también al posible transporte de malos olores a las áreas vecinas. Por ello, el relleno sanitario deberá estar ubicado de tal manera que el viento circule desde el área urbana hacia él; en caso contrario, para contrarrestar esta molestia se deben sembrar árboles y vegetación espesa en toda la periferia del relleno.

La vegetación, además, impide que los vecinos y transeúntes observen las operaciones de disposición de los RSM y le da una mejor apariencia estética a la obra.

La precipitación pluvial es otro factor de vital importancia, por lo que se recomienda contar con registros de lluvias y periodos secos, a fin de estimar la cantidad de agua que cae en la zona de estudio.

Estos datos pueden ser proporcionados por las instituciones nacionales de meteorología o las empresas de servicios de agua y drenaje. Aun cuando la precipitación pluvial se expresa en

milímetros por año, conviene tener los registros mensuales de varios años para el dimensionamiento de las obras de drenaje perimetral y de lixiviado."<sup>7</sup>

Como en todo proyecto propuesto la organización que tenga a cargo una obra de rellenos sanitarios debe proyectar el principio y el fin de la obra, lo ideal al concluir es que se vea a futuro un área deportiva, un área verde, vivero, bosque o simplemente en donde se pueda tener una armonía con el paisaje que la rodee, por supuesto esto es tentativo debido a la localización asilada del terreno donde se construye, a la topografía y a la poca probabilidad de que la mancha urbana demande habitar en donde se construyó.

Los rellenos sanitarios contendrán residuos provenientes de todo tipo de lugar, por ello es importante identificar de qué clase son, esto debido a la existencia de residuos peligrosos que son una amenaza desde el momento de su utilización, para ello es adecuado determinar la manera en cómo se manejarán y su disposición final.

A continuación, citaré un informe de la situación del medio ambiente en México con información más detallada al respecto.

“Los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley (Diario Oficial de la Federación, 2003).

En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

---

<sup>7</sup> Jorge Jaramillo, Universidad de Antioquia, Colombia. 2002  
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente  
Organización Panamericana de la Salud  
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud

Los residuos sólidos urbanos, son los que se generan en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas (p. e., de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques) o los que provienen también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias, y los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole.

La gran diversidad de sustancias químicas que existe en la actualidad, si bien es cierto que ha servido para mejorar significativamente el nivel de vida de la población, también ha ejercido una presión importante sobre el medio ambiente y la salud humana. Una vez finalizada la vida útil de muchos de los productos que se fabrican a partir de estas sustancias o que las contienen, se convierten en desechos que ponen en riesgo la salud de las personas o pueden causar daños al medio ambiente.

Entre estos desechos se encuentran los residuos peligrosos, definidos como aquellos que poseen alguna de las características CRETIB (referencia a las características que hacen que un residuo sea considerado peligroso), que les confieren peligrosidad (corrosividad, C; reactividad, R; explosividad, E; toxicidad, T; inflamabilidad, I; o ser biológico-infecciosos, B), así como los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados, según lo establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).

La norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

Los Residuos de Manejo Especial (RME) están definidos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) como aquéllos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o peligrosos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.”<sup>8</sup>

Conocer la clasificación de la basura que se genera en los distintos sectores de la población, es importante para decidir su disposición final.

---

<sup>8</sup> SEMARNAT, Informe de la situación del medio ambiente de México, Compendio de estadísticas ambientales Indicadores clave y de desempeño ambiental, Edición 2012

En las zonas metropolitanas de la ciudad, existe un control muy amplio de los residuos que se producen, con el 90%, en las ciudades medias, existe un control del 80% sobre la basura, en comparación con ciudades pequeñas y poblaciones, en donde como máximo llegan al 25% de control sobre los residuos, ya que en este tipo de poblaciones se opta por tiraderos a cielo abierto y no existe un control.

La basura al ser una consecuencia directa del ser humano, se le considera inservible una vez terminado o agotado el producto. Muchas veces se piensa que la basura es un montón de desechos con olores fétidos y una apariencia desagradable, pero no es así, ya que existen diferentes clases de residuos que no necesariamente deben tener esas características, pero que de una u otra manera causan un impacto negativo hacia las poblaciones.

Según la Secretaria del Medio Ambiente de México, a partir del 8 de julio del año 2017, la basura se empezó a dividir en cuatro tipos para que la recolección de los residuos sea más eficiente y se puedan aprovechar al máximo los recursos que puedan ser reutilizables y se elaboren nuevos productos.

La basura orgánica es toda aquella que se descompone en muy poco tiempo, la que proviene o es elaborada de seres vivos, tales como huesos, residuos de frutas y verduras, restos de comidas, cáscaras de huevos, restos de plantas para jardinería, entre algunos otros más.

La basura inorgánica es la que tiene un tiempo muy amplio para su descomposición y que siempre son un gran peligro tanto para la naturaleza como para el medio que nos rodea como seres humanos.

En la mayoría de las ocasiones esta desemboca en ríos, lagos y mares, entre las cuales están los plásticos (cualquier objeto que sea derivado del petróleo que sea inservible, vidrios, metales, cartón, entre otros) y que provocan un grave daño a todos los seres vivos que habiten por la zona.

La siguiente categoría es la basura inorgánica no reciclable, en esta clasificación están aquellos materiales que ya no pueden reciclarse debido a su uso, como lo pueden ser papel sanitario, toallas sanitarias, colillas de cigarrillos, envolturas metálicas y otras más.

Por último, tenemos la basura de manejo especial y voluminoso, que en muchas ocasiones suelen ser un gran problema para su recolección debido a su tamaño y el tipo de material, entre estos tenemos mesas, sillones, colchones, sillas, aparatos electrónicos, pilas, baterías, cualquier electrodoméstico y sus variantes.

A continuación, citaré un artículo publicado en la WEB donde aborda temas generales sobre los estratos rocosos, muchas veces en una construcción de un relleno sanitario se buscan estos estratos por características puntuales que poseen y facilitan la proyección de la obra, además de que logran una combinación para que el impacto ambiental se reduzca en la menor cantidad posible y beneficiar tanto a la población como al medio ambiente.

“La superficie de la Tierra está cubierta por rocas. Lo que vemos ante nuestros ojos al contemplar un paisaje es la evolución de la Tierra desde miles de millones de años. En condiciones normales de sedimentación, los estratos más antiguos están por debajo de los estratos más modernos. “

Pero frecuentemente, esto no es así, ya que los movimientos de la corteza alteran este orden hasta el punto de que puede llegar ser todo lo contrario, que las más antiguas estén por encima de las más modernas.

Hay tres tipos de rocas:

- Rocas ígneas, que se forman por la solidificación del magma terrestre.
- Rocas sedimentarias, que se forman al sedimentarse los suelos.
- Rocas metamórficas, formadas por la alteración de una roca por presión o temperatura.

El suelo es la parte de la corteza terrestre formado por su alteración superficial. Esta alteración se produce por la climatología y los seres vivos.

El suelo posee unos horizontes: el superficial o cero, que contiene materia orgánica; el suelo propiamente dicho o A; el subsuelo o B, y la roca madre o C.

El suelo, con el tiempo, se endurece o litifica y es lo que forma las rocas sedimentarias. Estas se van ordenando por capas, de forma paralela. Y en esto entraría otro factor: el factor tiempo.

Estas formaciones de rocas estratificadas se contemplan desde tres aspectos:

- La litología como la base principal para la caracterización y clasificación de los estratos rocosos (litoestratigrafía).
- Los fósiles que tienen (bioestratigrafía).
- El tiempo que tienen (cronoestratigrafía).

La manera de conocer con cierta exactitud la edad que tienen las rocas, cuando falla o puede fallar la correlación con otras, es la paleontológica y/o la datación isotópica, que tienen además un significado universal.”<sup>9</sup>

Las características de las rocas están directamente ligadas a su origen y la clase, aunque para los rellenos sanitarios se prefieren estratos rocosos que sean impermeables, al hablar de una proyección de un relleno sanitario en estratos rocosos se relacionan directamente con altos costos

Debido al trabajo que se hará a la hora de la excavación en un tipo de suelo tan difícil, por ello los proyectistas e ingenieros deben estar preparados y usar las herramientas adecuadas para la ejecución correcta de la obra.

Algunos ejemplos para las rocas ígneas son obsidiana, dacita, basalto, traquita y andesita. Para las rocas sedimentarias están las evaporitas, travertinos, grava y arenisca. Por último,

---

<sup>9</sup> JuanOenes, Los Estratos Rocosos, 27 de septiembre de 2017, <https://estratigrafiaysedimentologia.wordpress.com/2016/09/27/los-estratos-rocosos/>

para las rocas metamórficas se encuentran la cuarcita, mármol, pizarra, milonita, antracita y gneis.

Para esta tesina se aborda únicamente la propuesta de rellenos sanitarios sobre estratos rocosos, la calidad y desempeño de cada relleno sanitario estará en función de su proyección, del entorno que lo rodee y del mantenimiento que tenga durante y después de llenar su capacidad. Considero que los rellenos sanitarios sobre estratos rocosos (con una densidad considerable y poco % de poros), son más resistentes, más impermeables que un suelo normal y de igual manera con un costo más elevado.

### CAPÍTULO III

#### ***Metodología***

Para conocer mejor algunos aspectos sobre la construcción de un sitio de disposición final para los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, es importante conocer la norma vigente sobre el tema en nuestro país.

Citaré algunos puntos de la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Esta norma engloba varios aspectos relevantes a considerar para la proyección de dicha obra.

A continuación, se cita la norma empezando en el artículo cinco, considerando que a nivel personal recobra la importancia necesaria para cubrir aspectos delimitados en el tema principal.

#### **“3.1.- Disposiciones generales**

3.1 Los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, que no sean aprovechados o tratados, deben disponerse en sitios de disposición final con apego a la presente Norma.

3.2 Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana, los sitios de disposición final se categorizan de acuerdo a la cantidad de toneladas de residuos sólidos urbanos y de manejo especial que ingresan por día, como se establece en la Tabla N°. 1.

**TABLA No. 1 Categorías de los sitios de disposición final**

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

### **3.2 Especificaciones para la selección del sitio**

Restricciones para la ubicación del sitio

Además de cumplir con las disposiciones legales aplicables, las condiciones mínimas que debe cumplir cualquier sitio de disposición final (tipo A, B, C o D) son las siguientes:

3.2.1 Cuando un sitio de disposición final se pretenda ubicar a una distancia menor de 13 kilómetros del centro de la(s) pista(s) de un aeródromo de servicio al público o aeropuerto, la distancia elegida se determinará mediante un estudio de riesgo aviario.

3.2.2 No se deben ubicar sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en el Plan de manejo de éstas.

3.2.3 En localidades mayores de 2,500 habitantes, el límite del sitio de disposición final debe estar a una distancia mínima de 500 metros contados a partir del límite de la traza urbana existente o contemplada en el plan de desarrollo urbano.

3.2.4 No debe ubicarse en zonas de: marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas.

3.2.5 El sitio de disposición final se debe localizar fuera de zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años. En caso de no cumplir lo anterior, se debe demostrar que no existirá obstrucción del flujo en el área de inundación o posibilidad de deslaves o erosión que afecten la estabilidad física de las obras que integren el sitio de disposición final.

3.2.6 La distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 metros como mínimo.

3.2.7 La ubicación entre el límite del sitio de disposición final y cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero, tanto en operación como abandonados, será de 100 metros adicionales a la proyección horizontal de la mayor circunferencia del cono de abatimiento. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento, la distancia al pozo no será menor de 500 metros.

### **3.3 Estudios y análisis previos requeridos para la selección del sitio**

#### 3.3.1 Estudio geológico

Deberá determinar el marco geológico regional con el fin de obtener su descripción estratigráfica, así como su geometría y distribución, considerando también la identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas. Asimismo, se debe incluir todo tipo de información existente que ayude a un mejor conocimiento de las condiciones del sitio; esta información puede ser de cortes litológicos de pozos perforados en la zona e informes realizados por alguna institución particular u oficial.

#### 3.3.2 Estudios hidrogeológicos

##### a) Evidencias y uso del agua subterránea

Definir la ubicación de las evidencias de agua subterránea, tales como manantiales, pozos y norias, en la zona de influencia, para conocer el gradiente hidráulico. Asimismo, se debe determinar el volumen de extracción, tendencias de la explotación y planes de desarrollo en la zona de estudio.

b) Identificación del tipo de acuífero

Identificar las unidades hidrogeológicas, tipo de acuífero (confinado o semiconfinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero.

c) Análisis del sistema de flujo

Determinar la dirección del flujo subterráneo regional.

**3.4 Estudios y análisis, en el sitio, previos a la construcción y operación de un sitio de disposición final.**

La realización del proyecto para la construcción y operación de un sitio de disposición final debe contar con estudios y análisis previos, de acuerdo al tipo de sitio de disposición final especificado en la Tabla 2.

**TABLA No. 2 Estudios y análisis previos requeridos para la construcción de sitios de disposición final**

Estudios y Análisis	A	B	C
Geológico y Geohidrológico Regionales	X		
Evaluación Geológica y Geohidrológica	X	X	
Hidrológico	X	X	
Topográfico	X	X	X
Geotécnico	X	X	X
Generación y composición de los RSU y de Manejo Especial	X	X	X
Generación de biogás	X	X	
Generación de lixiviado	X	X	

a) Estudio Topográfico

Se debe realizar un estudio topográfico incluyendo planimetría y altimetría a detalle del sitio seleccionado para el sitio de disposición final.

b) Estudio geotécnico

Se deberá realizar para obtener los elementos de diseño necesarios y garantizar la protección del suelo, subsuelo, agua superficial y subterránea, la estabilidad de las obras civiles y del sitio de disposición final a construirse, incluyendo al menos las siguientes pruebas:

#### b.1 Exploración y Muestreo:

- Exploración para definir sitios de muestreo.
- Muestreo e identificación de muestras.
- Análisis de permeabilidad de campo.
- Peso volumétrico In-situ.

#### b.2 Estudios en laboratorio:

- Clasificación de muestras según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos.
- Análisis granulométrico.
- Permeabilidad.
- Prueba Proctor.
- Límites de Consistencia (Límites de Atterberg).
- Consolidación unidimensional.
- Análisis de resistencia al esfuerzo cortante.

#### Humedad.

Con las propiedades físicas y mecánicas definidas a partir de los resultados de laboratorio, se deben realizar los análisis de estabilidad de taludes de las obras de terracería correspondientes.

#### c) Evaluación geológica

c.1 Se deberá precisar la litología de los materiales, así como la geometría, distribución y presencia de fracturas y fallas geológicas en el sitio.

c.2 Se deberán determinar las características estratigráficas del sitio.

#### d) Evaluación hidrogeológica

d.1 Se deben determinar los parámetros hidráulicos, dirección del flujo subterráneo, características físicas, químicas y biológicas del agua.

d.2 Se deben determinar las unidades hidrogeológicas que componen el subsuelo, así como las características que las identifican (espesor y permeabilidad).

### 3.5 Estudios de generación y composición

#### a) Generación y composición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial

Se deben elaborar los estudios de generación y composición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial de la población por servir, con proyección para al menos la vida útil del sitio de disposición final.

#### b) Generación de biogás

Se debe estimar la cantidad de generación esperada del biogás, mediante análisis químicos estequiométricos (cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química), que tomen en cuenta la composición química de los residuos por manejar.

#### c) Generación del lixiviado

Se debe cuantificar el lixiviado mediante algún balance hídrico.

### 3.6 Cumplimiento de estudios y análisis previos<sup>10</sup>

Esta tesina se desarrolla con estudios cuali-cuantitativos para la construcción de un relleno sanitario, donde se citan a diferentes autores para el conocimiento más a fondo sobre el tema.

Una de las fuentes de información más destacadas en donde investigué respecto a los residuos sólidos urbanos fue en la Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas urbano-marginadas, SEDESOL, México, 2012 y fue referente a los volúmenes de residuos generados, delimitados y divididos por regiones en todo nuestro país, la frontera norte generó una cantidad de 6,748.85 toneladas de basura, la región sur 4,250.42 toneladas de residuos, por otra parte, la zona norte 4,378.18 toneladas.

---

<sup>10</sup> NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003

Tan solo el Distrito Federal, en ese año, generó 4,891 toneladas de basura. La región que más residuos generó fue la zona centro del país con una impresionante cantidad de 20.794.05 toneladas.

La cantidad de residuos sólidos que se producen en cada región están en función de las cantidades de ciudades y comunidades que en estas existan.

Como lo es el caso de la zona centro, donde existen muchas ciudades con manchas urbanas que año con año crecen exponencialmente, según la fuente anteriormente mencionada: la producción de basura aumenta un 25% año con año, a comparación de zonas como el norte o el sur en donde existen menos ciudades y más comunidades rurales, que producen menos residuos y tienen más cuidado con lo que producen.

Respecto a años anteriores, hablando de los años 1950 a la actualidad, la generación de residuos sólidos urbanos ha aumentado de manera significativa, dando como resultado el triple de la cantidad que una década antes se producía, de 300 a 990 gramos en promedio. Del año 1997 a 2011, la producción anual de residuos sólidos se incrementó un 50%, de 306 a 360 kg por persona.

Es importante la construcción de un relleno sanitario porque en muchas comunidades o ciudades pequeñas que están creciendo no suelen tener un sitio adecuado para la disposición final de la basura, muchas veces suelen tener tiraderos a cielo abierto, donde existen una cantidad impresionantes de riesgos para la salud.

La basura al descomponerse produce un gas llamado biogás, que dependiendo del origen que estos tengan pueden producir olores fétidos, pueden ser peligrosos por su toxicidad o por su explosividad, por ello es que los rellenos sanitarios deben estar alejados de la mancha urbana.

Muchos gases que se producen en la descomposición de la basura contribuyen a la contaminación y también al efecto invernadero, que provoca cambios climáticos en nuestro planeta. Los gases que provocan estos efectos son el bióxido y monóxido de carbono, el

metano y algunos compuestos orgánicos volátiles como la acetona, benceno, estireno tolueno y tricloroetileno.

En Chiapas, por ser uno de los estados con mayor cantidad de recursos naturales de nuestro país, se deben tomar en cuenta todos los factores involucrados en la construcción de un sitio para la disposición final de la basura, por el impacto negativo que esto podría ocasionar.

Entre los aspectos más importantes se destacan las aguas subterráneas, que son aquellas que fluyen por debajo de la superficie terrestre y desembocan en mares, ríos o lagos. Éstas corrientes subterráneas son muy importantes tanto para los seres vivos, principalmente para los seres humanos.

Se deben hacer los estudios correspondientes para descartar la existencia de dichas aguas para no correr el riesgo de contaminarlas con lixiviados y causar un daño irreparable al medio ambiente, porque al estar contaminadas se convierten en un peligro potencial para todos los seres vivos que dependen de ella como para los seres humanos.

Según un artículo de la SEMARNAT, Bases para legislar la prevención y gestión integral de residuos, México, 2006. Es importante poner mucha atención a los tiraderos a cielo abierto que existan, porque todos esos residuos al descomponerse, atraen a muchos tipos de animales que buscan comida para establecer su hábitat.

Éstos al mismo tiempo son una vía de transferencia de infecciones y enfermedades, dentro de la misma fauna y flora como a los seres humanos, ya que en muchas ocasiones estos llegan a las zonas urbanas y significan un peligro inminente, las infecciones o enfermedades que se pueden transmitir son la peste bubónica, tifus murino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, amebiasis, disentería, toxoplasmosis, dengue, fiebre amarilla, entre otras.

Para controlar los olores y evitar que los seres vivos se involucren, se deben controlar las emisiones de biogás, esto se logra con ventilación adecuada, de acuerdo a las delimitaciones de las Normas y de la obra, además en muchas ocasiones se le agregan líquidos especiales que son muy fuertes para la inhibición de los fuertes olores.

También para evitar aromas fuera de lo normal se tiene que contar con un sistema de drenaje especial para lixiviados, para esto los rellenos sanitarios debe contar con un escurrimiento por gravedad, y evitar que todos los líquidos productos de los residuos se estanquen y sean un problema para los operados, obviamente se deben tener revisiones y mantenimientos constantes.

El control de la emisión del biogás en un relleno sanitario se lleva a cabo mediante dos procesos de drenaje: el drenaje activo y el drenaje pasivo.

El drenaje activo se efectúa de tal manera que se drena el gas por un método mecánico como un soplador de aire, adecuado y especificado en la proyección de la obra y el drenaje pasivo se lleva a cabo mediante la inducción de la convección de los propios gases.

Cada uno de ellos cumple satisfactoriamente su función, aunque el drenaje pasivo es el más económico pero el otro lado el drenaje activo lo supera en cuanto a eficiencia, pero no en cuanto a costos.

El primer proceso, del drenaje activo, consiste en producir, mediante un soplador de aire, la canalización de las emisiones del biogás, por medio de conductos, que derivan hacia pozos que captarán al biogás. El soplador tiene la función de crear un vacío en los pozos, propiciando la salida del biogás canalizado. Este sistema de captación se diseña dentro de la misma obra de relleno sanitario.

Por otra parte, el drenaje pasivo sin pozos de captación provoca que el gas que se produce dentro del relleno sanitario tenga un movimiento de manera horizontal por las capas de la basura que hay y tenga un recorrido por la parte superior del relleno sanitario al igual que

por los laterales, en los taludes, ya que ambos taludes funcionan como un filtro biológico para que finalmente termine su proceso incorporándose y mezclándose con el aire de la atmósfera.

El método de drenaje pasivo sin pozos, es más riesgoso debido a que con el uso del relleno se va deteriorando y se producen fisuras, que al mismo tiempo permiten que el gas se filtre al aire sin purificarse, antes de concluir su proceso, causando un daño ambiental, además si se aumentan los líquidos dentro del relleno sanitario, este filtro interno deja de funcionar de manera eficiente y pierde sus propiedades de purificación.

El manejo de los lixiviados es una actividad muy importante a considerar porque estos representan un gran riesgo.

Para el control de estos líquidos existen diferentes maneras de manejarlos, las cuales dependerán de los técnicos encargados del proyecto y de las características de la zona en la que estén construidas las obras de relleno sanitario. Se pueden construir sistemas de instalación de lixiviados y operaciones para mantener menos de 30 centímetros de columna de agua en el recubrimiento o bien remover los lixiviados a través de sistemas de drenajes hacia instalaciones de almacenamiento o tratamiento para su uso en agricultura, porque debido a su origen están estrictamente prohibidos para el consumo de cualquier tipo para el ser humano.

### ***III.II.- Tratamiento de lixiviados.***

“Para el tratamiento de los lixiviados, en el proceso se emplean como coagulantes cloruro férrico y sulfato de aluminio, para ello la planta debe contar con un área de almacenamiento de reactivos, donde se encuentran tanques de  $15\text{m}^3$  para el alojamiento del  $\text{FeCl}_3$  y  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , uno más de  $5\text{m}^3$  a  $10\text{m}^3$  para almacenar  $\text{NaHClO}$ . En el caso del  $\text{NaOH}$ , la planta contara con sacos de 25 kg.

El proceso de coagulación-floculación llevado a cabo en la Planta puede dividirse en las 5 etapas que a continuación se describen:

- La primera etapa. Se acondiciona el lixiviado con  $H_2SO_4$  al 98% bajando el pH inicial de 7.3-7.9 a 4.0-4.5. La finalidad de esta etapa es favorecer una primera remoción de la materia orgánica además de cierta cantidad de carbonatos.
- Segunda etapa. El pH de la muestra ahora es subido a valores cercanos a la neutralidad, para luego llevar a cabo la mezcla rápida con la adición de los reactivos químicos  $-FeCl_3$  y  $Al_2(SO_4)_3$ . Posteriormente se efectúa la mezcla lenta para favorecer el proceso de floculación.
- Tercera etapa. Concluida la mezcla lenta, se realiza la primera sedimentación en un tanque provisto de mamparas.
- Cuarta etapa. Se efectúa un proceso de oxidación química utilizando  $NaHClO$ , para remover los contaminantes que no hayan reaccionado durante el proceso de coagulación-floculación. En esta etapa de paso se remueven por oxidación las bacterias presentes.
- Quinta etapa. Se lleva a cabo un segundo proceso de neutralización para favorecer la sedimentabilidad de los flóculos, durante la última etapa de sedimentación.”<sup>11</sup>

Para la remoción de los lixiviados es común el uso de bombas, que llevan los líquidos hacia sitios predeterminados como zonas de almacenamiento confinado o también suelen enviarse a lagunas de evaporación. Cuando se cuenta con un presupuesto mayor, se pueden construir pequeñas plantas de tratamiento para los lixiviados, donde el agua tratada se usa para el riego.

Otro aspecto importante a considerar, es el control de la basura. Esta debe ser colocada en un área de disposición activa donde debe controlarse todo el tiempo para evitar que factores como el viento o la lluvia la trasladen, provocando contratiempos, se consideran coberturas cada 24 horas y alternativas a ellas.

---

<sup>11</sup> (Luna, Y., Ota, E., Vilches, L., Vale, J., Querol, X., Fernández, C. (2007). Use of zeolitised cal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. Waste Management. 27. 1877-1883)

También se puede disponer la basura en cercos perimetrales o en su defecto, cercos portátiles, que tiene como función mantener la basura por un tiempo relativamente corto para cuando terminen con las actividades de los residuos en curso, puedan ser colocadas, tendidas y compactadas.

Es importante estar seguros de que los camiones que trasladan los residuos de la ciudad hacia el relleno sanitario, sean cerrados para evitar la dispersión de los residuos.

Es importante tener un control de las aguas de lluvia, porque pueden ser perjudiciales en la construcción o bien, cuando el relleno sanitario se encuentre en servicio, uno de los factores relevantes a considerar es prevenir que después de la lluvia se estanque el agua en la zona, en especial donde se ubicará la basura.

Se debe tener en cuenta que para evitar esto se deben prever de manera adecuada la nivelación del terreno o bien remover el agua con bombas portátiles, el agua limpia que se remueva de la zona debe colocarse al sistema de drenaje del relleno sanitario.

Por otra parte, el agua que se contamine por tener contacto con los residuos deberá tratarse como lixiviado, también el agua estancada no debe circular ni formar parte de los procesos que se hagan en el relleno sanitario, por estos motivos es de suma importancia proyectar de la mejor manera un relleno sanitario, porque al final de la obra si esto llega a pasar sería una inversión extra que se puede evitar.

En los últimos años, países como Estados Unidos, han implementado una nueva técnica para los rellenos sanitarios que es la recirculación de los lixiviados que se producen en el mismo relleno sanitario. Esta acción justifica que a través de los mismos lixiviados aumenten su calidad y esto, al mismo tiempo, nos garantiza un correcto tratamiento de este líquido.

Las condiciones de los lixiviados se pueden determinar a través de estudios en laboratorio, como lo pueden ser la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). También existen otras características que se pueden considerar tales como la acidez, la temperatura, el pH, entre otros.

Algunos países de América Latina están determinando si es factible o no, el uso de esta nueva técnica. Las ventajas que esto traería sería una mejoría considerable en la recolección de los lixiviados que se puedan diseñar en un futuro, que el mismo relleno sanitario tenga una vida útil mucho más prolongada y reducir en el impacto ambiental producto del mal uso de estos líquidos.

Esta es una nueva alternativa muy factible para ciudades en donde las precipitaciones son en menor cantidad, por otro lado, en zonas con precipitaciones continuas se pueden suspender estas técnicas para cuando no llueva, con el fin de evitar la abundancia de líquidos.

El motivo principal de la recirculación de los lixiviados es que aumenta considerablemente la vida de los rellenos sanitarios, esta puede ser a través de pozos excavados en la misma zona o bien por tuberías de reinyección, también se puede regar sobre la misma cobertura en donde se encuentren los residuos. Tomando en cuenta que existen pocos sitios de disposición final en nuestra zona para los desechos, considero que es una alternativa sumamente interesante y que se debe considerar a un futuro para reducir los impactos que se han causado, producto del mal manejo de estos líquidos peligrosos.

Una parte medular de una proyección de un relleno sanitario es determinar existe un estrato rocoso que cumpla con las características adecuadas para un óptimo desarrollo, en el sitio elegido para realizar la obra y que no presente consecuencias negativas para el futuro hacia el que esté proyectado.

Basándome en el libro “Ingeniería Geológica” del autor Luis I. González de Vallejo, (Editorial: Pearson Education, 2004), para proyectar un relleno sanitario se procede a impermeabilizar la zona, si en su caso propondrá que se realice en roca debe estudiar el macizo rocoso ver sus características (calidad del macizo rocoso, definir constantes elásticas como módulo de Young (E), coeficiente de Poisson, módulo de rigidez o cizallamiento y módulo de Bulk o de Incompresibilidad (K)) que pueden definirse al realizar barrenos, también identificar (discontinuidades, juntas o diaclasas, Fallas o fisuras), sus características como resistencia (compresión simple o triaxial) que nos darán parámetros de cohesión (que a su vez está definida por la velocidad de formación de la roca y su composición química) también obtener

densidades, filtración, porosidad densidad que den parámetros de calidad del macizo rocoso, estudios como factibilidad, estudios de geofísica o refracción sísmica para obtener si hay cavernas y lo importante: la caracterización geológica, para ver si es potencialmente estable o inestable o en su caso proponer alternativas para impermeabilizar como inyección de concreto o algunos métodos que estabilicen el estrato.

El objetivo es que se demuestre que el macizo rocoso es sano y de buena calidad. esto depende del mineral de la roca, las más resistentes son las rocas ígneas intrusivas, las cuales “son rocas formadas en el interior de la corteza terrestre.

Cuando un magma se enfría bajo la superficie lo hace más lentamente, permitiendo un mejor desarrollo de los cristales, que debido a eso alcanzan tamaños que pueden ser observados a simple vista, generalmente abarcan grandes extensiones de terreno y llegan a la superficie terrestre mediante procesos orogénicos (deformaciones tectónicas) o mediante procesos externos de erosión. Dentro de este tipo de rocas, algunos autores reconocen una clase intermedia, la hipoabisal, que incluye a las rocas que han cristalizado a una profundidad moderada y se presentan en forma de filones o diques, rellenando grietas; son mucho menos abundantes que las plutónicas y se encuentran casi siempre asociadas a ellas.”<sup>12</sup>

Para poder determinar de manera efectiva las características mecánicas y cualidades físicas de la zona, se emplean pruebas de laboratorio que arrojan los datos necesarios para tomar una elección adecuada a la situación. Por ejemplo:

- La naturaleza de la roca.
- La resistencia ante la rotura.
- La deformación a corto y largo plazo.
- La influencia del agua en el comportamiento.
- El comportamiento ante la meteorización.
- El comportamiento en función del tiempo.

---

<sup>12</sup> (Servicio Geológico Mexicano, 22 de marzo de 2017, [www.sgm.gob.mx/web/museovirtual/rocas/rocas-igneas](http://www.sgm.gob.mx/web/museovirtual/rocas/rocas-igneas))

También existen pruebas de rozamiento o corte que evalúan las discontinuidades de las rocas que permiten evaluar de la misma manera, pero en diferentes situaciones al conjunto matriz- discontinuidades.

Son iguales de importantes las pruebas in situ que nos arrojan resultados de los macizos rocosos y de sus características en estado natural, de esta forma se pueden hacer simulaciones acerca de las situaciones futuras a las que estará sometida esa roca si se planea hacer una obra sobre ella.

La siguiente cita será del tema “permeabilidad y flujo del agua”, del autor Luis I. González, en donde se explica de manera concisa y objetiva el impacto que tiene el líquido en las rocas.

“Las rocas, los suelos y el agua son los tres elementos naturales que constituyen el medio geológico. El agua fluye a través de suelos y rocas con mayor o menor velocidad. En función de que la roca tenga o no capacidad para transmitir agua, se denomina permeable o impermeable, dependiendo de su porosidad y de la interconexión entre los poros.

La permeabilidad puede ser definida como la capacidad del medio rocoso para que el agua fluya a través de sus huecos o vacíos interconectados; se representa por el coeficiente de permeabilidad, que se expresa como una velocidad. Los valores normales para las rocas varían de 1 m/día a 1 m/año. La permeabilidad de la matriz rocosa es intergranular, y el agua se transmite a través de los poros y microfisuras interconectados de la roca, recibiendo el nombre de permeabilidad primaria.

En los macizos rocosos el agua fluye a favor de las superficies de discontinuidad, y se define como permeabilidad secundaria. Por lo general, la permeabilidad de la matriz rocosa es despreciable con respecto a la del macizo rocoso fracturado. Una excepción son las areniscas

y otras rocas porosas, donde si es posible el flujo de agua a través de la matriz. Los macizos rocosos karstificados son los que presentan mayores valores de permeabilidad debido a la presencia de discontinuidades muy abiertas y cavidades producidas por la disolución de los materiales carbonatados.

En los macizos rocosos permeables se establece un nivel de agua bajo el cual los poros y/o discontinuidades interconectados aparecen llenos de agua. La forma de esta superficie, el nivel freático, suele adaptarse a la de la topografía, aflorando en puntos concretos condicionado por cambios litológicos o topográficos o por estructuras geológicas como las fallas. El nivel freático puede fluctuar por lluvias intensas y continuadas, bombeos o extracciones y periodos de sequía. Una baja proporción del agua de lluvia se infiltra en el terreno, y una pequeña parte de esta, si acaso, alcanza el nivel freático.

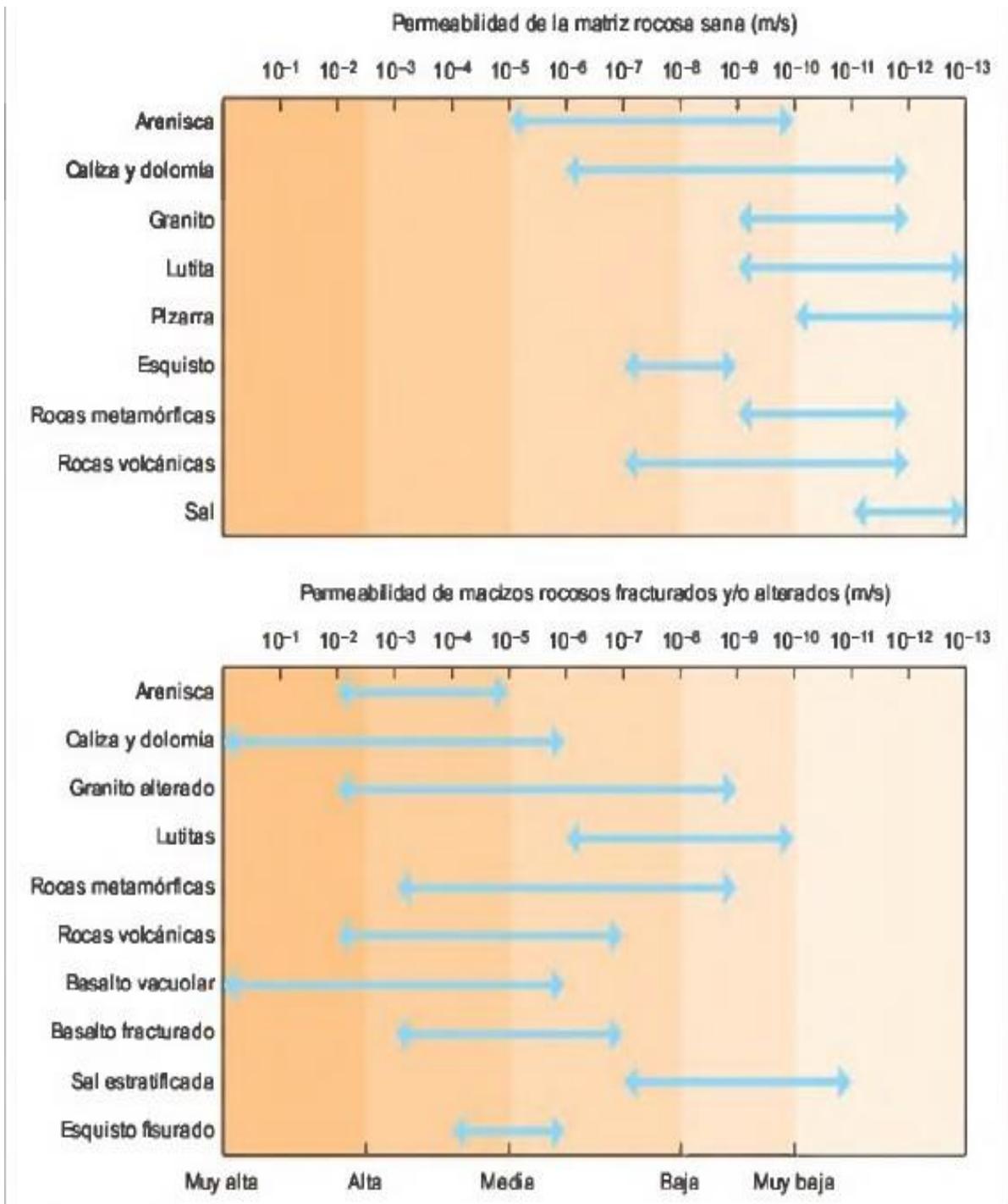
El agua subsuperficial aparece en condiciones de no confinamiento, pero a mayor profundidad la presencia de capas o estratos impermeables puede hacer de barrera para el movimiento del agua hacia la superficie.

En estos casos el agua aparece confinada, ejerciendo presión contra los materiales impermeables. El flujo del agua en un macizo rocoso fracturado depende de la abertura de las discontinuidades, que a su vez depende del esfuerzo normal ejercido sobre ellas, y de su interconexión. Este esfuerzo aumenta con la profundidad, y a partir de un determinado nivel las discontinuidades aparecen cerradas, siendo la permeabilidad del macizo la de la matriz rocosa, o permeabilidad primaria.

El agua, como «material» geológico, coexiste con las rocas e influye en su comportamiento mecánico y en su respuesta ante las fuerzas aplicadas. Los efectos más importantes son:

- Juega un papel importante en la resistencia de las rocas blandas y de los materiales meteorizados.
- Reduce la resistencia de la matriz rocosa en rocas porosas.
- Rellena las discontinuidades de los macizos rocosos e influye en su resistencia.

- Las zonas alteradas y meteorizadas superficiales, las discontinuidades importantes y las fallas son caminos preferentes para el flujo del agua.
- Produce meteorización química y física en la matriz rocosa y en los macizos rocosos.
- Es un agente erosivo.
- Produce reacciones químicas que pueden dar lugar a cambios en la composición del agua.



Gráfica 1

(Valores de permeabilidad primaria y secundaria para rocas y macizos rocosos, modificado de Isherwood. 1979; en Hudson y Harrison. 2000).

“La presencia de agua subterránea da lugar a una tensión superficial o presión hidrostática que se ejerce sobre las rocas con una magnitud igual en todas las direcciones.

El agua puede afectar al comportamiento mecánico de los dos componentes del macizo rocoso: matriz rocosa y discontinuidades. El papel del agua subterránea en las rocas es, en general, menos importante que en los suelos a nivel intergranular, debido a la baja permeabilidad de la matriz rocosa; pero en rocas porosas como las areniscas se cumple el principio de la tensión efectiva, y la presencia de agua reduce los esfuerzos normales actuando entre las partículas minerales.

La resistencia de la roca, por tanto, será menor si ésta se encuentra con los poros rellenos de agua. Con respecto a las discontinuidades, el agua ejerce una presión hidrostática que reduce los esfuerzos normales entre las paredes de las mismas, reduciendo su resistencia al corte. En ambos casos, el agua presente en los poros o en las discontinuidades reduce la resistencia del macizo rocoso en su conjunto”.<sup>13</sup>

Como se puede observar en la gráfica 1, en el apartado de permeabilidad en la matriz rocosa sana, en particular en las rocas volcánicas, nos percatamos que la permeabilidad es la adecuada para construir un relleno sanitario, cabe recalcar que no debe tener cualidades físicas ni mecánicas desfavorables, como estar agrietada, tener poros muy grandes, que cuente con cavernas internas, que su resistencia sea la óptima, entre otras.

Es importante hacer los estudios necesarios en la zona donde se planea proyectar el relleno sanitario para determinar cuál será la mejor opción, no siempre se tendrán las mejores circunstancias en lo que refiere al tipo de suelo y geografía, en la mayoría de las ocasiones las dependencias correspondientes se ven en la necesidad de mejorar el área, con medios mecánicos y con materiales que no corresponden a ese sitio. Pero en un estrato rocoso idóneo en la zona adecuada es el mejor escenario para hacer un relleno sanitario, a largo plazo tiene más beneficios a la flora, fauna, población y costos de control.

---

<sup>13</sup> Libro “Ingeniería Geológica” del autor Luis I. González de Vallejo, (Editorial: Pearson Education, 2004).

## CAPÍTULO IV

### ***Resultados y experiencias.***

Según el análisis de resultados que obtuve al desarrollar esta tesina y de acuerdo a la estrategia metodológica planteada en el capítulo anterior evalué que los procedimientos empleados en el desarrollo para obtener parámetros de diseño de rellenos sanitarios en roca son confiables. En el cual hago referencias a puntos importantes e investigativos como son los análisis del medio físico natural y medio físico artificial.

Dentro del ámbito del análisis del medio físico natural se puede considerar que la construcción de un relleno sanitario debe estar lo más alejado posible de cualquier reserva natural en donde vivan animales que por los olores despedidos busquen acercarse para buscar alimentos, se deben tener delimitados de una manera hermética para impedir que cualquier animal intente cruzar, ya que esto podría provocar infecciones hacia otros animales, contaminación hacia el medio en donde viven o bien problemas en alguno de los procesos del relleno sanitario.

La flora debe estar alejada por lo menos un par de decenas de metros para evitar contaminación, no debe estar construido sobre un lugar en donde existan plantas, que sean de consumo humano, animal o que estén en peligro de extinción, cercanas a zonas donde la vegetación sea frondosa y densa, que se puedan exponer hacia la intoxicación porque esto sería un grave problema.

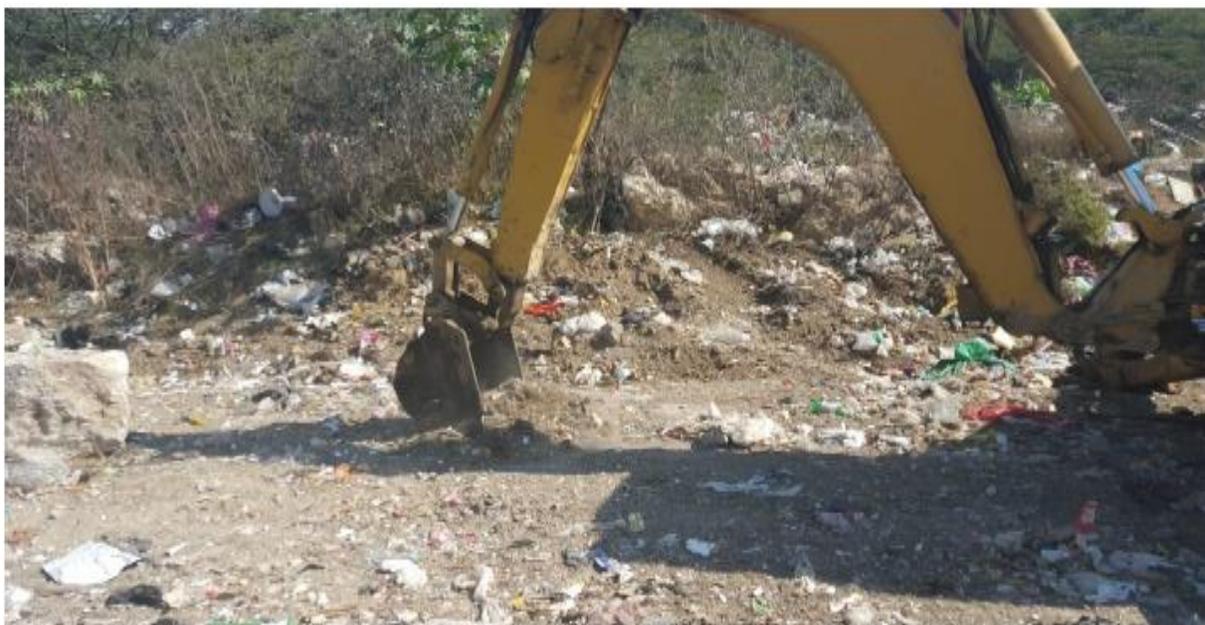
Por su parte la norma rige que deben existir estrictamente 500 metros como mínimo entre el relleno sanitario y cualquier masa de agua superficial, para evitar cualquier tipo de inconveniente que se pudiera presentar en una emergencia.

Después de realizar búsquedas respecto a la proyección de los rellenos sanitarios en rocas y con ayuda de ingenieros que trabajan en la institución, que proporcionaron evidencia fotográfica de las pruebas geotécnicas que se realizan antes de empezar la construcción. A continuación, se mostrará lo recopilado, que cabe destacar, dicha evidencia fotográfica es del laboratorio GEORTEC S.A. DE C.V., que colaboró en algunos estudios para la proyección de rellenos sanitarios en municipios importantes del estado de Chiapas.

### ***Evidencias fotográficas.***

Es importante destacar que la evidencia fotográfica mostrada a continuación son excavaciones de pruebas geotécnicas previas a la construcción, con uso exclusivamente informativo.

Fotografías de excavaciones para pruebas geotécnicas en el municipio de Comitán de



Domínguez.

Realización de sondeo, pozo a cielo abierto (PCA), en el municipio Comitán de Domínguez, Chiapas con máquina retro excavadora. norma: NMX-C-430-ONNCCE-2002.



Ejecución de sondeo, pozo a cielo abierto (PCA), en el municipio Comitán de Domínguez, Chiapas con máquina retro excavadora. norma: NMX-C-430-ONNCCE-2002.



Ejecución de sondeo, pozo a cielo abierto (PCA), en el municipio Comitán de Domínguez, Chiapas con máquina retro excavadora. norma: NMX-C-430-ONNCCE-2002.



Ejecución de sondeo, pozo a cielo abierto (PCA), en el municipio Comitán de Domínguez, Chiapas con máquina retro excavadora. norma: NMX-C-430-ONNCCE-2002.



Ejecución de sondeo, pozo a cielo abierto (PCA), en el municipio Comitán de Domínguez, Chiapas con máquina retro excavadora. norma: NMX-C-430-ONNCCE-2002.

Las siguientes fotografías corresponden a estudios geotécnicos hechos en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, para la proyección de un relleno sanitario a las a afueras de la cabecera municipal a 10 km hacia el norte.



Ejecución de la prueba de pozo a cielo abierto con herramienta menor.



Perfil estratigráfico de sondeo PCA.



Perfil estratigráfico de sondeo PCA.



Recuperación de muestra alterada para determinar el contenido de agua.

El siguiente reporte fotográfico es de pruebas geotécnicas previas para la construcción de un sitio de disposición final para desechos en el municipio de Ocozocoautla, Chiapas.



Ejecución del pozo a cielo abierto con herramienta menor.



Ejecución del pozo a cielo abierto con herramienta menor.



Sondeo profundo tipo mixto SPM-1, Maniobra y colocación de máquina perforadora.



Avance y recuperación de muestra de suelo con broca de diamante y barril recuperador.



Recuperación de muestra alterada



Recuperación de muestra alterada.

Fotografías del municipio de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, donde se muestra la realización de pruebas geotécnicas para proyección de un relleno sanitario.



Realización de prueba de penetración estándar, norma: ASTM-D-1586-2008



Realización de prueba de penetración estándar, norma: ASTM-D-1586-2008



Realización de prueba de penetración estándar, norma: ASTM-D-1586-2008



Avance y recuperación de muestra con broca de diamante y barril doble, norma: ASTM-D-1586-2008

En las fotografías se observa cómo se hacen las pruebas, cuáles son las maniobras y los resultados que se van al laboratorio para evaluar y obtener todos los datos necesarios para determinar si el suelo es el adecuado.

La fotografía a continuación es de la construcción de relleno sanitario en el municipio de



Comitán de Domínguez.

Relleno sanitario en proceso, con una retroexcavadora tendiendo material.

Relleno sanitario terminado y listo para su uso, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Lamentablemente en el relleno que corresponde a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez la empresa encargada del uso y del mantenimiento del relleno sanitario, no cumplió con el trabajo de manera efectiva y hubieron daños ambientales muy graves, entre ellos el más fuerte fue la contaminación del suelo por lixiviados y de una corriente de agua natural que estaba en una zona aledaña, por lo que fue clausurado tiempo después hasta que se disminuyeran los



daños que se habían causado.

Fotografía de lixiviados sin ningún control aparente, expuesto al aire libre.



Fotografía del mismo daño ambiental, pero podemos destacar que gracias al estrato rocoso en la zona no se filtró completamente en el suelo, al igual que se puede ver en la foto anterior, minimizando los daños.

## CONCLUSIÓN

Los rellenos sanitarios, actualmente, son la mejor alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos producidos por una población. Pues brindan muchos beneficios tales como un mejor control de la basura producida, la disminución drástica de los impactos ambientales, en comparación de tener un basurero a cielo abierto o enterrar la basura sin ninguna metodología, como sucede en algunas comunidades, y mayor calidad de cualquier población. Los rellenos sanitarios proyectados en estratos rocosos son la mejor opción que se puede tomar porque además de las membranas que se usan para que la permeabilidad de los residuos y lixiviados sea la correcta, los estratos rocosos actúan como un aislante natural

porque poseen una densidad muy alta que complica la filtración de posibles residuos a tierras fértiles, ríos subterráneos o manantiales que pudiesen contaminar cualquier ecosistema.

Siempre y cuando el estrato rocoso cumpla con las características físicas y mecánicas en donde se demuestre que el macizo es lo suficientemente estable para poder construir un relleno sanitario y no existan problemas de filtración de lixiviados.

De la misma manera, la cultura y conciencia de las personas con el pasar de los años ha cambiado, hoy la mayoría de la población procura tener mayor cuidado de los residuos que produce, de los futuros destinos que podría tener si contaminan y de los impactos negativos como consecuencia de sus acciones. Es importante que todos nos formemos consciencia y valoremos los ecosistemas que nos rodean e inculquemos a las futuras generaciones acciones reciclar y clasificar los distintos tipos de residuos y a no desecharla en cualquier sitio.

## **ANEXO A**

### **MANEJO DE BIOGÁS Y LIXIVIADOS EN RELLENOS SANITARIOS DEL CENTRO DEL PAÍS, UN PANORAMA GENERAL**

En México las prácticas más comunes para disponer los residuos sólidos urbanos o municipales en el suelo son: Tiradero a Cielo Abierto (TCA), Relleno Controlado (RC), Relleno Sanitario (RS) y Relleno Metanogénico (RM) o biorreactor. Un TCA consiste en verter los residuos directamente al suelo en forma diaria sin cubrirlos con tierra. Esta práctica no es

adecuada debido a los problemas sanitarios y ambientales que provoca, pero es la más utilizada en el país debido a que es la más económica y fácil de operar para los municipios, la mayoría de los TCA son clandestinos ocupan cañadas, caminos, lotes baldíos y cuerpos de agua, pueden ser familiares o municipales. Por su diversidad e irregulares no se tiene un registro de la mayor parte de dichos sitios.

Un RC es un sitio inadecuado de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en cuanto a obras de infraestructura y operación, no obstante, no cumple con las especificaciones de impermeabilización ni con las condiciones y requerimientos técnicos conforme las disposiciones legales y sanitarias vigentes estipuladas en la NOM-083-SEMARNAT-2003. La INEGI, reporta 23 de este tipo hasta el 2006, no se tiene ningún dato más reciente. Mientras que un RS es una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los RSU y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales un relleno de este tipo debe de cumplir cabalmente con la normatividad mencionada anteriormente. La INEGI, reporta 104 casos hasta el 2006.

La tecnología del RM, aunque es muy semejante a la del RS convencional, conlleva como requerimiento obligatorio, la recirculación de lixiviados previamente inoculados con agentes enzimáticos; lo cual permitirá acelerar el proceso de descomposición en su etapa metanogénica, aumentar el tiempo de retención celular y reducir las necesidades de estabilización de los residuos. Al respecto, la experiencia a nivel nacional es aún limitada, no hay suficiente información que permitan determinar la factibilidad técnica y económica para su implementación y, en algunos casos los resultados han sido poco alentadores.

En común en la operación de todos los sitios mencionados anteriormente se generan principalmente dos tipos de emisiones o subproductos: gaseosos y líquidos; los primeros están compuestas principalmente por metano y bióxido de carbono, en tanto que las segundas son líquidos que provienen de desechos heterogéneos en composición y arrastran todo tipo de contaminantes, muchos de ellos en concentraciones elevadas, por lo que son catalogados como uno de los residuos más complejos y difíciles de tratar.

Los lixiviados contienen concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos húmicos, nitrógeno amoniacal y metales pesados, así como sales inorgánicas y una gran variedad de microorganismos existentes en la biomasa de los residuos sólidos.

Dada la peligrosidad de estos líquidos por su potencial capacidad de migración y de contaminación hacia el subsuelo y fuentes de agua de los alrededores, siempre revestirá gran importancia el manejo que de ellos se haga.

Así, en el presente documento, se pretende dar un panorama general de lo que se realiza con los lixiviados y biogás en algunos de los principales rellenos sanitarios del centro del país, por la cantidad y tipo de basura que ellos reciben - arriba de 1000 ton/día-, teniendo en cuenta que la problemática por el manejo de los lixiviados depende en gran medida, de la cantidad de basura que ingrese al sitio y de la infiltración del agua (la cual a su vez está en función de al menos 3 variables: precipitaciones pluviales, cubierta intermedia y final y evaporación –evapotranspiración).

En cuanto a la generación del biogás producido, esta va a depender de la composición de los residuos dispuestos, cantidad de materia orgánica, del nivel de compactación en ellos, del contenido de humedad, de la edad de los residuos, de las condiciones climatológicas y de operación, entre los principales.

Por lo general, la masa de residuos en los sitios de disposición final, presentan un alto contenido de materiales orgánicos (arriba del 50%) y la humedad suficiente, para que bajo

condiciones anaeróbicas se favorezca la generación de grandes cantidades de gas metano, principalmente durante los primeros 5 años de haber sido dispuestos. Se puede decir que el metano es el constituyente de mayor porcentaje en el biogás, el cual tiene características de flamabilidad, pudiendo formar mezclas explosivas con el aire, en concentraciones del 5 al 15%.

#### Manejo de lixiviados en los rellenos sanitarios

Desafortunadamente, en países como el nuestro, el tratamiento practicado a los lixiviados -si se lleva a cabo- es cuestionable, con la utilización de tecnologías como son la evaporación y recirculación no adecuada.

La acción de utilizar la evaporación y recirculación de los lixiviados a plataformas en celdas de basura como sistema de tratamiento, se encuentra en discusión dada la generación de aerosoles y de otros compuestos peligrosos con la subsecuente exposición de los trabajadores, además de otros impactos negativos tales como posibles daños a la vegetación, a lo que se sumaría los problemas por la sobreproducción de lixiviados para la época de lluvias, además de demandarse superficies considerables.

Por ello, así como se lleva a cabo en Países Europeos, es necesario proporcionar tratamientos adecuados a los lixiviados, como los utilizados en las aguas residuales convencionales - sistemas biológicos o fisicoquímicos-. Su éxito en el País radica en que son sistemas relativamente fáciles de operar, sin embargo, el uso de los mismos cada vez es más cuestionable, sobretodo el relacionado con el sistema de evaporación por lagunas, por los argumentos ya mencionados. Hasta el año 2006, en el territorio nacional existían alrededor de 104 rellenos sanitarios, para el 2008 la SEMARNAT reporta 262.

Sin embargo, la mayoría cumplen parcialmente con la normatividad ya que solo el 34 % del total cuentan con laguna de evaporación. En el resto, los lixiviados escurren libremente pudiendo contaminar cuerpos de agua de los alrededores.

#### Manejo del biogás en los rellenos sanitarios.

Los rellenos sanitarios producen biogás -normalmente llamado biogás de relleno- mediante la descomposición de materiales orgánicos bajo condiciones anaeróbicas. El biogás de relleno está compuesto aproximadamente de 45-60 % de metano -CH<sub>4</sub>- y 40-60% de bióxido de carbono -CO<sub>2</sub>-, con 0.1-1.0% de oxígeno, 2-5% nitrógeno y vapor de agua, así como también pequeñas concentraciones de Compuestos Orgánicos Volátiles -COVs- y Contaminantes del aire dañinos -HAPs por sus siglas en inglés-. De los componentes del biogás, el metano y bióxido de carbono son considerados Gases de Efecto Invernadero -GEI-, los cuales contribuyen al calentamiento global del planeta.

Sin embargo, el Panel Intergubernamental en Cambio Climático -IPCC, por sus siglas en inglés- no considera al dióxido de carbono un “biogénico” -producido por un proceso biológico- sino una parte del ciclo natural del carbono. El IPCC solo considera el contenido de metano para cálculos de emisiones a la atmósfera. El CH<sub>4</sub> es un GEI más potente que el CO<sub>2</sub>, con un potencial de calentamiento global 20 veces mayor al CO<sub>2</sub>10.

Por lo tanto, la captura y combustión del CH<sub>4</sub> -transformándolo a CO<sub>2</sub> y agua- en quemadores y motores generadores u otro dispositivo, resulta en una reducción sustancial de emisiones GEI, además de los beneficios adicionales por la combustión del biogás, y de mejorar la calidad del aire a través de la destrucción de HAPs y COVs.

Existen dos caminos naturales por los cuales el biogás puede dejar el relleno: por migración subterránea adyacente y por las chimeneas en el sistema de cobertura del relleno. En ambos casos, sin captura o control, el biogás tendrá como destino final a la atmósfera.

Debe destacarse el hecho de que en cualquier sitio donde deje de disponerse basura, el biogás continuará generándose durante las siguientes 2 ó 3 décadas, alcanzando su máxima producción, por lo general un año después de la clausura del sitio.

Un método común para controlar las emisiones de biogás, es instalar un sistema de recolección de extracción de los gases bajo la influencia de una pequeña aspiradora o sopladores que indique el proyecto ya que estará en función de lo que se haya estimado, se

puede adquirir aspiradoras o sopladores en tiendas para maquinaria y el modelo varía según sus características. Los sistemas de control de biogás deben estar equipados con dispositivos de combustión (u otros tratamientos) diseñados para destruir CH<sub>4</sub>, COVs, y HAPs, antes de su emisión a la atmósfera.

## **ANEXO B**

VERIFICA CONAGUA CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS EN TUXTLA GUTIÉRREZ.

La empresa PROACTIVA que tiene a su cargo el relleno sanitario municipal en la Delegación Terán continúa contaminando con escurrimientos de lixiviados los mantos freáticos de los terrenos propiedad de Héctor Montesinos Cano, cuyas colindancias limitan con dicho relleno, donde se pudo apreciar que esta contaminación ha dejado diseminado por el cauce del río

enorme cantidad de basura que se ha acumulado durante las precipitaciones pluviales que escurren por la zona.

Durante un recorrido por la zona donde asistieron medios nacionales y estatales, así como organizaciones ambientalistas, el agraviado explicó en lo que antes era un vertiente natural de agua “ esto no es un pozo como dice PROACTIVA, porque en un pozo no escurre y aquí escurre agua todo el año, esta agua era totalmente cristalina e incluso tenía peces y ahorita lo que pueden ver son costras, materia orgánica y el color es del tipo de los lixiviados, esto va recorriendo y ahorita vamos a bajar a la cascada para que vean como se mantiene la coloración del agua e incluso como ha cambiado el color de las piedras”.

Personal de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) visitó la mañana de este viernes el manantial del predio San Martín Mujular contaminado por lixiviados que se presume provienen del tiradero de basura clausurado a cargo de la empresa española Proactiva.

La CONAGUA pretende instalar un módulo para monitorear el comportamiento del agua durante un periodo de tiempo determinado y con ello establecer el nivel de contaminación que se registra en este manantial ya que antes de proactiva, sus aguas fueron cristalinas.

Ubicado a unos mil metros del relleno sanitario y con un desnivel de 350 metros, el manantial del mujular presenta un grave nivel de contaminación atribuido a los lixiviados producidos por la empresa encargada de la recolección de basura en la capital chiapaneca.

A unos 800 metros de la carretera y a 460 metros de altura sobre el nivel del mar (esto de acuerdo a datos proporcionados por personal de CONAGUA) el manantial en cuestión, el agua ahora se tornó color café y destila un olor fétido.

Dicho manantial sufrió un cambio radical luego de que en la empresa utilizaran explosivos para perforar ese terreno cavernoso, el agua se tornó color “cobrizo” esto en el 2006 en el trienio del otrora gobernador Juan Sabines, cuando la actual diputada federal, Rosario Pariente Gavito, mejor conocida como “chacha”, se quedará como presidenta municipal

sustituta y el constitucional de fuera a campaña, esto de acuerdo a información dada a conocer por el propietario del predio afectado.

Sobre el arroyo denominado “Lacandón” del mismo predio, luego de recorrer todo el cauce seco, puede apreciarse toneladas de basura: bolsas pet, llantas de vehículos automotores, residuos de hospitales, mangueras entre otros, que desde el tiradero bajan en temporada de lluvias.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Trejo Vázquez Rodolfo, Procesamiento de la Basura urbana, Ed Trillas, México, 1994.
- Luis I. González de Vallejo, Ingeniería Geológica, (Editorial: Pearson Education, 2004)

- Proyecto Ejecutivo del Relleno Sanitario del Municipio de Cuautla, Ing. Francisco León Guzmán Director General de Manejo de Desechos Sólidos SEDAM, 2010.
- José Salazar, Diario de Chiapas, 17 de abril, 2017.  
<http://www.diariodechiapas.com/landing/rellenos-sanitarios-han-ido-en-aumento/>
- Jorge Jaramillo, Universidad de Antioquia, Colombia. 2002  
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente  
Organización Panamericana de la Salud  
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud
- SEMARNAT, Informe de la situación del medio ambiente de México, Compendio de estadísticas ambientales Indicadores clave y de desempeño ambiental, Edición 2012
- Juan Oenes, Los Estratos Rocosos, 27 de septiembre de 2017,  
<https://estratigrafiaysedimentologia.wordpress.com/2016/09/27/los-estratos-rocosos/>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003
- Servicio Geológico Mexicano, 22 de marzo de 2017,  
[www.sgm.gob.mx/web/museovirtual/rocas/rocas-igneas](http://www.sgm.gob.mx/web/museovirtual/rocas/rocas-igneas)

- Hugo Alejandro Nájera Aguilar - PTC - Escuela de Ingeniería Ambiental – UNICACH Ma. Neftalí Rojas Valencia – Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería. José Manuel Gómez Ramos - Escuela de Ingeniería Ambiental – UNICACH
- [https://www.researchgate.net/publication/296639645\\_MANEJO\\_DE\\_BIOGAS\\_Y\\_LIXIVIADOS\\_EN\\_RELLENOS\\_SANITARIOS\\_DEL\\_CENTRO\\_DEL\\_PAIS\\_UN\\_PANORAMA\\_GENERAL](https://www.researchgate.net/publication/296639645_MANEJO_DE_BIOGAS_Y_LIXIVIADOS_EN_RELLENOS_SANITARIOS_DEL_CENTRO_DEL_PAIS_UN_PANORAMA_GENERAL)
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente/Unidad de Saneamiento Básico, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental de la Organización Panamericana de la Salud en el año 2002.  
[http://www.bvsde.paho.org/cursoa\\_rsm/e/bienvenida.html](http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/bienvenida.html)
- TUXTLA GUTIÉRREZ, Chiapas, 04 de enero de 2015. /Eleazar Domínguez Torres./(muralchiapas.com) (<http://www.chiapasencontacto.com/esparce-proactiva-lixiviados-a-cielo-abierto/>)