

## SANEAMIENTO DEL TIRADERO DE LA CIUDAD DE OAXACA DE JUÁREZ

Pedro A. López Garrido\*, Jorge Sánchez Gómez\*, Saúl L. Ramírez Bautista\*

\*Sistemas de Ingeniería y Control Ambiental S.A. de C.V. Independencia 6A Barrio San Miguel, Tlalixtac de Cabrera, Oax. C.P. 68270 Tel. 01(951)517 62 73. [palg@prodigy.net.mx](mailto:palg@prodigy.net.mx); [sanjorge53@yahoo.com.mx](mailto:sanjorge53@yahoo.com.mx); [famdarosa@prodigy.net.mx](mailto:famdarosa@prodigy.net.mx)

### RESUMEN

El tiradero de la Ciudad de Oaxaca se localiza en el Municipio de Villa de Zaachila, cuenta con un área de 17.08 ha e inició sus operaciones hace 24 años. Atiende a la Zona Conurbada de la Ciudad de Oaxaca y recibe aproximadamente 650 Ton / día de residuos. Aparentemente se localiza en una zona geológicamente vulnerable debido a la presencia de fallas y socialmente conflictiva al haber quedado rodeado por asentamientos humanos cuya salud está en riesgo; razón por la cual el Gobierno del Estado a través del Instituto Estatal de Ecología analiza la posibilidad de cerrarlo definitivamente. En este trabajo se presenta una propuesta de saneamiento, la cual, a partir de estudios de topografía, geofísica, mecánica de suelos, aforo de corrientes y análisis de laboratorio realizados expofeso con este fin, establece los criterios y define las características de la infraestructura necesaria para sanear el sitio y en su caso cerrarlo o incrementar su vida útil.

### SUMARY

Oaxaca City's dump is located at Villa of Zaachila Municipality, it has 17.08 has as area and began operating 24 years ago. It attends Metropolitan Zone of Oaxaca City and roughly receives 650 Ton/d of solid wastes. It looks the dump site is in a vulnerable geological zone due to fails and with social conflicts due to country houses around it, getting health people on risk . Because of this the Ecology State Institute of Oaxaca is thinking about close it. Here, a drain proposal is presented which is based on topography, geophysical and soil mechanics studies, laboratory analysis and monitoring works; to establish criteria and characteristics of necessary facilities to drain the dump and to close it or to use it as a sanitary landfill for some years more.

### PALABRAS CLAVE

Residuos sólidos, saneamiento, relleno sanitario

### INTRODUCCIÓN

El tiradero de la ciudad de Oaxaca se localiza hacia el sureste de la Ciudad Capital, en el kilómetro 15 de la carretera Federal 175 Oaxaca – Puerto Ángel, entre las coordenadas 16°55'11'' y 16°55'29'' latitud norte y 96°41'18'' y 96°41'01'', en el Municipio de Villa de Zaachila.

Este tiradero cuenta con un área de 17.08 ha e inició sus operaciones hace 24 años, en 1981. Desde entonces, atiende a la Zona Conurbada de la Ciudad de Oaxaca (ZCCO) actualmente integrada por 18 Municipios incluyendo la capital del estado, quienes ingresan aproximadamente 650 Ton /día.

Adicionalmente a la problemática social y ambiental que la operación de este servicio implica; en forma especial cabe resaltar el hecho de que aparentemente el tiradero se localiza en una zona geológicamente vulnerable (Morales, 1995) y socialmente conflictiva al encontrarse físicamente en territorio del Municipio de Zaachila pero ser propiedad y estar operado por el Municipio de Oaxaca de Juárez, Oax., quien tiene a su cargo las medidas de control administrativas necesarias para realizar el cobro a los Municipios restantes por derecho de uso del tiradero.

Otro problema especial lo constituyen los asentamientos humanos que colindan en los límites norte, suroeste y oeste que no existían hace 20 años y cuyas fuentes de abastecimiento de agua pudieran estar afectadas por los escurrimiento de lixiviados hacia las partes bajas, sobre todo considerando la geología del lugar. Por otro lado, las presiones de estos asentamientos hacia las autoridades municipales y estatales incluyen el cierre del tiradero con los consecuentes problemas en la Ciudad de Oaxaca. En las figuras 1 y 2 se muestran panorámicas de estas situaciones.



Figura 1.- Vista panorámica del lindero poniente en 2005. La casa rosa con techo de teja es la caseta de vigilancia del acceso al tiradero.



Figura 2.- Vista panorámica del lindero poniente en 1980. La casa rosa con techo de teja es la caseta de vigilancia del acceso al tiradero.

De los estudios realizados en el tiradero a fin de evaluar y minimizar los impactos ambientales, destacan el desarrollado por Morales (1995), el Sistema Integral de Manejo y Aprovechamiento de Residuos Sólidos (SIMARS) desarrollado por Thesis Antares Consulting para el H. Ayuntamiento de Oaxaca (2002) y el que actualmente desarrolla el CIIDIR (2004).

En el primer caso el objetivo fue determinar y describir las posibles afectaciones al ambiente y hacer recomendaciones sobre como manejar los residuos. La principal es que debe prohibirse la operación de un relleno sanitario permanente.

En el caso del SIMARS (2002), se hacen recomendaciones muy generales sobre el tipo de tratamiento de lixiviados para un gasto que, basado en un balance de agua, arroja un influente de  $4 \text{ L s}^{-1}$ . Es de mencionarse que los valores de precipitación pluvial usados en el balance de agua están muy por arriba de los valores en la zona y existen errores en las operaciones.

En el caso del biogás, el balance estequiométrico realizado arroja valores que según los autores son muy bajos y no se requiere de ninguna estructura para captarlos. Sin embargo, los valores de las constantes usadas en el balance son teóricos y el valor resultante no es bajo de acuerdo a otros autores (Tchobanoglous, 1977).

Dentro de los planes que actualmente desarrolla el Gobierno del Estado, a través del Instituto Estatal de Ecología de Oaxaca, se incluye un Programa de Gestión Integral para el Manejo Sustentable de los Residuos Sólidos Urbanos de la Zona Conurbada de la Ciudad de Oaxaca que contempla el saneamiento y posible cierre del actual tiradero. Sin embargo, es necesario contar con los elementos técnicos necesarios para garantizarlo.

En este trabajo se presenta una propuesta de saneamiento, la cual, a partir de estudios de topografía, geofísica, mecánica de suelos, aforo de corrientes y análisis de laboratorio realizados exprofeso con este fin, establece los criterios y define las características de la infraestructura necesaria para sanear el sitio y en su caso cerrarlo o incrementar su vida útil.

## METODOLOGÍA

La metodología seguida consistió en analizar la información documental disponible sobre el tiradero para posteriormente realizar recorridos en campo, aplicar encuestas a encargados, operadores y pepenadores y definir la forma como realizar los estudios de campo.

Se realizó un levantamiento topográfico utilizando un equipo de estación total marca Trimble, serie 3303, apoyado con posicionadores satelitales Marca Magellan Explorist 200. En planimetría se ubicaron los linderos norte y poniente siguiendo la cerca perimetral existente y en los linderos sur y oriente se incrementó la extensión del levantamiento a fin de incorporar un escurrimiento natural con el cual colinda el sitio. Se ubicaron los vértices del terreno, los caminos internos, se calcularon las distancias entre ellos y se calculó el área correspondiente. En la altimetría, se configuraron curvas de nivel a cada metro señalándolas a cada 5 metros.

Con el objetivo de conocer los espesores de basura en el sitio, la conformación del contacto basura suelo o roca, la conformación de la geología debajo de la basura, la posible presencia de acuíferos y la posible trayectoria de los lixiviados, se realizó un estudio de geofísica que incluyó la descripción de la geología del sitio, así como 8 sondeos eléctricos verticales (SEV's) utilizando el método de Resistividad Eléctrica con arreglo Schlumberger, usando un Resistivímetro Marca Visión Modelo 270 con capacidad para inyectar corriente hasta 500 m de profundidad y 6 sondeos de tipo electromagnético (SEM) utilizando un equipo Wadi VLF Instruments a fin de detallar el modelo geológico a menor profundidad.

El software utilizado fue el Resixp para las lecturas provenientes de los SEV's y para las provenientes de los SEM's fue el Ramag. La configuración de los sondeos se estableció de acuerdo a las características geológicas y topográficas del sitio. En la figura 3 se muestra parte de los estudios.

A partir de la interpretación de estos resultados, se establecieron 6 secciones geoelectricas y 6 electromagnéticas a fin de definir las profundidades de interés.



Figura 3.- Sondeo electromagnético en el límite sur del tiradero.

Por otro lado, se hizo un muestreo de suelos en el banco de material de cubierta actualmente utilizado en el tiradero y localizado en el costado poniente del sitio. A fin de verificar las características del material y con ello evaluar el potencial de uso como cubierta, dimensionar el espesor requerido en su caso y determinar la lamina de percolación para evaluar el gasto de lixiviados, se procesó en laboratorio una muestra alterada. En la figura 4 se presenta la excavación del pozo.



Figura 4.- Excavación de pozo a cielo abierto para tomar una muestra alterada.

Con el propósito de conocer la cantidad de agua que escurre sobre la superficie del tiradero, dada como diferencia de la precipitación y la evaporación, se realizó un balance de agua. El escurrimiento se calculó con dos fines, conocer el agua que escurrirá y que por tanto deberá ser encausada y conocer el espesor de suelo necesario para minimizar la percolación y por tanto la generación de lixiviado (Sánchez et al, 2003).

Para efectuar el balance hidrológico se emplearon datos de la estación climatológica más cercana al sitio en estudio, y corresponde a San Bartolo Coyotepec, Oax., operada por la Comisión Nacional del Agua (CNA), y que se encuentra ubicada a 4.1 km del tiradero municipal, en las coordenadas geográficas Latitud N-16°.97 y Longitud E-96°.82.

El registro histórico de temperatura y precipitación empleado comprende los años 1962-1993, tomados de la base de datos ERIC-2 del IMTA. Para la aplicación del balance hidrológico se determinaron los parámetros de evapotranspiración y escurrimiento.

Tanto la evaporación potencial corregida como el balance hídrico se determinaron mediante el método edafológico de Thornthwaite (Campos, 1992) y el coeficiente de escurrimiento directo se determinó en campo.

Del volumen de residuos depositados en el tiradero, calculado con base en los estudios de geofísica; y de su composición química, determinada en laboratorio a partir de muestras tomadas en el sitio a profundidades de aproximadamente 20 m., se determinó la producción potencial de biogás mediante un balance estequiométrico, para establecer la necesidad de un sistema de recolección de biogás y en consecuencia contar con datos para su diseño, así como la necesidad

de humedad de los residuos, a fin de acelerar su estabilización utilizando los residuos confinados como biorreactor (Afferden, et al; 2002).

Con base en el valor de percolación determinado en el balance de agua y la superficie ocupada por los residuos, se calculó el gasto de lixiviado potencial y por otro lado, se realizaron aforos y muestreos para análisis en laboratorio la corriente que se genera en el límite sur del tiradero. De acuerdo con estos resultados y las experiencias de otros autores (Cintra et al, 2004; Reinhart y All Yousfi;1996), se estableció una alternativa de acondicionamiento de lixiviados que más que tratarlos, los aproveche para inyectar biomasa a los residuos confinados.

## RESULTADOS

De acuerdo con los datos del estudio de topografía, se estima que la vida útil del tiradero podría prolongarse por lo menos en 4 años. Sin embargo, existen posibilidades de incrementarla en un 100% si se extienden sus límites hacia el costado oriente. Obviamente esta situación debe darse considerando su transformación a relleno sanitario con las recomendaciones de esta propuesta.

La geología del sitio está constituida por una alternancia de lutita-arenisca, con suelos denominados migajón arenoso, migajón arcilloso y arcilloso. No obstante que la zona presenta fallas o fracturas, las existentes en el sitio son fracturas de juntas, a lo largo de las cuales no ha habido movimiento perceptible y se caracterizadas por no presentar conexión.

El basamento geológico (roca impermeable) se encuentra a profundidades que varían de 15 a 78 m, tal como se muestra en la Tabla 1. Entre el basamento geológico y la capa de residuos se encuentra una capa de roca alterada cuyo espesor varía de 0 a 64 m. El espesor de la capa de residuos varía de 6 a 45 m. En la Figura 5, se presenta en forma esquemática la interpretación de una sección geoelectrica. Respecto a la presencia de acuíferos, no existen en el sitio. En el extremo norte existe una barrera natural con ehado y rumbo hacia un arroyo que se encuentra fuera del sitio, aproximadamente a 300 m.

Tabla 1.- Variación de espesores en metros por sección geoelectrica

SGE	Espesor de residuos	Profundidad a Roca Sana	Profundidad de Roca alterada
1	15-45	15-45	0-0
2	31-45	31-45	0-0
3	31-35	31-35	0-0
4	32-50	38-60	6-10 m
5	13-32	39-40	8-26 m
6	32-64	37-78	5-14 m

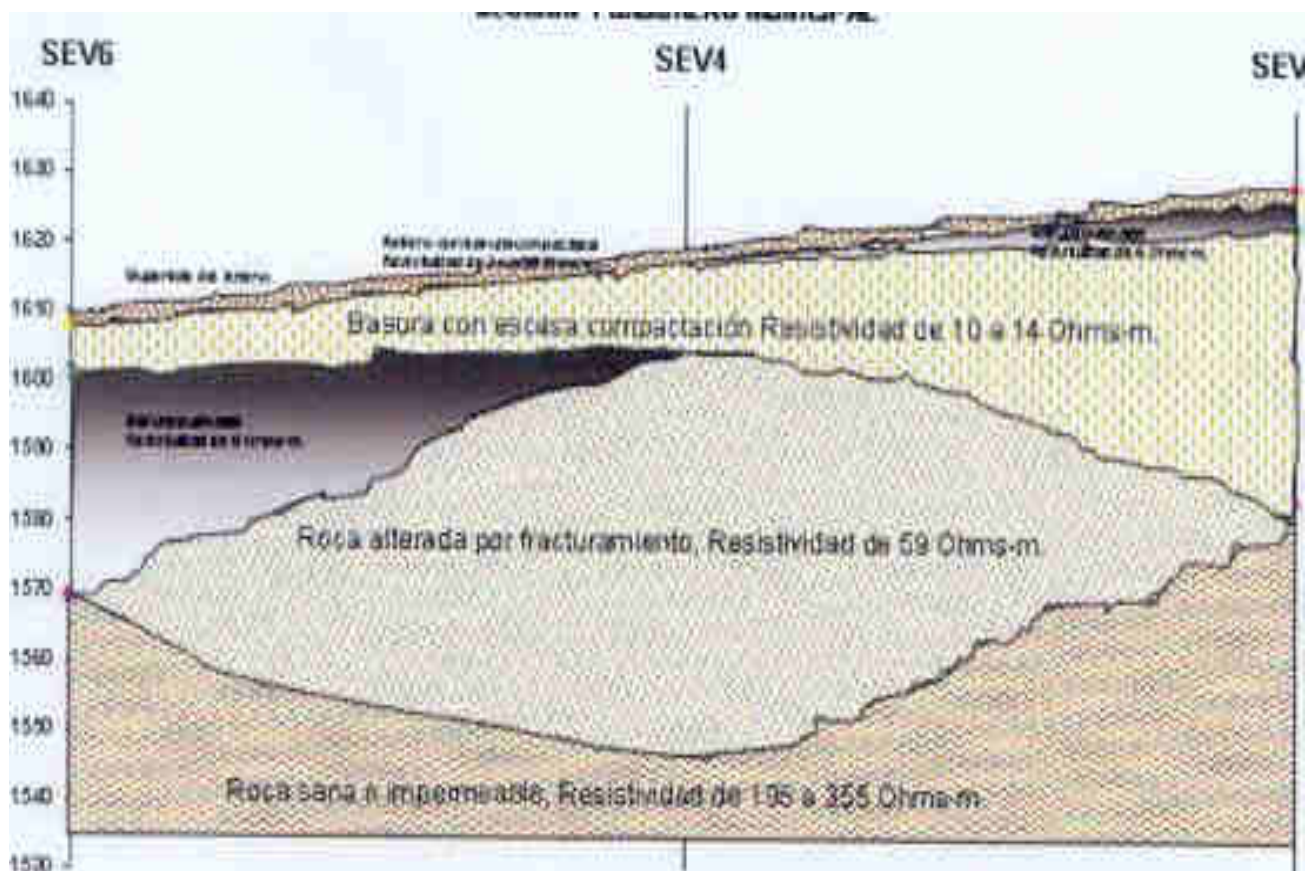


Figura 5.- Representación esquemática de sección geoelectrica.

Respecto a la calidad del banco de material interno, en la Tabla 2 se presentan sus características. Cabe resaltar que se trata de una arcilla inorgánica de plasticidad media con capacidad de campo del 40.1%.

Tabla 2.- Características del banco de material

% pasa la malla de 3"	100
% pasa la malla No. 4	100
% pasa la malla No. 40	98
% pasa la malla No. 200	98
% humedad del lugar	4.8
Límite plástico (%)	39
Límite líquido (%)	21
Índice plástico (%)	18
Contracción lineal (%)	8.2
Peso volumétrico seco suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1229
Peso volumétrico seco máximo en prueba proctor estándar (Kg/m <sup>3</sup> )	1820
Humedad óptima (%)	16.6
Clasificación SUCS	CL
Capacidad de Campo (%)	40.1



En la tabla 3 se presenta el balance de agua. Se considera que la recarga neta es baja, 39 mm/año para el año representativo y con base en la precipitación total, se tiene un escurrimiento del 14%, una evapotranspiración real de 82% y una recarga neta del 7%.

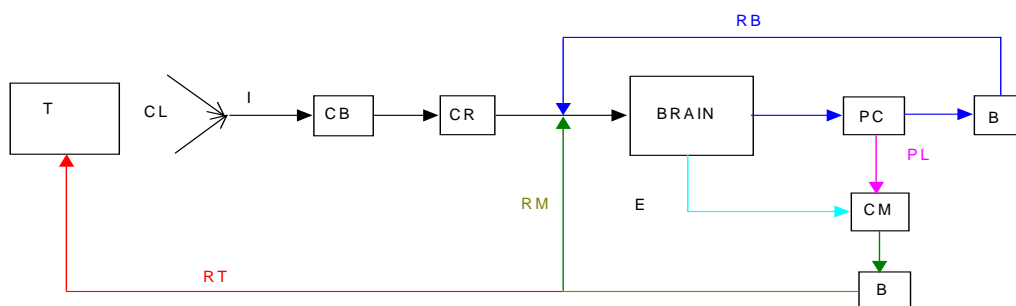
Tabla 3.- Balance de agua

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	suma
Precipitación mensual (P), en mm	2.03225806	4.91935484	9.76451613	30.1225806	56.9387097	154.358065	83.3516129	110.319355	90.4	32.9483871	8.36129032	2.69333333	586.209462
coeficiente de escurrimiento (CE)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Escorrentía (E), en mm	0.28451613	0.68870968	1.36703226	4.21716129	7.97141935	21.610129	11.6692258	15.4447097	12.656	4.61277419	1.17058065	0.37706667	82.0693247
Infiltración (I), en mm	1.74774194	4.23064516	8.39748387	25.9054194	48.9672903	132.747935	71.6823871	94.8746452	77.744	28.3356129	7.19070968	2.31626667	
Evapotranspiración potencial mensual corregida (EPC), en mm	42.1431019	43.1515755	63.4680302	79.4011355	88.5887382	85.5264923	82.5305121	78.6417438	70.8902533	66.8643269	52.1807116	47.1448872	
Reserva del suelo (R), en mm	-40.36536	-38.92093	-55.070546	-53.495716	-39.591448	47.2214432	-10.848125	16.2329013	6.85374673	-38.528714	-44.990002	-44.828721	
capacidad de campo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Humedad del suelo (HS), en mm	0	0	0	0	0	20	9.15187499	20	20	0	0	0	
Deficit de humedad de suelo (DHS), en mm	0	0	0	0	0	20	-10.848125	10.848125	0	-20	0	0	
Evapotranspiración real (ER), en mm	1.74774194	4.23064516	8.39748387	25.9054194	48.9672903	85.5264923	82.5305121	78.6417438	70.8902533	48.3356129	7.19070968	2.31626667	464.680171
Perdación (PERC), en mm	0	0	0	0	0	27.2214432	0	5.38477633	6.85374673	0	0	0	39.4598663

A partir de esta recarga neta y considerando una superficie de ocupación de los residuos de 12 ha, se obtuvo un gasto de lixiviados de 0.15 Ls<sup>-1</sup>. En la tabla 4, se presentan los resultados de los aforos, cuyo promedio es de 0.10 Ls<sup>-1</sup>; 70% del valor teórico calculado.

Tabla 4.- Aforo de lixiviados

Aforo	Gasto (LPS)
1	0.08
2	0.09
3	0.10
4	0.10
Promedio	0.09



T= TIRADERO, CL=COLECTOR DE LÍQUIDOS, CB=CARCAMO DE BOMBEO, CL=COLECTOR DE LIXIVIADOS  
 CR=CAJA REPARTIDORA, BRAIN=BIOREACTOR ANAEROBIO INTEGRADO, PC=POZO DE CARGA  
 B=BOMBEO, RM=RECIRCULACIÓN DE MEZCLA, RB=RECIRCULACIÓN DE BIOSÓLIDOS, E=EFLUENTE LÍQUIDO  
 RT=RETORNO A TIRADERO, PL= PURGA DE LODOS, CM=CAJA DE MEZCLADO, I=INFLUENTE DE LIXIVIADO

Actualmente se esperan los resultados de laboratorio de las muestras de residuos para calcular el contenido de biogás y los requerimientos de humedad de la masa de residuos. No obstante lo anterior, se ha establecido el tren de tratamiento o acondicionamiento al que se someterá el

lixiviado, para reciclarlo a la masa de residuos existente. En la figura 8 se presenta el diagrama de bloque del sistema propuesto.

Figura 8.- Diagrama de bloques del sistema de acondicionamiento de lixiviados.

## CONCLUSIONES

El actual tiradero de la Ciudad de Oaxaca tiene volumen suficiente para ser saneado y operado por más tiempo como relleno sanitario.

De acuerdo con el estudio de geofísica no existe acuífero en la zona y el almacenamiento de agua en los alrededores está bien localizado en especies de pequeñas burbujas o corrientes que, aguas abajo se van acumulando. Por otro lado, las fracturas localizadas en el sitio son del tipo juntas, las cuales no están conectadas entre si, por lo que se elimina el riesgo de una contaminación subterránea profunda.

La conformación geológica indica la existencia de un espesor de roca alterada debajo de la capa de basura que termina a profundidades no mayores de 50 m, en el basamento geológico.

Desde el punto de vista hidrológico y no obstante que el tiradero se encuentra en el inicio de una cuenca tributaria del río Atoyac; por un lado, las características geológicas indican la existencia de una barrera natural que hace que las nacientes infiltraciones en el sitio se desplacen hacia el costado norte, aportando a un arroyo que también tributa al Atoyac pero que está fuera del tiradero. Por otro lado, la topografía actual, debidamente impermeabilizada, manejará los escurrimientos superficiales hacia un dren natural localizado al costado este, fuera del tirado.

Dada la conformación de la roca alterada e impermeable, es posible captar los lixiviados en el punto más bajo respecto a la topografía natural, a partir de sendos colectores que recorran los costados sureste, suroeste y norte para canalizarlos a un cárcamo de bombeo.

El gasto de lixiviados obtenido ( $0.15 \text{ L s}^{-1}$ ) difiere del calculado en otros estudios; sin embargo, se considera que el dato es confiable dado que es muy similar al arrojado por el aforo realizado. Mientras que en los otros intentos de evaluación o se ha medido en época de lluvias (CIIDIR,2004) o se ha calculado con valores de precipitación muy por arriba a los registrados en la zona (H. Ayuntamiento de Oaxaca,2002).

El tren de tratamiento propuesto para acondicionar el lixiviado, permite utilizar la carga orgánica contenida en él, para generar biomasa que será inyectada nuevamente a la masa de residuos a través de la misma corriente. Con ello, además de eliminar el actual flujo de lixiviados que viaja al sureste del sitio, se espera acelerar la estabilización de la materia orgánica contenida en los residuos.

Dadas las características del material del banco de préstamo interno, se cuenta con material adecuado para lograr una cubierta final que garantice que los escurrimientos superficiales no se infiltren, eliminando la generación de lixiviados por este concepto.

De acuerdo con lo anterior, es posible conformar y sellar la superficie del actual tiradero, captar y acondicionar los lixiviados generados, manejar los escurrimientos superficiales y controlar la generación del biogás.

No obstante que los criterios de selección del sitio establecidos por la normativa ambiental vigente, no se cumplen; con las acciones propuestas se demuestra que con medidas de ingeniería es posible transformar el tiradero y cerrarlo u operarlo de manera sanitaria rescatando inclusive instalaciones y áreas para uso de la comunidad vecina.

Actualmente se realiza el proyecto ejecutivo del saneamiento, que incluye la conformación y sellado de los residuos; el sistema de manejo de escurrimientos superficiales, el sistema de colección, acondicionamiento e inyección de lixiviados; el sistema de captación de biogás, el sistema de monitoreo y las estrategias de ampliación o cierre de sitio, incluyendo las opciones de utilización de áreas recuperadas.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos manifestar nuestro agradecimiento al Gobierno del Estado de Oaxaca, a través del Instituto Estatal de Ecología por la autorización y facilidades brindadas para generar y usar la información que aquí se presenta. Así mismo agradecemos al personal del H. Ayuntamiento de la Ciudad de Oaxaca por las facilidades brindadas y la información proporcionada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Afferden, M. van et al. (2002). *Alternativas de Rellenos Sanitarios – Guía de Toma de Decisiones*. Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México/ GTZ.
- Campos A.D. (1992). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.
- CIIDIR (2004). *Evaluación de la Contaminación Subterránea Generada por el Tiradero de la Ciudad de Oaxaca*. Informe Técnico de Avances.
- Cintra, I. et al. (2004). *Evaluación de las fases de estabilización de residuos sólidos urbanos con un proceso de digestión anaerobia con recirculación de lixiviados crudos e inoculados*. Congreso Internacional AIDIS. Puerto Rico.
- H. Ayuntamiento de la Ciudad de Oaxaca (2002). *Sistema Integral de Manejo y Aprovechamiento de Residuos Sólidos (SIMARS)*.
- Reinhart, D; All Yousfi, A.B. (1996). *The impact of recirculation on Municipal Solid Waste Landfill Operating Characteristics*. Waste Management & Research. Volumen I, p.337-346.
- Sánchez, J. et al. (2003). *Manejo de Residuos Industriales*. Universidad Autónoma de Aguascalientes / Colegio de Ingenieros Ambientales de México/ CCApama.



Tchobanoglous, G. et al. (1997). *Solid Wastes: Engineering Principles and Management Issues*. Ed. McGraw-Hill, 621 pp. Estados Unidos.