

## IV. Disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, estudio de un caso en Chiapas

Pedro Vera Toledo

### Resumen

Se analiza la generación *per cápita* de los residuos, posteriormente los de sitios de disposición final de residuos tanto controlados, como no controlados, así como la legislación aplicable en el rubro, *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos* y mucho más específica la 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”.

Se aborda la problemática de la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, analizando el caso específico de uno de los sitios de disposición final de residuos sólidos que posee el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, se concluye con una propuesta orientada a minimizar los impactos ambientales por la disposición inadecuada de los residuos.

### Introducción

En el pasado, la generación de residuos sólidos no representó problema alguno, ya que éstos eran fáciles de incorporar a la naturaleza, de tal manera que el equilibrio de los ecosistemas no se veía alterado.

Actualmente México enfrenta grandes retos en el manejo integral de sus residuos sólidos urbanos (RSU) y de manejo especial (RME) debido, principalmente, al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país, al cambio de hábitos de consumo de la población, la elevación de los niveles de bienestar, la creación de nuevos materiales y la tendencia a abandonar las zonas rurales para concentrarse en los centros urbanos<sup>[17]</sup>. Asimismo, la población se incrementó en el periodo desde 1950 hasta 2000 de 30 a más de 98 millones, contribuyendo a una generación de residuos (RSU y RME) a nivel nacional estimada en 83 mil 830 toneladas diarias para el año 1998<sup>[17]</sup>. De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social, desde 1960 hasta 2000 la generación de RSU y RME se incrementó nueve veces y su composición cambió de ser prácticamente orgánica, fácilmente integrable a los ciclos de la naturaleza, a un 50% de componentes, cuya descomposición es lenta y requiere de procesos complementarios para efectuarse (básicamente materiales plásticos o plastificados),<sup>[15]</sup> a fin de reducir sus impactos al ambiente.

Entre los resultados negativos de la inadecuada disposición de residuos sólidos se encuentran: contaminación del ambiente, mal aspecto y deterioro del paisaje, producen malos olores, son foco de infección y lugar de reproducción de bacterias, hongos y otros microorganismos patógenos, fuentes alimenticias y de reproducción para especies consideradas nocivas, que a su vez son portadores de vectores de ciertas enfermedades perjudiciales para la salud pública y competencia directa de la fauna silvestre<sup>[7]</sup>.

En Chiapas, los municipios del estado no escapan de esta problemática, y se enfrentan a un sinnúmero de retos en cuanto a la gestión de los residuos sólidos; entre ellos destaca la disposición final de los RSU y RME. En Chiapas, estado de la república con 118 municipios, es de esperarse que exista el mismo número de sitios destinados para la disposición final de los residuos o como se conocen coloquialmente “tiraderos a cielo abierto”, pero en realidad existen muchos más para este fin<sup>[16]</sup>. En el año de 1998, en el Estado se tenían detectados 104 sitios controlados y 769 sitios no controlados; para el 2006, se llegaron a reportar 313 sitios controlados y 767 no controlados. Sin embargo, entre las estadísticas de los diferentes niveles de gobierno, se refleja una discrepancia muy grande, ya que en la Agenda Estadística Chiapas (2001), se reporta

únicamente 7 sitios denominados “tiraderos de basura a cielo abierto” que son el equivalente en la actualidad a los denominados “sitios no controlados”, ubicados en los municipios de Tuxtla Gutiérrez, Tapachula, Comitán, Palenque, Pichucalco, Motozintla y Mapastepec, con una superficie total de 172 hectáreas y 2 rellenos sanitarios ubicados en San Cristóbal y Palenque, con una superficie conjunta de 11 hectáreas<sup>[1]</sup>. La proyección basada en estos datos y considerando los 118 municipios que conforman el estado, arrojarían una superficie de 2 mil 899.43 hectáreas para la disposición final de los residuos y con ello, evidentes impactos al ambiente. Sea cual sea la cantidad de sitios y la superficie que ocupen, lo cierto es que este número generalmente aumenta y se modifica cada fin de administración municipal, en ese mismo caso se encuentra el municipio de Chiapa de Corzo, en donde se conocen por lo menos cuatro sitios, de ellos tres se encuentran abandonados y uno en operación <sup>[6]</sup>.

Finalmente en Chiapas la generación *per cápita*, de residuos sólidos corresponde a 0.83 kg/hab.-día que producen 3 mil 360 ton/día de residuos sólidos, de los cuales, 40 por ciento (mil 344 ton) se produce en cabeceras municipales que cuentan con servicio de recolección y el resto en zona rural que no cuenta con sistemas eficientes de recolección (Plan Chiapas 2007-2012), de manera que los residuos que no se recolectan, se dispersan en: calles, lotes baldíos, parques, jardines, etcétera y son arrastrados por la lluvia o el viento generalmente a ríos y arroyos, por otra parte, en muchos municipios la disposición final, no es la adecuada y a esto se le suma el ingreso de residuos peligrosos<sup>[19]</sup>.

## Legislación aplicable

Para el año 1994, en México se contaba con normas oficiales específicas para la disposición final de los residuos sólidos que para ese entonces se denominaban Municipales, la primera NOM-083-SEMARNAT-1996, “Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales” y la NOM-084-SEMARNAT-1994, “Que establece los requisitos para el diseño de un relleno y la construcción de sus obras complementarias”, ambas abrogadas, sin embargo por muchas razones la aplicación y cumplimiento

de las citadas para muchos municipios, era prácticamente imposible, lo que se reflejaba en la abundancia de sitios de disposición final de residuos sin control alguno.

Para el año 2003, se expide la Norma NOM-083-SEMARNAT-2003, que entró en vigor en diciembre de ese mismo año, entre otras novedades esta norma categoriza a los sitios en función de la cantidad de residuos que ingresa a ellos, además, otorgaba a los municipios que posean sitios que no cumplan con los requisitos presentados en la citada, un plazo no mayor de 18 meses, para que presenten un plan de regularización (PR) ante las autoridades ambientales federales y estatales. En él se establecerán las adecuaciones que serán necesarias efectuar al sitio en operación, de tal manera que se ajuste a las especificaciones de la norma, o bien planteando su clausura bajo los lineamientos marcados en la misma regulación oficial. En ambos casos, el PR deberá constar de un proyecto de ingeniería que describa a detalle las adecuaciones y/o las actividades de clausura para su realización por parte de los responsables de los sitios, ya sean los ayuntamientos o los particulares.

La *Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos*, publicada el 8 de octubre de 2003, se refiere a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Además de la formulación y conducción de la política en materia de prevención, valorización y gestión integral de los residuos, la expedición de disposiciones jurídicas y la emisión de actos que de ella deriven, así como en la generación y manejo integral de residuos, según corresponda y específicamente la selección de sitios para la disposición final de residuos, lo que representa el punto final en el manejo integral de los mismos y de conformidad con las normas oficiales mexicanas, con los programas de ordenamiento ecológico y desarrollo urbano; la realización inmediata de acciones de remediación de los sitios contaminados, para prevenir o reducir los riesgos inminentes a la salud y al ambiente.

En el marco legal de las denuncias populares y con relación a la NOM-083-SEMARNAT-2003, en Chiapa de Corzo se llevó a cabo una visita de inspección al sitio por parte del Instituto de Historia Natural y Ecología, autoridad encargada de normar todo lo relacionado con residuos sólidos no peligrosos en el estado en ese momento, como resultado de

la inspección, se inició el procedimiento administrativo en contra del Municipio de Chiapa de Corzo, por los impactos ambientales derivados de la inadecuada disposición final de los residuos sólidos en el sitio destinado para ese fin.

### Ubicación y descripción de las condiciones generales del sitio de estudio

De acuerdo al Plan Chiapas (2007-2012) la generación *per cápita* en el estado asciende a 0.83 kg/hab.-día, para el caso específico de la ciudad de Chiapa de Corzo, cabecera del municipio del mismo nombre, ubicada a escasos 15 kilómetros de la capital del estado, cuenta con una población de 35 000 habitantes de los 70 000, que componen la población total del municipio (INEGI 2005), con esa población en la cabecera se generan un promedio de 30 ton/día.<sup>[2]</sup>

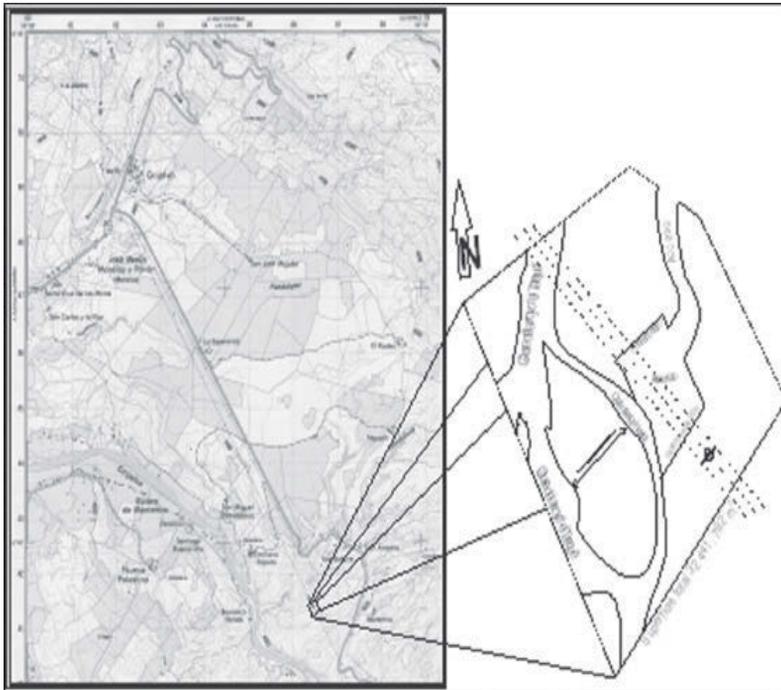


Figura 1. Localización del sitio.

El sitio de disposición final de residuos sólidos de la ciudad de Chiapa de Corzo se encuentra, aproximadamente, a 300 metros de la carretera estatal Chiapa de Corzo-Villa de Acala, el acceso se ubica en el kilómetro 7 + 950; en el extremo oriente, a 600 metros aproximadamente del ejido Emiliano Zapata 2, la ubicación geográfica del frente de trabajo del sitio de disposición final de residuos sólidos es 1842945 latitud norte y 15506044 longitud oeste, UTM (United Tecnic Mercator).

El sitio se encuentra rodeado de cuerpos de agua, intermitentes y perennes, a los pies del talud de los residuos se localiza el arroyo El Tanque, a 400 metros en dirección poniente el río Nandaburé y a 600 metros en dirección sur-poniente el río Grijalva; por último a un costado del lugar existe un canal de *escurrimientos*, que en temporada de estiaje se seca. En los sitios de disposición final de residuos, generalmente la presencia de lixiviados se debe a las aguas de lluvia que se infiltran en el cuerpo de la basura (Instituto de Ingeniería UNAM, 2006); no obstante lo anterior, no se observó la presencia de lixiviados en el arroyo El Tanque; sin embargo, se percibían olores característicos de éstos, además de fauna nociva (moscas, zancudos, mosquitos, etcétera) propios de los sitios de disposición final de residuos sólidos a "cielo abierto". Como toda obra pública o privada, además de cumplir con las disposiciones aplicables, un sitio de disposición final debe respetar todas las restricciones y servidumbre de paso, zona federal, etcétera, sin embargo en el costado del sitio, a escasos 20 metros en dirección sur-oriental, se ubica una torre que soporta la línea de conducción de energía eléctrica, de 440 KV, lo anterior, no pasa desapercibido, porque en el cotidiano operar del sitio se socavaba la base de la misma, aunado a esto no se respetó el derecho de vía federal para este tipo de infraestructura. El inicio de operaciones en el sitio data de principio del año 2005, que concuerda con el inicio de la administración 2005-2007.

### Dimensiones del sitio

El predio en donde se ubica el sitio de disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Chiapa de Corzo, es propiedad de un particular, que arrendó al municipio una porción de su predio, posee una superfi-

cie de 15 hectáreas, de las cuales, se tienen destinadas para la disposición final de los residuos 32 mil 441.72 m<sup>2</sup>, la distribución de las áreas se presenta en la tabla I.

Tabla I. Distribución de áreas del sitio de disposición final de residuos sólidos

Uso	Área en m <sup>2</sup>
Disposición de los residuos sólidos	3,304.00
Extracción de materiales pétreos	500.00
Estacionamiento de maquinaria	100.00
Sin uso	28,537.72
Total	32,441.72

## Descripción de la operación

### Horario

El horario establecido por el municipio para el ingreso de los vehículos recolectores al sitio, es de 7:00 a 15:00 hrs. Sin embargo, dependiendo de la época del año y de las necesidades de la ciudad, este horario sufría modificaciones.

La operación del sitio de disposición final de la ciudad de Chiapa de Corzo esta conformada por dos etapas:

A) Recepción de las unidades provenientes de las rutas establecidas en la ciudad:

Esta actividad consiste en que las unidades acceden al sitio y pasan por una somera inspección visual, con el objeto de evitar el ingreso de residuos no permitidos en el sitio; indicándole enseguida al operador de la unidad el lugar conveniente para descargar los residuos transportados.



Foto 1. Recepción de residuos del día.

#### B) Disposición final de los residuos sólidos:

Posterior a la descarga de los RSU en el frente de trabajo establecido, se permite el ingreso de los pepenadores para recolectar los materiales con valor monetario. Posteriormente, al final de la jornada los residuos que se encuentran aglomerados en el frente de trabajo, se dispersan y compactan con la ayuda de un tractor de tipo oruga D5, marca KOMATSU, que como mínimo, circula dos veces sobre los residuos antes de disponer una capa de aproximadamente 25 centímetros de material pétreo como cobertura final, el método de disposición final utilizado se denomina “de área”, tal como se observa en la foto 2.



Foto 2. Tractor de tipo oruga D5, marca Komatsu, para labores del sitio

### Personal, responsabilidades y funciones asignadas

El personal que realiza actividades en el sitio asciende a veintiún, de estos, cuatro son operadores de unidad de recolección, dieciséis recolectores y un operador de maquinaria.

A continuación se describen las responsabilidades y funciones de cada puesto:

#### *Operador de unidad de recolección.*

Función: Operar la unidad realizando recorridos de las rutas de recolección al sitio de disposición.

Responsabilidad: Colocar la unidad en el sitio asignado para depositar los residuos, cerciorarse de que la descarga sea total.



Foto 3. Depósito de residuos en el área asignada.

#### *Operador de maquinaria pesada*

*Función:* Operar la maquinaria, realizando actividades de excavación, empuje, acomodo y compactación de los RSU y de los materiales de cobertura en el sitio, además de realizar actividades para desmontar, excavar canales, nivelar terrenos y otras obras semejantes a las de construcción de caminos y bordos. Además, está capacitado para realizar pequeñas reparaciones a la maquina.

*Responsabilidad:* Preparar el lugar de descarga a las unidades en el frente de trabajo, para posteriormente esparcir, compactar y cubrir los residuos sólidos ingresados al sitio; mantener en óptimas condiciones la maquinaria.

#### *Recolectores*

*Función:* Destapar la unidad cuando esta cuente con lona u otro aditamento y descargar manualmente los residuos cuando sea el caso.

*Responsabilidad:* Que la unidad descargue la totalidad de los residuos trasportados.



Foto 4. Aspectos de la descarga de los residuos en el sitio

#### Ingreso de vehículos recolectores

Para el cotidiano operar en los sitios se debe contar con accesos que garanticen el ingreso de los vehículos transportadores de los residuos durante todo el año. El sitio cuenta solamente con un acceso, localizado en el entronque de la carretera estatal Chiapa de Corzo–Villa de Acala, a la altura del kilómetro 7 + 950. La distancia de la cinta asfáltica al frente de trabajo es de 300 metros, en un camino de terracería, que se encontraba en condiciones aceptables durante prácticamente todo el año para el tránsito de vehículos y personas, esto se aprecia en la foto 5.



Foto 5. Vista del acceso al sitio

### Asignación del sitio de descarga

En esta etapa, el operador de la maquinaria pesada es quien le asigna a cada vehículo el sitio donde deberán descargar sus residuos, cabe aclarar que no existía planificación en lo referente a la disposición de los mismos, la única constante es el sentido común del personal que labora en estas actividades y que en algunos casos cuentan hasta con 12 años de experiencia en estas labores.

### Disposición de residuos

Las actividades de distribución de los residuos, su compactación y la conformación del sitio, se llevan a cabo en el frente de trabajo establecido en el día. El equipo empleado se describe en maquinaria y equipo y es mostrado en las labores cotidianas en las fotos 2, 6 y 8. Conforme a la NOM 083-SEMARNAT-2003 los residuos deben ser esparcidos y compactados en capas. Lo anterior con la finalidad de eliminar huecos en la celda y ahorrar espacio dentro del sitio, mejorar sus condiciones mecánicas de estabilidad y conformación del cuerpo de basura, reduciendo los peligros de producción de incendios o explosiones (por bol-

sas de biogás), la formación de encharcamientos y deslizamientos. De igual manera ayuda a reducir el riesgo de anidación de animales como roedores. La compactación consiste en el paso repetido del equipo pesado sobre los residuos (2 veces), por el tipo de maquinaria utilizada. Se recomienda que las capas a compactar no rebasen los 0.5 m de altura antes de ser compactados, ya que a espesores mayores la eficiencia de compactación del equipo se reduce (*Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios*, 2006).

La compactación está directamente relacionada con el método de operación del SDF, para el caso del sitio, el método aplicado para la conformación del frente de trabajo es el de “área”.

Al finalizar la jornada laboral se efectuaba la cobertura de los residuos con material de cubierta, salvo que se suscitara un imprevisto como, por ejemplo, la descompostura de la maquinaria o la falta de combustible. El material utilizado para las labores de cubierta procede de un banco del mismo terreno, a escasos 40 metros de distancia del frente de trabajo, el espesor de la cobertura, tiene como promedio 25 cm.



Foto 6. Delimitación del área de trabajo y cobertura de los residuos



Foto 7. Residuos peligrosos (más de 200 filtros para aceite) en el sitio de disposición final de residuos sólidos, Chiapa de Corzo, Chiapas

## Maquinaria y equipo

La maquinaria y equipo que se utilizaba en el sitio:

Tractor 1:

- Cargador frontal marca Komatsu modelo D5 de oruga.
- Año de fabricación: 1970 modelo: 70DRP050-1B
- Estado físico: en condiciones deficientes.

Tractor 2:

- Cargador frontal, Massey Ferguson.
- Año de fabricación: 1970
- Estado físico: en condiciones aceptables.



Foto 8. Maquinaria Komatsu.

El tractor núm. 2, sólo se utilizaba cuando la otra maquina sufría algún desperfecto. El equipo descrito se rentaba y el desempeño en términos de eficiencia, no era el esperado por dos razones, la primera continuamente presentaba problemas mecánicos, y la segunda no se suministraba el combustible necesario, por parte del municipio.

### Instalaciones

En la NOM-083-SEMARNAT-2003, se categorizan a los SDF en función de la cantidad de residuos que ingresan al mismo, para el caso del sitio de acuerdo a la citada norma, el sitio de Chiapa de Corzo caería en un tipo C y las obras complementarias que deben poseer estos sitios son: *caseta de control, báscula, cerca perimetral, vestidores y servicios sanitarios, franja de amortiguamiento, drenes pluviales y otros*. En el sitio no existe ninguna de esas instalaciones. Se contaba con un cerco de alambre de púas en la totalidad del predio (15 hectáreas), sin que se delimitara el área específica para la disposición final.

### *Para la franja de amortiguamiento*

Aunque no existe un área de amortiguamiento delimitada, la disposición de los residuos se realiza al interior del predio ubicándose en una cañada, por lo que los alrededores se podrían considerar la zona de amortiguamiento, tomando en cuenta que existe cierta vegetación y por otro lado la distancia más corta con los predios vecinos desde el frente de operación del sitio es de 250 metros. Con el inicio de la administración 2005 -2007, el H. Ayuntamiento alquiló el sitio. A este sitio lo atraviesa una línea de conducción de energía eléctrica de 400 kv, y a escasos 20 m del frente de trabajo se ubica una torre de la citada, lo que representa una restricción más en la operación del sitio.

### **Volumen de residuos**

El director de Servicios Primarios del Municipio, reportó que el volumen de los residuos depositados diariamente oscilaba en el rango de las 10 a 15 toneladas, de manera general el principal origen de los residuos recibidos en el sitio, es domiciliario, seguido de los residuos de mercados, parques y jardines. No obstante, también existen otras fuentes generadoras como, por ejemplo, las plantas industriales que se encuentran en el territorio municipal con quienes el municipio tiene acuerdos firmados para la disposición de los mismos. Para estar en condiciones de hacer una buena proyección en términos de vida útil del sitio se realizó una estimación rápida de la cantidad de residuos que ingresaban por día al sitio con una pesada de los carros recolectores, que arrojó un total al día de 28 toneladas, lo que representaba una cantidad de 10 mil 220 toneladas dispuestas en el sitio hasta ese momento, además de que se utilizó el levantamiento topográfico, para calcular el volumen que ocupaban los residuos, con un total de 28 992.60 m<sup>3</sup>, y un peso volumétrico de 352.50 kg / m<sup>3</sup>.

## Evaluación del sitio con respecto a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARANAT-2003

En la evaluación cualitativa del sitio, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARANAT-2003, donde se contemplan las especificaciones para la selección de los sitios de disposición final de residuos sólidos, se enlistan las restricciones para la ubicación del sitio, en la tabla II se plasma el comparativo de las restricciones que maneja la norma con respecto del sitio de estudio.

Tabla II. Restricciones para la ubicación de sitios, comparativo con respecto del sitio.

Concepto	Norma	Sitio
6.1.1. Distancia con respecto a aeródromo o aeropuertos.	Menor a 13 Km con estudio de riesgo aviario.	Cumple
6.1.2. Áreas Naturales Protegidas.	No ubicar	Cumple
6.1.3. Distancia con respecto a la mancha urbana.	Mínimo 500 m.	Cumple
6.1.4. Marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, zonas arqueológicas, cavernas, fracturas o fallas geológicas.	No ubicar.	No Cumple
6.1.5. Zonas de inundación con periodos de retorno de 100 años.	No ubicar.	No Cumple
6.1.6. La distancia del sitio con respecto a cuerpos de aguas de caudal continuo, lagos, lagunas.	Mínimo 500 m	No Cumple
6.1.7. Distancia con respecto a cualquier pozo de extracción de agua para uso doméstico, industrial, riego y ganadero. Cuando no se pueda determinar el cono de abatimiento.	Mínimo 100 m. horizontales La distancia será menor a 500 m.	No Cumple No Cumple

Las consideraciones y criterios para determinar el cumplimiento o no de las restricciones se explican a continuación:

- Cumple con lo establecido en el numeral 6.1.1 la distancia mínima con respecto a aeródromos o aeropuertos, es mayor a 13 kilómetros, es importante hacer mención que en ese momento el aeropuerto internacional “Ángel Albino Corzo”, ubicado dentro del municipio de Chiapa de Corzo no había iniciado operaciones.
- Cumple con el numeral 6.1.2 de la NOM, ya que este sitio no se encuentra ubicado dentro de un área natural protegida, la más cercana, es el Parque Nacional “Cañón del sumidero” el cual se encuentra aproximadamente a 25 kilómetros de distancia en línea recta con dirección al norte-poniente.
- Distancia con respecto a la mancha urbana (punto 6.1.3), en este sentido, como se ilustra en puntos anteriores, el sitio se encuentra a escasos 600 metros en línea recta de la localidad Emiliano Zapata 2, en dirección al sur-oeste, por lo tanto, el sitio cumple con esta restricción, tal como se puede apreciar en la figura 1.
- De acuerdo a las condiciones topográficas del sitio, éste se encuentra enclavado en una zona de recarga de acuíferos por lo tanto no cumple con lo establecido en el punto 6.1.4.
- No se poseen datos precisos en cuanto a la zona de inundación, sin embargo, por la conformación natural del sitio se puede decir que las zonas bajas del predio pueden sufrir inundaciones, por lo tanto el sitio no cumple con el punto 6.1.5. de la NOM.
- La distancia del sitio con respecto a cuerpos de aguas de caudal continuo, es de 40 m como se aprecia en la figura 1, por tanto el sitio no cumple con lo establecido en el punto 6.1.6.
- Si bien no se detectaron pozos en los alrededores, si se observó un afloramiento de agua el cual, se ubica aproximadamente a 200 metros aguas arriba, al norte el sitio, por lo que no cumple con lo establecido en el numeral 6.1.7.

## Diseño y conformación del sitio

Uno de los principales subproductos que se generan en cualquier sitio donde se dispongan residuos con alto contenido de materia orgánica en ausencia de aire, es el biogás, producto de una serie de complicadas reacciones bioquímicas, conocidas como digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos, es una mezcla de gases en cuya composición se reconocen un gran número de gases trazas, como: monóxido de carbono, nitrógeno, oxígeno, compuestos orgánicos, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y saturado de agua, además dos principales: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), estos últimos, son prácticamente el 100% del total. [8] [18]

El biogás es una mezcla de gases que típicamente presenta los siguientes componentes:

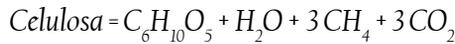
Tabla III. Componentes típicos encontrados en biogás de los rellenos sanitarios

Componente	Porcentaje (Base volumen seco)
Metano	45 -60
Bióxido de carbono	40 -60
Nitrógeno	2 - 5
Oxígeno	0.1 - 1
Sulfuros, disulfuros y mercaptano	0 - 1
Amoníaco	0.1 - 1
Hidrógeno	0 - 0.2
Monóxido de carbono	0 - 0.2
Constituyentes trazas	0.01 - 0.6

## Control del biogás

Cualquier lugar donde los residuos domiciliarios se encuentran siendo depositados en grandes cantidades, es en principio, un bioreactor que genera gases y líquidos percolados, y su producción dependerá de una serie de variables relacionadas a las características de los residuos, lu-

gar de disposición, forma de disposición, clima, etc. Tal y como sucede en el sitio de disposición final de residuos sólidos de la ciudad de Chiapa de Corzo y que se abordara más adelante. En un relleno sanitario, los componentes orgánicos de la basura se degradan anaeróbicamente a diferentes tasas. Por ejemplo, los alimentos se descomponen más rápido que los productos de papel. Aunque el cuero, la goma y algunos plásticos también materia orgánica, usualmente se resisten a la biodegradación. Algunos materiales lignocelulósicos, plásticos, textiles y otras materias orgánicas son muy resistentes a la descomposición vía organismos anaeróbicos. A pesar de la falta de uniformidad de la descomposición anaeróbica, se han desarrollado algunas fórmulas empíricas para predecir la cantidad de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que se genera de la descomposición de la celulosa y otros materiales orgánicos. Por ejemplo, algunos autores han utilizado la relación:



La ecuación 1, indica que se producen cantidades iguales de metano y dióxido de carbono, sin embargo, como el dióxido de carbono es soluble en agua, y forma parte de los líquidos percolados en cualquier relleno sanitario o sitio de disposición final, se tiene que la cantidad de dióxido de carbono es menor. El período de tiempo que se requiere para que la basura doméstica se degrade y se produzca biogás dependerá de diversas variables, entre ellas el número de microorganismos presentes en los residuos, nutrientes, temperatura, acidez, pH, contenido de humedad, cobertura y densidad de compactación, entre otros.

## Composición de la basura

A mayor cantidad de residuos alimenticios en la basura, más rápido se generará biogás. El papel y materias orgánicas similares se degradan a una tasa menor y se resisten a la biodegradación.

## Contenido de humedad

El contenido de humedad es uno de los parámetros más determinantes en un relleno sanitario. Si éste aumenta levemente se acelera el proceso de generación de gas considerablemente. De ahí que en los rellenos sanitarios se recomienda recircular los líquidos percolados para adicionar humedad a la basura, o incluso agregar agua, disminuyendo al mismo tiempo los impactos ambientales de su descarga y los costos de tratamiento. El clima es uno de los elementos determinantes del contenido de humedad en un relleno, y su efecto depende en alguna medida de las características de la cobertura y del grado de impermeabilidad de la base del relleno y los pretiles.

## Nutrientes

Aunque los organismos anaeróbicos se desarrollan naturalmente entre los residuos, estos mismos también se encuentran en las heces humanas y de animales, por lo que el proceso de generación de biogás se acelera cuando en un relleno también se disponen los lodos de los sistemas de tratamiento de aguas servidas. Además esto agrega humedad.

## Mezcla

En un relleno sanitario o sitio de disposición final de residuos sólidos, es necesario contar con un régimen de mezcla lo más homogénea posible que permita poner en contacto los organismos aneróbicos con su fuente alimenticia. Lo mismo hace la recirculación de líquidos percolados.

## Cobertura

La cobertura periódica y sistemática de los residuos, evita que entren en contacto con el aire permitiendo la generación de condiciones anaeróbicas que la degradan y producen biogás. Mientras más rápido se encuentren estas condiciones, más rápido comienza a degradarse la fracción orgánica de los residuos.

## Compactación

La compactación de la basura genera el contacto con los nutrientes y la humedad, y tiende a expulsar el oxígeno presente, lo que a su vez tiende a reducir el tiempo en que se inicia la biodegradación anaeróbica, explicada con anterioridad. Algunos autores, <sup>[4]</sup> <sup>[3]</sup> sugieren que en los sitios o basureros a cielo abierto en los cuales los residuos no son compactados ni cubiertos, ocurre una baja descomposición anaeróbica. En los casos donde la descomposición de la basura ocurre en condiciones aeróbicas se generaría en su mayor parte  $\text{CO}_2$ , agua y prácticamente nada de metano.

Tras años de experiencia práctica y de investigaciones se ha logrado alcanzar cierto nivel de entendimiento acerca de los procesos de degradación anaeróbica de la basura y de la producción de biogás y su composición. En general la biodegradación de la basura sigue un patrón de cinco etapas:

### Etapa 1

Esta etapa es una aeróbica, debido a la cantidad de aire que se encuentra atrapado en los poros de los residuos y comienza inmediatamente después que los residuos son depositados en el sitio, durante la cual las sustancias de fácil biodegradación, comienzan a desdoblarse a partir de su contacto con el oxígeno del aire y el trabajo de las bacterias presentes. Este es un proceso de compostaje donde se produce  $\text{CO}_2$  y la temperatura de los residuos comienza a elevarse. En general es una etapa relativamente corta.

### Etapa 2

Esta etapa también se lleva a cabo en condiciones anaerobias, aquí ocurre un proceso de fermentación donde se generan ácidos en los líquidos percolados y se produce una caída importante en el pH; En estas condiciones el biogás está compuesto básicamente de  $\text{CO}_2$  debido a que es una reacción predominantemente aerobia

### Etapa 3

En esta etapa se han establecido condiciones anaeróbicas y la actividad microbiana propensa a condiciones metanogénicas. El biogás empieza a contener cantidades crecientes de metano y la concentración de  $\text{CO}_2$  comienza a decrecer. En la medida que los ácidos orgánicos se convierten en biogás, el pH de los líquidos percolados comienza a aumentar, su carga orgánica disminuye y el contenido de amoníaco aumenta.

### Etapa 4

Esta etapa es conocida como la fase de estabilidad metanogénica. Es también la fase anaeróbica donde la producción de metano alcanza su más alto nivel, con una concentración de metano estable en el rango desde 40 hasta 60 por volumen de biogás. Los ácidos orgánicos en los líquidos percolados se descomponen inmediatamente en biogás. La carga orgánica de los percolados es baja y consiste principalmente de componentes orgánicos de alta biodegradabilidad. Como las condiciones son eminentemente anaeróbicas los percolados tendrán una alta concentración de amoníaco.

### Etapa 5

Durante esta etapa de estabilización, la producción de metano comenzará a disminuir. Esta condición ocurrirá en plazos más cortos en rellenos de baja profundidad que en rellenos más profundos, donde se alcanza después de décadas.

Las etapas 1 y 2 pueden tener una duración de algunas semanas hasta dos o más años. En general, una mayor temperatura ambiental tenderá a acelerar los procesos de biodegradación. Altas tasas de compactación y acumulación de la basura en capas delgadas también tendrán el mismo efecto. La acumulación de la basura en celdas pequeñas también acelerará las reacciones tendiendo a reducir la duración de estas etapas. Las etapas 3 y 4, en tanto, pueden llegar a durar aproximadamente 5 años en su nivel más elevado para luego decaer progresivamente, de-

pendiendo de las condiciones de operación del relleno y en particular del contenido de humedad de la basura. Como la humedad tiende a acelerar las bioreacciones que ocurren en la basura, las precipitaciones tenderán a reducir la duración de estas etapas y a aumentar la generación de biogás en el tiempo. La recirculación de los líquidos percolados hacia las celdas de disposición contribuye al contenido de humedad de la basura y a acelerar las reacciones. La etapa 5 del ciclo de vida de un relleno sanitario dependerá en gran parte de las condiciones de operación desarrolladas desde un principio en un relleno. Sin embargo, puede tomar décadas e incluso siglos para que la basura depositada en un relleno finalmente se estabilice.

## Rendimiento

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica ocurre en ausencia de oxígeno. El metano y el  $\text{CO}_2$  son los principales constituyentes del biogás y se producen durante la descomposición anaeróbica de la celulosa y las proteínas en la basura de los rellenos. Además de los gases nombrados, en los rellenos también se genera una pequeña proporción de compuestos orgánicos no metanogénicos. Estos compuestos incluyen contaminantes atmosféricos peligrosos y compuestos orgánicos volátiles (COV).

De acuerdo a la bibliografía reportada, la cantidad de biogás que se genera de una tonelada de carbono biodegradable corresponde a mil 868 metros cúbicos normales. En países industrializados, la cantidad teórica es de  $370 \text{ Nm}^3$  de biogás por cada tonelada de basura depositada. Sin embargo, en general, la evidencia empírica en los países desarrollados ha demostrado que la biodegradación ocurre en forma dispareja e imperfecta, por lo que se considera que la generación de biogás se aproximaría más a los  $200 \text{ Nm}^3$  por cada tonelada de basura depositada que a la cifra anterior.

Por otro lado, el programa de generación de biogás de rellenos <sup>[9]</sup> (*Landfill Methane Outreach Program*) de la agencia de protección al ambiente (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos recomienda varios métodos para estimar con mayor o menor precisión la generación de biogás en un relleno sanitario. El “Método A: aproximación Simple” es, como su nombre lo indica una aproximación basada

en la cantidad de basura depositada en un relleno. El procedimiento se basa en una razón empírica entre cantidad de basura y flujo de biogás observada en los muchos y variados proyectos de recuperación de biogás de rellenos sanitarios estudiados por este programa. Es un reflejo de las características del relleno promedio y puede no representar con precisión las distintas características de la basura, el clima y otras variables que pueden estar presentes en un relleno específico. En general la EPA recomienda utilizar esta regla sólo como un proceso preliminar para determinar si es necesario utilizar métodos más complejos. Esta regla simple de aproximación sólo requiere conocimientos acerca de la cantidad de basura depositada en el relleno de interés y se nutre del juicio y experiencia de expertos de la industria, que han establecido que la generación de biogás varía entre 0,05 y 0,20 pies cúbicos (ft<sup>3</sup>) al año por cada libra (lb) de basura. Lo que se plasma en la ecuación 2:

$$\begin{aligned} \text{Generación anual de biogás (Ft}^3\text{)} &= \\ 0,10 \text{ Ft}^3/\text{lb} \times 2000 \text{ lb/ton} \times \text{cantidad basura depositada (ton)} \end{aligned}$$

Para el caso particular del sitio de Chiapa de Corzo por tratarse de un sitio con escasa vida para esa época (doce meses), la estimación del volumen generado de biogás de acuerdo a la ecuación 2 es:

$$\begin{aligned} \text{Generación anual} &= 0,10 \text{ Ft}^3/\text{lb} \times 2000 \text{ lb/ton} \times 10\,220 \text{ ton/Año} \\ &= 2\,044\,000 \text{ Ft}^3/\text{Año} \\ &= 57\,879.63 \text{ m}^3/\text{Año} \end{aligned}$$

Para tener un control del biogás, se propuso un sistema pasivo a base de un pozo de venteo vertical en el centro del sitio, que liberará los gases generados por la descomposición de la materia orgánica. [17]

## Descripción del pozo de venteo

La implementación del pozo de venteo tiene la función de liberar los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica presente en la basura; a continuación se describe el proceso:

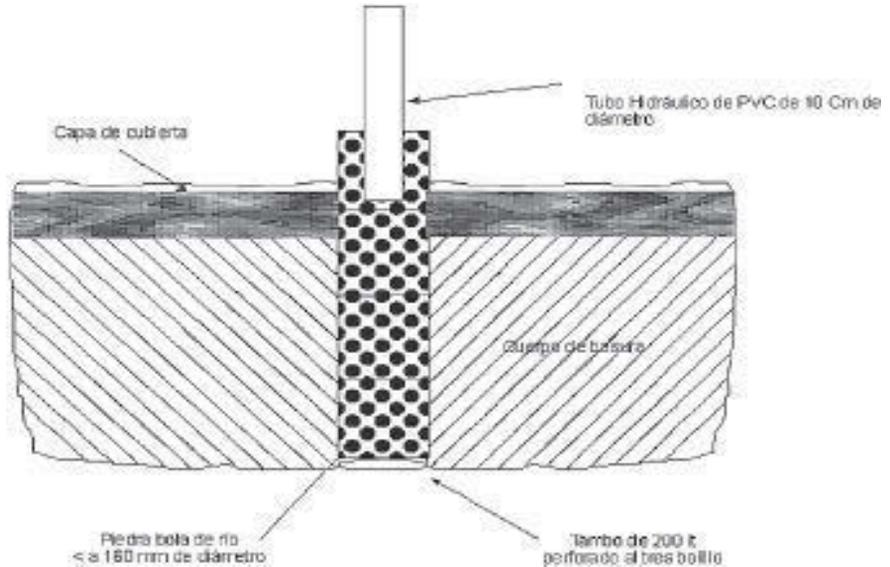


Figura 2. Propuesta de pozo de venteo para biogás

### Planteamiento del sistema

Para el control de la lixiviación lateral se propuso un sistema que recuperara la mayor cantidad de líquidos producidos. En la zona correspondiente al pie de talud donde se observa la posibilidad de escurrimiento de lixiviado, se procede a excavar, en forma paralelamente al costado, una trinchera cuyas dimensiones son 0.5 m de ancho por 0.5 m de profundidad, misma que será impermeabilizada en su base y en las paredes, con una altura de 0.20 m con la finalidad de facilitar el escurrimiento de los lixiviados, en el centro del dren se coloca tubería de PVC de 4 pulgadas, el propósito de esta es evitar la colmatación del dren (ver figuras 3 y 4). Los lixiviados recolectados se dirigen a un cárcamo, estructura de captación cuyas dimensiones son de 3.0 metros de largo x 3.0 m de ancho x 1 m de profundidad; este depósito de captación de lixiviados deberá ser construido a base de concreto  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  armado con varilla de  $3/8''$  de pulgada de diámetro, construido con muros de tabique

rojo recocido y aplanado pulido interior con cemento-arena, así como una tapa de registro, la cual deberá llevar en su interior dos tuberías de PVC o polietileno de alta densidad del mismo diámetro, la primera para el monitoreo del nivel de captación, y la segunda, para la extracción cuando este sea reinyectado al interior del cuerpo de los residuos (figuras 2, 3 y 4 ). La manera de reinyectar los lixiviados al cuerpo de los residuos en el sitio es bombeándolos desde el cárcamo de captación para ser enviados directamente a las plataformas.

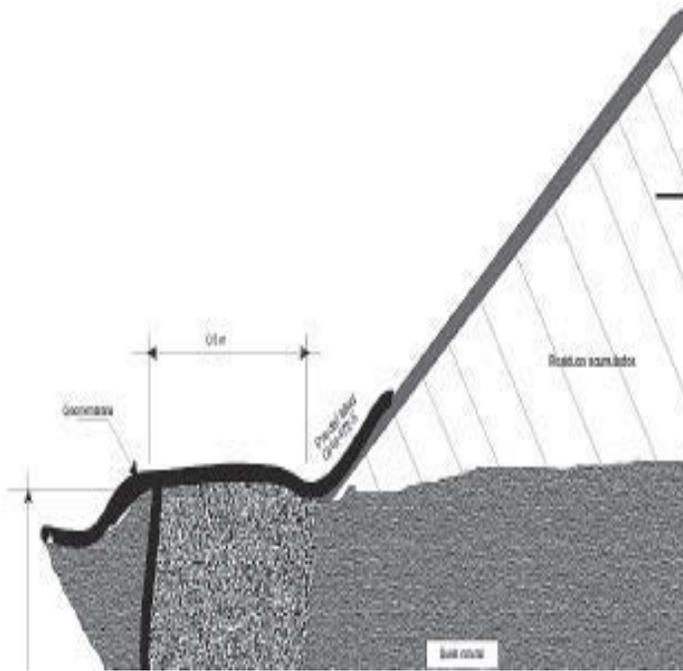


Figura 3. Corte lateral de sistema propuesta para captación y control de lixiviados en el sitio.

La zanja de recolección de lixiviado deberá ser construida de manera tal que se minimice en lo posible la captación de líquido resultado de la precipitación pluvial directa, y por otra parte que se maximice la captación de líquido percolado como resultado de la migración la-

teral de este a través de los taludes conformados en el sitio. La manera de realizar lo anterior consiste en colocar dentro de la zanja colectora previamente impermeabilizada con geomembrana de polietileno de alta densidad de 1.5 mm de espesor, material granular (grava de río) de tamaño promedio de dos pulgadas, el cual deberá ser colocado como se muestra en la figura 3, adicionalmente deberá colocarse a manera de cubierta otra capa impermeable de geomembrana con las mismas características que la anterior y posteriormente cubrirla con material de suelo con la finalidad de evitar el ingreso directo del agua pluvial al interior de la trinchera colectora.

El ingreso del lixiviado hacia la zanja colectora será a través del material granular colocado al pie del talud del tiradero.

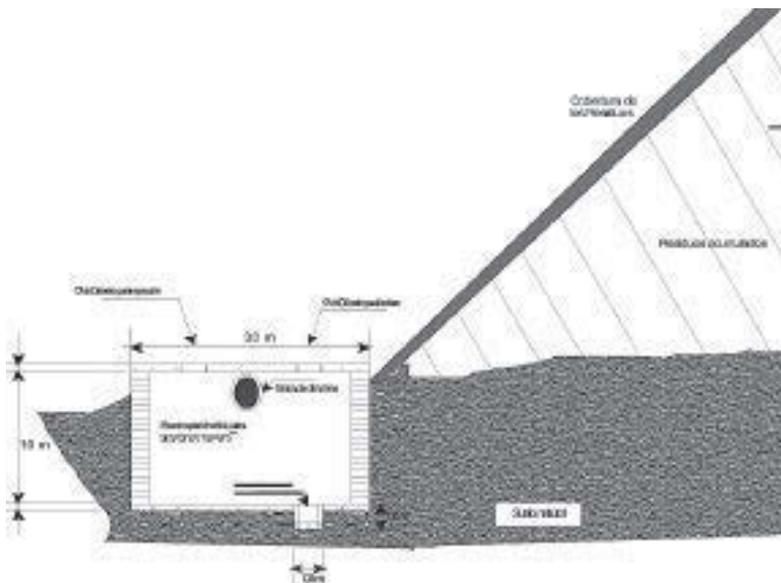


Figura 4. Corte lateral del cárcamo de captación de lixiviados del sistema propuesta.

Para estar en condiciones de proponer soluciones a la problemática detectada además de contar con elementos técnicos en la toma de decisiones y como parte de las medidas adoptadas, se realizó un levantamiento

tamiento topográfico para calcular el volumen de los residuos acumulados, determinar el peso volumétrico y la pendiente del terreno y así establecer las adecuaciones necesarias; las curvas de nivel se colocaron a medio metro de distancia entre ellas.

Por la relativamente poca altura del talud (17.50 m), por seguridad se propuso la construcción de dos taludes, con proporción de (3:1) para asegurar el comportamiento estable de los residuos acumulados.

La propuesta generada y los trabajos emergentes, se enfocaron, por un lado garantizar la estabilización del talud de los residuos y por otra la adecuada disposición final de los residuos, en la figura 5 a y b se presenta el perfil propuesto para la estabilización del talud.

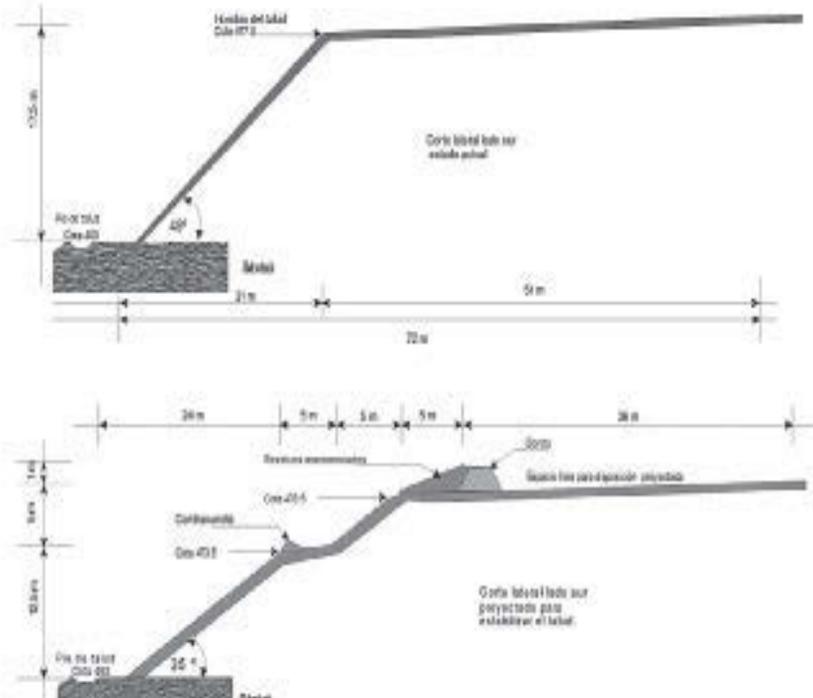


Figura 5a. Perfil antes de los trabajos.

Figura 5b. Perfil propuesto.

## Conformación del sitio

En el sitio se contaba con un solo frente de trabajo, de aproximadamente 56 m de longitud, en donde al final de la plataforma se conformó un talud por la acumulación de los residuos, con un ángulo de aproximadamente  $48^\circ$  de inclinación respecto a la horizontal, lo que representaba un riesgo de obstruir el cause del arrollo *El Tanque*, si se desplomaba.

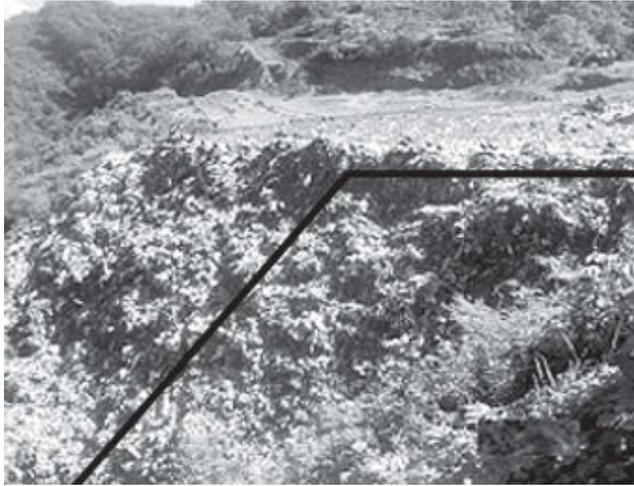


Foto 9. Talud con una pendiente de aproximadamente  $48^\circ$ .

Los trabajos de conformación del sitio inician con la apertura de una berma, con la movilización de alrededor de 2000 toneladas de residuos y material de cobertura, que se reacomodó en la cresta de la primera plataforma, se construyó un bordo donde se inicia la segunda plataforma. En la figura 6, se muestra una vista general sobre la conformación final del sitio, incluyendo las plataformas a utilizar.

En la fotografía 10, se observa el avance de los trabajos, inicialmente la apertura de la berma, reacomodo de residuos e inicio de la segunda plataforma.



Foto 10. Trabajos de conformación del sitio.

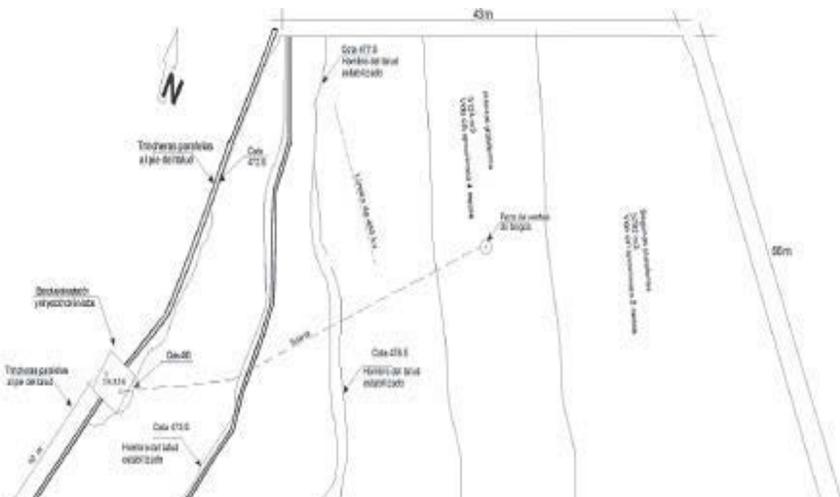


Figura 6. Vista superior, conformación propuesta para el sitio.

## Conclusiones y recomendaciones

Aún hay mucho que hacer en materia de manejo integral de los residuos sólidos y específicamente en la disposición final, cabe señalar que

para finales del 2008 en 91 municipios del estado se requería clausurar los sitios en donde disponen sus residuos <sup>[6]</sup>, por los problemas generados al ambiente y el riesgo que representan a la salud pública, dentro de estos municipios se encuentra Chiapa de Corzo. Paralelamente a la clausura, se debe llevar a cabo el emplazamiento de un relleno sanitario que cumpla con todas las especificaciones para garantizar la correcta disposición final de los residuos, evitar contaminación al medio y proteger la salud pública.

Por otra parte el municipio de Chiapa de Corzo no cuenta con los elementos técnicos ni económicos para enfrentar esta problemática, y se considera que existe un reto mayúsculo en lo relacionado a la educación ambiental ya que son de importancia sobresaliente las labores de sensibilización dirigidas a los tomadores de decisiones en los diversos niveles gubernamentales, a la población, a los estudiantes de todos niveles, así como a los servidores públicos encargados de las labores de recolección transporte y disposición final de los residuos. Por otro lado es impostergable trabajar en el sentido de crear leyes más coercitivas en materia ambiental y por supuesto la aplicación de las mismas, en todos los niveles gubernamentales. Finalmente se sugiere que a nivel local se realice la gestión para la obtención de recursos, dirigidos a realizar las obras de clausura, construcción del relleno sanitario, banda de segregación de materiales, sistemas de tratamiento, flotillas de camiones recolectores, maquinaria pesada para operación del rellenos, la propia operación del relleno, etc.

## Bibliografía

- [1] Agenda estadística, Chiapas 2001. Gobierno del Estado de Chiapas.
- [2] Alvarado, Centeno Humberto, 2009, *Estudio de generación y caracterización de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en la cabecera municipal de Chiapa de Corzo, Chiapas.*
- [3] Bitrán y Asociados, 2003, *Estudio de políticas de abatimiento de gas de efecto invernadero y desarrollo económico: sinergias y desafíos en el sector de los rellenos sanitarios en el caso de Chile.* Economía de los recursos naturales y el medio ambiente. Chile.
- [4] S.a., Eastern Research Group, Inc., 2001, "Emission Inventory Improvement Program", Volume III, Chapter 15, EPA, s.f.
- [5] INEGI 2001, *CENSO estadístico 2001*
- [6] IHNE 2008, *Situación de los sitios de disposición final de residuos sólidos en Chiapas*, tercer ciclo de seminarios, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, no publicado.
- [7] Instituto de Historia Natural y Ecología del Estado de Chiapas, Secretaría de Salubridad y Asistencia, Secretaría de Turismo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2003, *Manual de manejo adecuado de los residuos sólidos municipales*, México.

- [8] Instituto de Ingeniería UNAM, 2006, Manejo de lixiviados y biogás generados en un Relleno sanitario (generación, control, tratamiento y aprovechamiento)
- [9] EPA, *Landfill Methane Outreach Program*, 1996.
- [10] Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos, 2003.
- [11] NOM-083-SEMARNAT-1996 “Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales”
- [12] NOM- 083 – SEMARNAT – 2003
- [13] NOM-084-SEMARNAT-1994 “Que establece los requisitos para el diseño de un rellenos y la construcción de sus obras complementarias”.
- [14] Gobierno del estado, *Plan de Desarrollo Chiapas Solidario 2007-2012*, Talleres Gráficos, 2007.
- [15] Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL 2001, *Minimización y Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos*, primera reedición. México.
- [16] Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL 2007, Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. *Rellenos sanitarios*. México D. F.
- [17] Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1999. Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos.
- [18] Tchobanoglous G; Thaisen H, Vigil S., 1997, *Gestión integral de residuos sólidos*, Editorial McGraw hill Vol. I. pág. 130, 430

- [19] Volke-Sepúlveda, T. y J. A. Velasco-Trejo, 2002, *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- [20] Hernández Barrios C., Heredia Cantillana P. y Wehenpohl G., 2006. *Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios*, tercera edición, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – GTZ agencia de cooperación técnica Alemana, México. pág. 30.

