

ADECUACION FINAL Y CLAUSURA DE RELLENOS SANITARIOS

MARTHA CECILIA ARRIETA MÁRQUEZ



ADECUACION FINAL Y CLAUSURA DE RELLENOS SANITARIOS

MARTHA CECILIA ARRIETA MÁRQUEZ

Trabajo de Grado en la modalidad de Monografía, para optar al título de:
INGENIERO CIVIL

Director:

DOMINGO GUERRA ZAPA – Ingeniero Civil
Especialista en Ingeniería Ambiental
Docente Facultad de Ingeniería – UNISUCRE

Campo:

SANEAMIENTO AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SINCELEJO – COLOMBIA



Únicamente la autora de este trabajo, es responsable de las ideas expuestas.

Art. 12, Resolución 023 de 2000

Nota de aceptación

Ing. DOMINGO GUERRA ZAPA
Director Trabajo de Grado

Ing. GUILLERMO GUTIÉRREZ
Jurado

Ing. MARCO D'LEÓN ANGULO
Jurado

Ing. MICHEL VERGARA
Jurado

Sincelejo, Sucre _____

AGRADECIMIENTOS

MARTHA CECILIA ARRIETA MÁRQUEZ, autora de este trabajo, expresa sus sinceros agradecimientos a...

- 👉 GUILLERMO GUTIÉRREZ RIBÓN, Ingeniero Civil, Decano de la Facultad de Ingeniería, compañero y amigo, por sus valiosos aportes y orientación.
- 👉 La UNIVERSIDAD DE SUCRE, por permitir el logro de este trabajo de grado.
- 👉 Todas aquellas personas que abrieron un espacio en su valioso tiempo para brindarme la orientación necesaria, con lo cual se pudo dar feliz culminación a este Proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO I – RELLENOS SANITARIOS	21
1. RELLENOS SANITARIOS	22
1.1. EVOLUCIÓN E INTRODUCCIÓN A LOS VERTEDEROS CONTROLADOS	23
1.2. REQUERIMIENTOS GENERALES DE LOS RELLENOS SANITARIOS	25
1.3. TIPOS DE RELLENOS	26
1.3.1. Método de trinchera o zanja	26
1.3.2. Método de área	27
1.3.3. Combinación de ambos métodos	30
1.4. VENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO	30
1.5. DESVENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO	31
1.6. RESIDUOS SÓLIDOS	32
1.6.1. Características	32
1.6.1.2. Características físicas	32
1.6.1.3. Características químicas	33
1.6.1.4. Características biológicas	34
1.6.2. Composición	34
1.6.2.1. Composición gravimétrica	34
1.6.2.2. Composición química	34
1.7. GASES	35
1.7.1. Características	36
1.7.2. Composición	37
1.7.3. Migración	38
1.7.3.1. Rellenos sanitarios aerobios	38

1.7.3.2. Rellenos sanitarios anaerobios	38
1.8. LIXIVIADOS	38
1.8.1. Características	40
1.8.2. Generación	41
1.8.3. Producción de lixiviados	42
1.9. MATERIAL DE COBERTURA	44
1.10. FASE DE POST-INVERSIÓN: CLAUSURA DE RELLENOS	46
1.10.1. Procedimientos operacionales	48
1.10.1.1. Planeación	48
1.10.1.2. Actividades de pre-clausura (tres meses antes del cierre)	49
1.10.1.3. Durante el proceso de cierre	50
1.10.1.4. En el post-cierre (tres meses después del cierre)	50
1.10.1.5. Mantenimiento de largo plazo	51
1.10.2. Características operativas	52
1.10.2.1. Asentamientos	52
1.10.2.2. Capacidad portante	53
1.10.2.3. Nivelación final	53
1.10.2.4. Cobertura final	55
1.10.2.5. Lixiviados y gases	57
1.10.2.5.1. Lixiviados	57
1.10.2.5.2. Gases	57
1.10.2.6. Vegetación	57
1.11. PROYECTO PAISAJÍSTICO	59
1.11.1. Uso final	60
1.11.2. Monitoreo de control ambiental	62
1.12. IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS RELLENOS SANITARIOS EN LA ETAPA DE CLAUSURA	64
1.12.1. Medidas de mitigación	64
2. MARCO LEGAL	67
1.13.1. Decretos, leyes y resoluciones	67

CAPÍTULO II – ADECUACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EL OASIS DEL MUNICIPIO DE SINCELEJO, EN SU PRIMERA ETAPA	69
3. ADECUACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EL OASIS DEL MUNICIPIO DE SINCELEJO, EN SU PRIMERA ETAPA	70
3.1. UBICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO	70
3.2. OPERACIÓN DEL RELLENO	71
3.3. PROCESO DE CLAUSURA	71
3.3.1. Control de fauna nociva	71
3.3.2. Configuración de la superficie final	72
3.3.3. Construcción de la cobertura final	73
3.3.4. Control de calidad geotécnico	74
3.3.5. Control de biogás	74
3.3.6. Control de lixiviados	75
3.3.7. Uso post-clausura del sitio	75
4. CONCLUSIONES	77
5. RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Producción <i>per cápita</i> por rangos de población, año 1995	33
Tabla 2. Valores típicos de la PPC para municipios colombianos	33
Tabla 3. Comparación de la composición física de los residuos sólidos en algunas ciudades de Colombia	34
Tabla 4. Composición química de los residuos para algunas ciudades colombianas	35
Tabla 5. Peso molecular, densidad y peso específico de los gases encontrados en un relleno sanitario controlado en condiciones estándar (0°C, 1 ATM)	36
Tabla 6. Constituyentes tipo encontrados en el gas de relleno sanitario de residuos sólidos urbanos	37
Tabla 7. Composición de líquidos percolados de un relleno sanitario con desechos domésticos	39
Tabla 8. Análisis de lixiviados	43
Tabla 9. Tipos de suelo de recubrimiento de rellenos sanitarios	46
Tabla 10. Requisitos y forma de control en el procedimiento de planeación para la clausura de un relleno sanitario	48
Tabla 11. Requisitos y forma de control en la etapa de pre-clausura de un relleno sanitario	50
Tabla 12. Requisitos y forma de control durante el proceso de cierre del relleno sanitario	50
Tabla 13. Requisitos y forma de control durante el proceso de post-cierre del relleno sanitario	51
Tabla 14. Requisitos y forma de control para el mantenimiento de rellenos sanitarios a largo plazo	51
Tabla 15. Parámetros y frecuencia de monitoreo de acuíferos	63
Tabla 16. Parámetros y frecuencia de monitoreo de lixiviados y calidad del vertimiento a fuentes superficiales	63
Tabla 17. Parámetros y frecuencia de monitoreo de calidad de aire	64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relleno sanitario Los Corazones (Valledupar)	22
Figura 2. Método de trinchera para construir un relleno sanitario	27
Figura 3. Método de área para construir un relleno sanitario	28
Figura 4. Método de área para rellenar depresiones	29
Figura 5. Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario	30
Figura 6. Sistema de evacuación de gases	35
Figura 7. Balance de agua en un relleno sanitario	41
Figura 8. Producción de lixiviados – Flujo de lixiviados (m ³ /ha día)	44
Figura 9. Relleno sanitario de Sincelejo “El Oasis” Primera etapa	46
Figura 10. Relleno sanitario La Miel (Montería – Córdoba)	55
Figura 11. Relleno sanitario El Oasis (Sincelejo – Sucre)	56
Figura 12. Relleno sanitario Palangana (Santa Marta – Magdalena)	58
Figura 13. Relleno sanitario El Oasis – Sincelejo	59
Figura 14. Vista aérea del relleno sanitario El Oasis (Sincelejo)	70
Figura 15. Relleno sanitario El Oasis (Sincelejo)	72
Figura 16. Relleno sanitario El Oasis (Sincelejo)	73
Figura 17. Piscina de lixiviados relleno sanitario El Oasis (Sincelejo)	74
Figura 18. Construcción de parque de relleno sanitario clausurado – Armenia (Quindío)	75
Figura 19. Construcción de cancha de fútbol en relleno sanitario clausurado – Florida (EE. UU.)	76

GLOSARIO Y DEFINICIÓN DE TÉRMINOS¹

ÁREA DE AISLAMIENTO: corresponde al área perimetral de un relleno sanitario, ubicada en su entorno, en donde se establecerán plantaciones que permitan la reducción de impactos sobre éste. Es decir, corresponde al área de transición entre el área en donde se realizará la disposición final de residuos sólidos, mediante la tecnología de relleno sanitario, y su entorno.

BASURA: todo material o sustancia sólida o semisólida de naturaleza ordinaria, de origen orgánico o inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales e institucionales y de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, a través de un proceso productivo.

BIODEGRADABLES: cualidad que tiene toda materia de tipo orgánico para ser metabolizada por medios biológicos.

CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS: determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades.

CELDA DE SEGURIDAD: infraestructura que podrá ser ubicada en las áreas en donde se realizará la disposición final de residuos sólidos, mediante la tecnología de relleno sanitario, en donde se confinarán y aislarán del ambiente los residuos peligrosos previo cumplimiento de las normas ambientales y sanitarias en materia de residuos peligrosos.

CELDA: infraestructura ubicada en el relleno sanitario, en donde se esparcen y compactan los residuos durante el día para cubrirlos totalmente al final del mismo.

CHIMENEA: estructura de ventilación que permite la salida de los gases producidos por la biodegradación de los residuos sólidos.

CHIMENEA: estructura de ventilación que permite la salida de los gases producidos por la biodegradación de los residuos sólidos.

COBERTURA DIARIA: capa de material natural y/o sintético con que se cubren los residuos depositados en el relleno sanitario durante un día de operación.

COBERTURA FINAL: revestimiento de material natural y/o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario, para facilitar el drenaje superficial, interceptar las aguas filtrantes y soportar la vegetación superficial.

¹ REGLAMENTO DEL SECTOR TÉCNICO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO AMBIENTAL "R. A. S." 2000.

COBERTURA: el material de cobertura es aquél que se explota en el mismo sitio del relleno sanitario o en sitios aledaños, o es importado de otros lugares de la ciudad y sirve para el cubrimiento de la basura una vez compactada.

COMPACTACIÓN: proceso mediante el cual en la celda se incrementa el peso específico de los residuos sólidos, con el cual se garantiza homogeneidad en la densidad del material y estabilidad de la celda.

CONTAMINACIÓN: se entiende por contaminación la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y/o la fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la Nación o de los particulares.

DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno al Quinto día.

DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS: proceso de aislar y confinar los residuos sólidos, previo tratamiento o sin tratamiento, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

FRENTE DE TRABAJO: sitio en el relleno sanitario donde se realizan los procesos de descargue, acomodación, compactación y cobertura de los residuos sólidos entregados para disposición final.

GAS GENERADO EN EL RELLENO: es el gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia y/o aerobia, o por efectos de reacciones químicas de los residuos sólidos dispuestos.

GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (GIRS): conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos, el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos de tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final.

LIXIVIADO: líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

LODO: suspensión de materiales en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales, del tratamiento de efluentes líquidos o de cualquier actividad que lo genere.

MATERIAL DE COBERTURA: material de origen natural o sintético, utilizado para cubrir los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario.

MEMBRANA: barrera constituida por material sintético, arcillas u otros materiales de baja permeabilidad, destinadas a impermeabilizar el fondo de un relleno sanitario.

MONITOREO: conjunto de actividades necesarias para conocer y evaluar la calidad de un determinado elemento del ambiente.

PIRÓLISIS: descomposición físico-química del material degradable de los residuos sólidos, debido a la acción de la temperatura en una atmósfera deficiente en oxígeno.

PRODUCCIÓN DIARIA PER CÁPITA: cantidad de residuos sólidos generada por una persona, expresada en términos de kg/hab-día o unidades equivalentes, de acuerdo con los aforos y el número de personas por hogar estimado por el DANE.

RECEPTOR: persona prestadora del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos, quien los recibe para darles una disposición acorde con las normas técnicas-ambientales vigentes.

RECICLAJE: procesos mediante los cuales se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelven a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. El reciclaje puede constar de varias etapas: procesos de tecnologías limpias, reconversión industrial, separación, recolección selectiva acopio, reutilización, transformación y comercialización.

RECOLECCIÓN: acción y efecto de recoger y retirar los residuos sólidos de uno o varios generadores.

RECUPERACIÓN: acción que permite retirar y recuperar de los residuos sólidos aquellos materiales que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento, para convertirlos en materia prima útil en la fabricación de nuevos productos.

RELLENO SANITARIO: lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales.

RESIDUO PELIGROSO: es aquel que por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas puedan causar riesgo a la salud humana o deteriorar la calidad ambiental hasta niveles que causen riesgo a la salud humana. También son residuos peligrosos aquellos que sin serlo en su forma original se transforman por procesos naturales en residuos peligrosos. Así mismo se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

RESIDUO SÓLIDO APROVECHABLE: cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo para quien lo genere, pero que es susceptible de aprovechamiento.

RESIDUO SÓLIDO: cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, rechaza o entrega después de haber sido consumido o usado en

actividades domésticas, industriales, comerciales e institucionales o de servicios, los residuos sólidos con valor se llamarán materiales aprovechables.

REUTILIZACIÓN: prolongación y adecuación de la vida útil de los residuos sólidos recuperados y que mediante tratamientos mínimos devuelven a los materiales su posibilidad de utilización en su función original o en alguna relacionada, sin que para ello requieran procesos adicionales de transformación.

SUELO DE PROTECCIÓN: constituido por las zonas y áreas de terrenos, en suelo rural, que por sus características geográficas, paisajísticas o ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse.

TRATAMIENTO: conjunto de operaciones, procesos o técnicas mediante los cuales se modifican las características de los residuos sólidos, para minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana

VÍA INTERIOR: vialidad que permite el tránsito interno en un sitio de disposición final.

VÍA PRINCIPAL: vías que hacen parte de la red pública de transporte que permite la intercomunicación entre las entidades territoriales.

VÍAS DE ACCESO: vialidad que permite ingresar a un sitio de disposición final.

RESUMEN

Este trabajo tiene como finalidad ilustrar los mecanismos y parámetros que lleva consigo el adecuado manejo en la disposición final de los residuos, teniendo como objetivo primordial la adecuación final que debe darse a un sitio de disposición final (relleno sanitario), tratando de adaptarlo a nuestro entorno con las especificaciones sanitarias necesarias para esto.

Luego de conocer qué es un relleno sanitario y todos los efectos ambientales que genera la disposición final de los residuos, se hace necesario pensar en la forma más adecuada para que su impacto en la comunidad sea mínimo, de ahí que aún en la etapa de planeación de éste se tenga en cuenta la forma y el proceso de cierre, ya que de éste depende que el relleno sanitario clausurado sea un recurso potencial y que su superficie pueda usarse en beneficio de la comunidad.

Aparte de dar a conocer los parámetros utilizados en el cierre de la primera etapa del relleno sanitario de Sincelejo "El Oasis", este trabajo busca motivar e invitar a la comunidad a que se concientice sobre la necesidad de dar un buen manejo y un adecuado tratamiento a los residuos sólidos, puesto que de esto dependería en gran parte la conservación de nuestro medio y la salud de nuestra comunidad.

ABSTRACT

This work has as purpose to illustrate the mechanisms and parameters that the appropriate handling bears in the final disposition of the residuals, having as primordial objective the final adaptation that should be given to a place of final disposition (sanitary filler), trying to adapt it to our environment with the necessary sanitary specifications for this.

After knowing what a sanitary filler is, and all the environmental effects that the final disposition of the residuals generates, it becomes necessary to think of the most appropriate form so that its impact in the community is minimum, with the result that still in the planeation stage of this one keeps in mind the form and the closing process, since of this it depends that the closed sanitary filler is a potential resource and that its surface can be used in benefit of the community.

Apart from giving to know the parameters used in the closing of the first stage of the sanitary filler of Sincelejo "The Oasis", this work looks for to motivate and to invite to the community to that is informed about the necessity of giving a good handling and an appropriate treatment to the solid residuals, since of this it would largely depend the conservation of our means and the health of our community.

INTRODUCCIÓN

El problema de los residuos sólidos, en la gran mayoría de los países, y particularmente en determinadas regiones, se viene agravando como consecuencia del acelerado crecimiento de la población y concentración en las áreas urbanas, del desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo y mejor nivel de vida, así como también debido a otra serie de factores que conllevan a la contaminación del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales.

Desafortunadamente, por lo general el desarrollo de cualquier región viene acompañado de una mayor producción de residuos sólidos y, sin duda, ocupa un papel importante entre los distintos factores que afectan la salud de la comunidad. Por lo tanto, constituye de por sí un motivo para que se implanten las soluciones adecuadas para resolver los problemas de su manejo y disposición final.

El crecimiento de la población, así como el desarrollo industrial, la urbanización y otros procesos y efectos del desarrollo experimentado por los países de América Latina y el Caribe, vienen produciendo un incremento considerable en la cantidad y variedad de los residuos sólidos generados en las actividades desarrolladas por la población de esta Región.

Los problemas ocasionados por un inadecuado manejo de estos residuos están afectando, tanto a las grandes ciudades y sus zonas marginales, como a las pequeñas poblaciones rurales. En muchos municipios el manejo empírico del servicio de aseo urbano, con una evidente falta de criterios técnicos, económicos y sociales, ha ocasionado que este servicio carezca de una adecuada planificación y organización, lo cual se ha traducido en altos costos de funcionamiento que las mismas municipalidades han tenido que subsidiar consumiendo buena parte de su presupuesto.

Consecuencia de lo anterior, es el déficit económico permanente que existe en un gran número de servicios de aseo y, las inadecuadas prácticas de disposición final de las basuras, las cuales por la falta de recursos, interés o conocimientos técnicos se descargan inapropiadamente dentro o fuera de las áreas urbanas, dando origen a un sinnúmero de basureros dispersos, los que generan, entre otros, un problema social y de salud pública.

El problema social tiene su base en las personas que se dedican a segregar y comercializar los residuos, quienes realizan estas actividades en condiciones riesgosas y precarias, inaceptables en una sociedad moderna. El peligro para la salud pública surge en los mismos basureros, los que además de causar malos olores y problemas estéticos, son cuna y hábitat de moscas, ratas y otros vectores

de enfermedades, y fuentes de contaminación del aire o de fuentes superficiales o subterráneas de agua.

Lo indicado anteriormente podría controlarse, si la disposición final de las basuras, el constante monitoreo en las diferentes etapas de un relleno sanitario y el cierre del mismo al finalizar su vida útil, se hiciera en una forma adecuada, tal como un relleno sanitario operado correctamente, lo que además permitiría prevenir la contaminación.

El servicio ordinario de aseo urbano del Municipio de Sincelejo consta fundamentalmente de las actividades de barrido, almacenamiento, recolección, transporte y disposición sanitaria final de los residuos sólidos.

La Organización Panamericana de la Salud, consciente de esta situación y considerando que, el “relleno sanitario” es una obra al alcance de los municipios debido a que no requiere grandes recursos técnicos ni financieros para su funcionamiento, ha venido promoviendo en los países el uso de esta forma de disposición final de los residuos sólidos.

El fin de este trabajo es estudiar y al mismo tiempo contribuir con alternativas y mecanismos para una adecuación final y clausura de relleno sanitario adecuados, teniendo en cuenta la normatividad vigente y contribuyendo así con la mitigación del impacto ambiental que dicha clausura trae consigo.

Se puede decir, entonces, que la idea principal de este estudio es proponer una guía técnica que contenga los mecanismos adecuados y los pasos a seguir en el cierre o clausura parcial o final de un relleno sanitario, en este caso tomando como ejemplo la clausura de la primera etapa del relleno sanitario “El Oasis” del Municipio de Sincelejo. Se ha escogido éste, ya que hace parte de nuestra comunidad y entorno, y su estudio contribuiría a proyectos futuros para promover la conciencia ambiental en la comunidad sincelejana.

CAPÍTULO I

RELLENOS SANITARIOS

1. RELLENOS SANITARIOS

Figura 1. Relleno sanitario Los Corazones (Valledupar)²



Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población.

La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, colocar los residuos, extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra con espesor adecuado.

Un relleno sanitario planificado y ambiental de las basuras domésticas ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio gracias a su eventual utilización en usos distintos al relleno sanitario; como ser actividades silvo-agropecuarias en el largo plazo.

² <http://www.ccc.org.co/Documents/2006/Marzo/Basuras/HectorCollazos.pps#404,41,relleno>

El relleno sanitario es un sistema de tratamiento y, a la vez, disposición final de residuos sólidos en donde se establecen condiciones para que la actividad microbiana sea de tipo anaeróbico (ausencia de oxígeno). Este tipo de método es el más recomendado para realizar la disposición final en países como el nuestro, pues se adapta muy bien a la composición y cantidad de residuos sólidos urbanos producidos.

La definición más aceptada de rellenos sanitarios es la dada por la Asociación de Ingenieros Civiles: *“relleno sanitario es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligros para la salud y seguridad pública, método éste, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada”*³.

1.1. EVOLUCIÓN E INTRODUCCIÓN A LOS VERTEDEROS CONTROLADOS

Probablemente el primer método que se utilizó para tratar residuos sólidos consistió en arrojarlos al suelo o al mar, tal vez porque resultaba ser el más cómodo.

Al progresar la civilización y vivir la gente en grupos más o menos numerosos, la práctica de tirar indiscriminadamente los residuos al suelo fue haciéndose cada vez más incómoda y nociva para el medio.

Aunque los aspectos sanitarios del tratamiento de residuos no se han conocido hasta hace poco, las cantidades y naturaleza desagradable de los residuos han creado en la mayoría de las ciudades condiciones que resultan insatisfactorias para todos.

Así pues, los molestos basureros se sacaron de las ciudades y se encontraron para ellos terrenos más aislados, sin embargo, se vio que transportar los residuos largas distancias resulta incomodo y que, incluso en las zonas donde vive poca gente, surge una violenta oposición ciudadana a los vertederos.

Al parecer fue durante el periodo 1930–1939 que se inventó la denominación “vertedero sanitario o controlado” o “relleno sanitario”, en Fresno (California), donde por primera vez se utilizó en los Estados Unidos el método de vertido de “excavar y tapar” o de “la trinchera”, que ya utilizó Moisés.

(Diseño y operación de rellenos sanitarios, Héctor Collazos Peñaloza, ACODAL, 2001). En Bogotá, en el año de 1900, el servicio de la recolección se prestaba por medio de una institución denominada Sociedad de Aseo y Ornato, que era conformada por personas muy

³ <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

importantes de la comunidad, normalmente jubilados. En 1904, se creía que el problema estaba en los operadores del servicio y entonces la administración municipal tomó el manejo del servicio directamente, pero éste tampoco mejoró.

En 1922 la ciudad estaba inundada de basura y se dispuso quemarla con petróleo en un sitio donde hoy es el Barrio Quiroga. En 1929, el Concejo Municipal autorizó adquirir lotes para instalar hornos crematorios y ubicar botaderos de basura cercanos a estos, como estaciones de transferencia provisionales. Esto fue caótico, porque aumentó el desaseo en todas estas áreas y finalmente no se adquirieron los hornos crematorios. En 1940 se construyó el tan esperado horno como solución definitiva para la ciudad, pero ya en 1943 se dieron cuenta que, al contrario de lo que indicaban los vendedores, no era la panacea. El mantenimiento era excesivamente caro y el presupuesto municipal no alcanzó, los hornos se cerraron y volvieron a la costumbre de buscar huecos para rellenar, como anécdota les puedo decir que el sitio donde se encuentra la Academia Colombiana de la Lengua, fue un antiguo botadero de Bogotá.

El problema continuó en Bogotá. En 1956 se consideró que la solución era crear un organismo que se responsabilizara del problema del manejo de los residuos. El Concejo del Distrito Especial de Bogotá le dio entonces vida a la Empresa Distrital de Servicios Públicos (EDIS).

Algo similar sucedió en Cali: en un principio la Sociedad de Mejoras Públicas era la encargada de manejo de la basura; posteriormente encargaron de ello a la Secretaría de Obras Públicas Municipales, y en 1969 se consideró que la solución era crear una empresa responsable, y éste fue el nacimiento de la Empresa de Servicios Varios (EMSIRVA).

En Bogotá, el problema aparentemente no tenía solución. En 1971, el Instituto de Investigaciones Tecnológicas presentó a la EDIS un estudio donde propone algunas soluciones para la disposición final de las basuras: fabricar abono, incinerarlas con recuperación de calor, hacer un relleno sanitario, fabricar bloques para obras civiles, recuperar parte de ellas o combinar los métodos anteriores.

En 1972, la EDIS contrató a una consultora inglesa para hacer un estudio de factibilidad del Almacenamiento, Recolección, Transporte y Tratamiento de la basura. La recomendación fue construir cinco estaciones pulverizadoras de la basura en la ciudad y transportarlas por un cable aéreo detrás de los cerros, al occidente de la ciudad.

En 1979 se construyó y operó el primer relleno sanitario de Bogotá ubicado en la zona denominada Gibraltar; éste funcionó muy bien durante

aproximadamente dos años, cuando por problemas administrativos de la EDIS y básicamente por falta de material de cobertura en el área donde estaba construido, se convirtió en un botadero de basura. En 1981 operaban en Bogotá dos botaderos de basura: El Cortijo, ubicado al occidente de la ciudad, y Gibraltar, ubicado al sur occidente. En 1984 se cerró el botadero de basura El Cortijo y la ciudad quedó toda llevando la basura al de Gibraltar.

Ante la situación tan difícil de la ciudad, en 1985 la CAR contrató un estudio que ubicó el Relleno Sanitario Doña Juana al suroriente de la ciudad. Este vertedero controlado se inauguró el 1 de noviembre de 1988 y se ha venido operando muy bien hasta la fecha, con excepción del derrumbe de septiembre de 1997.

En Colombia y en general en América Latina, se considera que la disposición final “no cuesta” dinero, cuando los técnicos informamos que enterrar una tonelada de basura tiene un costo de entre 3 y 10 dólares; los gerentes financieros consideran este costo excesivo porque siempre han manejado botaderos de basura. Tiene que llegar el momento, y debe ser muy pronto, que la comunidad acepte la solución del reciclaje y el compost, como se está haciendo en los países altamente industrializados.

La comunidad y el gobierno deben crear conciencia de “No producir residuos”; botellas de vidrio (no retornables), empaques innecesarios, productos con doble o triple empaque, pequeños productos con grandes empaques, bolsas plásticas empleadas por las tiendas de mercancías, la cultura del desechable: máquinas de afeitar, pañales, lapiceros, papeles utilizados por un solo lado y hasta ropa interior desechable. El día que empecemos a disminuir la producción de residuos, iniciaremos la solución al problema del manejo de los RS.⁴

1.2. REQUERIMIENTOS GENERALES DE LOS RELLENOS SANITARIOS⁵

- El sitio debe tener espacio necesario para almacenar los residuos generados por el área en el plazo definido por el diseño.
- El sitio es diseñado, localizado y propuesto para ser operado de forma que la salud, las condiciones ambientales y el bienestar sean garantizados.
- El sitio es localizado de manera que minimice la incompatibilidad con las características de los alrededores y minimizar el efecto en los avalúos de estos terrenos.

⁴ LARA B., Jaime (Ingeniero Sanitario). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D. C., Colombia

⁵ <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

- ☑ El plan de operación del sitio se diseña para minimizar el riesgo de fuego, derrames y otros accidentes operacionales en los alrededores.
- ☑ El diseño del plan de acceso al sitio se debe hacer de forma tal que minimice el impacto en los flujos.

1.3. TIPOS DE RELLENOS⁶

El parámetro básico de diseño de un relleno es el volumen. Éste depende del área cubierta, la profundidad a la cual los residuos son depositados, y el radio de material de cobertura y residuo. Debido a que la tasa de generación de residuos es usualmente definida en unidades másicas, un parámetro adicional que influencia la capacidad del relleno es la densidad *in situ* de la basura y el material de cobertura.

Generalmente todo diseño de relleno incluye algunas obras comunes. Zonas buffer y pantallas perimetrales son necesarias para aislar el relleno de los vecinos y el sitio.

Son necesarios cercos perimetrales para evitar el acceso no autorizado al sitio, se requiere un cuidadoso mantenimiento al frente de trabajo. Durante tiempos inclementes podría ser necesario contar con tractores para asistir a los camiones. El barro y la suciedad que se adhieren al camión por su operación en el sitio ser retirado del mismo antes que abandone el recinto del relleno.

1.3.1. Método de trinchera o zanja. Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de 2 ó 3 metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga. Es de anotar que existen experiencias de excavación de trincheras hasta de 7 metros de profundidad para relleno sanitario. La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra.

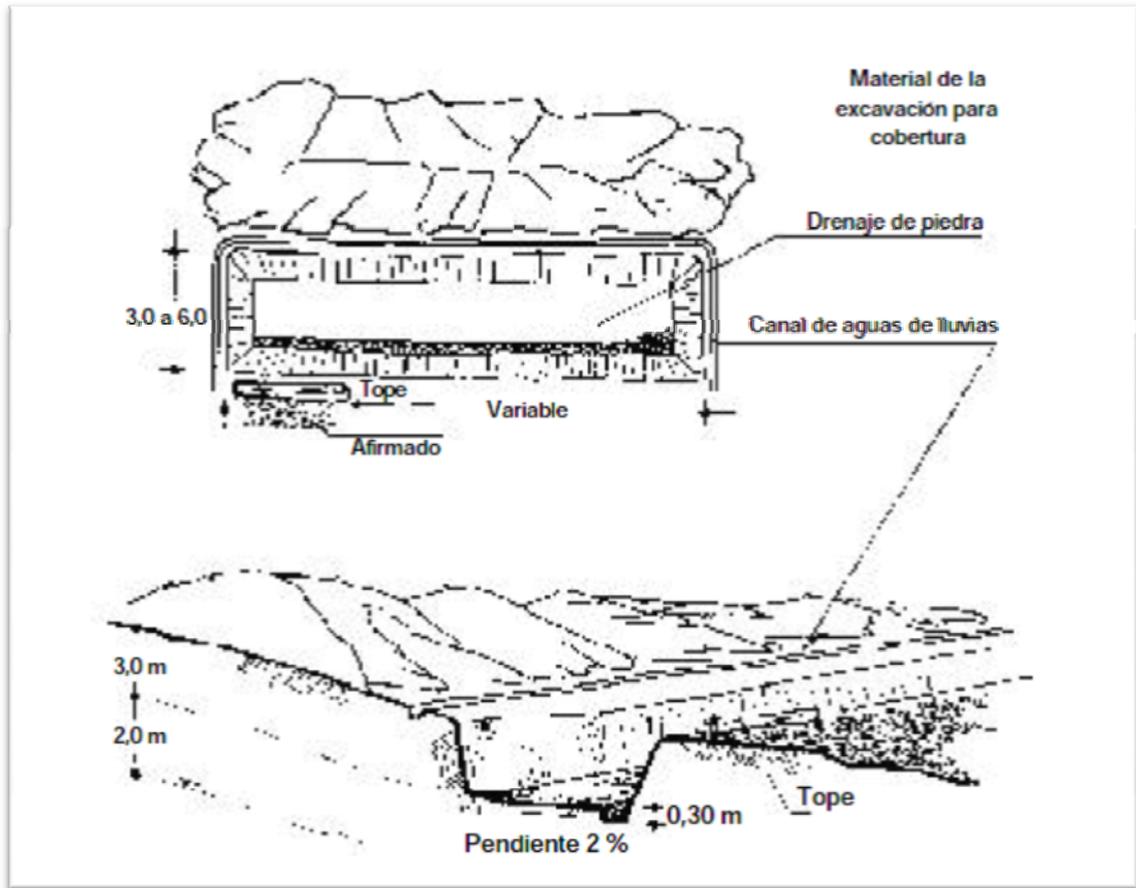
Se debe tener cuidado en época de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. Por lo tanto, se deben construir canales perimetrales para captarlas y desviarlas e incluso proveerlas de drenajes internos. En casos extremos, puede requerirse el bombeo del agua acumulada. Las paredes longitudinales de las zanjas tendrán que ser cortadas 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

⁶ <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

freático alto o muy próximo a la superficie del suelo no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

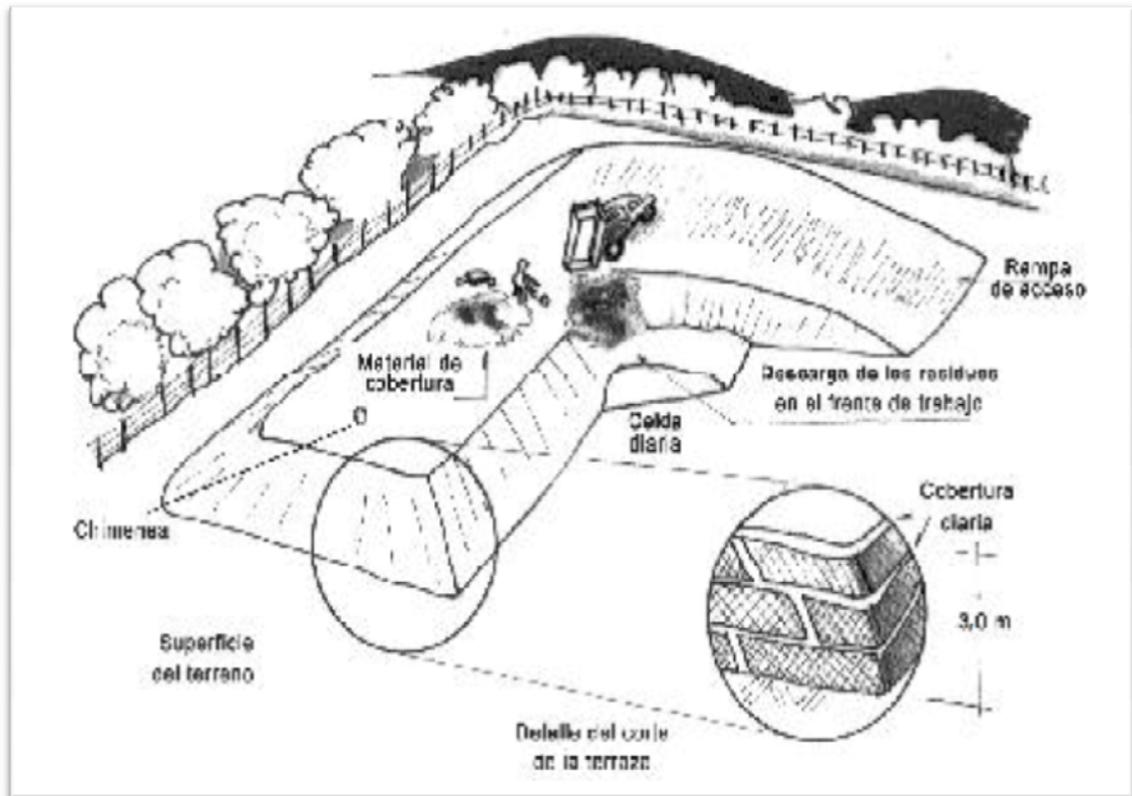
Figura 2. Método de trinchera para construir un relleno sanitario⁷.



1.3.2. **Método de área.** En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno.

⁷ JARAMILLO, Jorge. GUÍA PARA EL DISEÑO CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS. Washington D. C., septiembre de 1991.

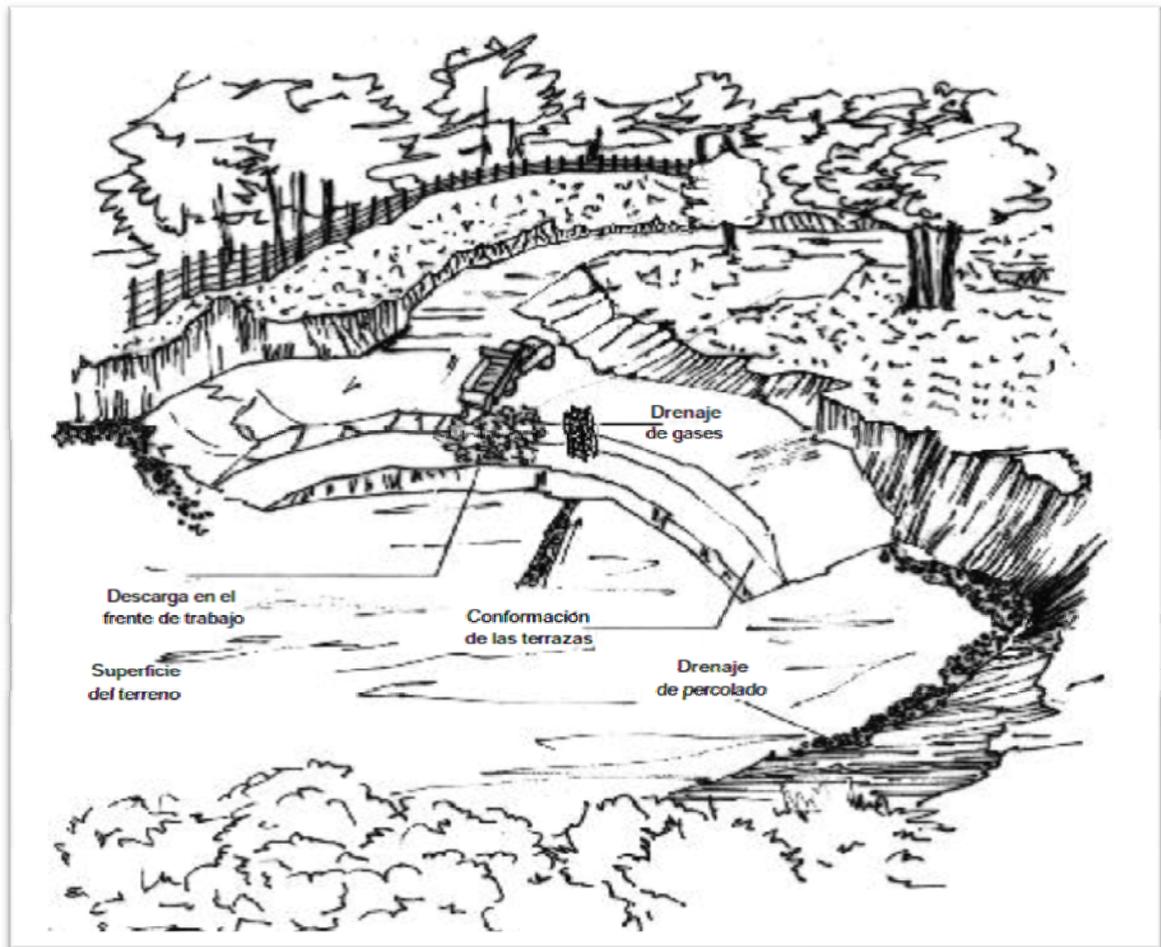
Figura 3. Método de área para construir un relleno sanitario⁸.



Se adapta 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 se debe procurar lo más cerca posible para evitar el encarecimiento de los costos de transporte. 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 vacía en la base del talud, se extiende y apisona contra él, y se recubre diariamente con una capa de tierra de 0,10 a 0,20 metros de espesor; se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 30 grados en el talud y de 1 a 2 grados en la superficie.

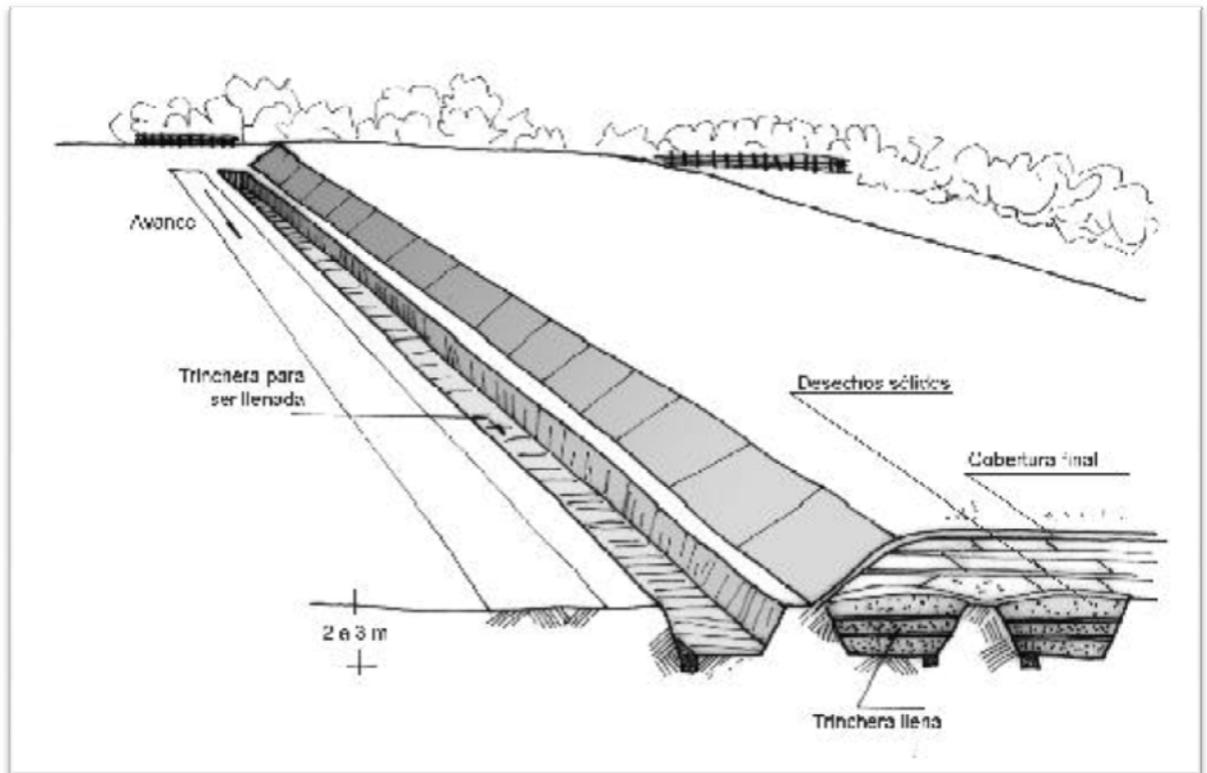
⁸ Ibíd.

Figura 4. Método de área para rellenar depresiones⁹.



⁹ Ibíd.

Figura 5. Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario¹⁰.



1.3.3. Combinación de ambos métodos. Es necesario mencionar que, dado que estos dos métodos de construcción de un relleno sanitario tienen técnicas similares de operación, pueden combinarse lográndose un mejor aprovechamiento del terreno del material de cobertura y rendimientos en la operación.

1.4. VENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO¹¹

- ☞ El relleno sanitario, como método de disposición final de los desechos sólidos urbanos, es sin lugar a dudas la alternativa más conveniente para nuestros países. Sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.
- ☞ La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implantar cualquiera de los métodos de tratamiento: incineración o compostación.
- ☞ Bajos costos de operación y mantenimiento.

¹⁰ Ibíd.

¹¹ Ibíd.

- ☞ Un relleno sanitario es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostación.
- ☞ Generar empleo de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.
- ☞ Recuperar gas metano en grandes rellenos sanitarios que reciben más de 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía.
- ☞ Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- ☞ Recuperar terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo, etc.
- ☞ Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación.
- ☞ Se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.

1.5. DESVENTAJAS DE UN RELLENO SANITARIO¹²

- ☞ La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores tales como:
 - ☞ La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
 - ☞ Asociarse el término “relleno sanitario” al de un “botadero de basuras a cielo abierto”.
 - ☞ La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.
 - ☞ El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.
 - ☞ La supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones. En las pequeñas poblaciones, la supervisión de rutina diaria debe estar en manos del encargado del servicio de aseo, debiendo éste contar a su vez con la asesoría de un profesional responsable, dotado de

¹² Ibíd.

experiencia y conocimientos técnicos adecuados, quien inspecciona el avance de la obra cada cierto tiempo, a fin de evitar fallas futuras.

- ☞ Existe un alto riesgo de transformarlo en botadero a cielo abierto por la carencia de voluntad política de las administraciones municipales, ya que se muestran renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.
- ☞ Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones.
- ☞ Los asentamientos más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno, por lo tanto, se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y de la precipitación pluvial de la zona.

1.6. RESIDUOS SÓLIDOS

Con este término se denomina cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de servicios.

1.6.1. Características. Las características de los residuos sólidos varían en cada municipio en función de la actividad dominante (industrial, comercial, turística, etc.), las costumbres de la población como ritmos, costumbres, alimentación, hábitos, patrones de consumo y clima, principalmente.

Para determinar las características de los residuos sólidos de un municipio determinado es necesario realizar determinaciones periódicas (no más de 10 años en promedio) de los siguientes aspectos:

1.6.1.2. Características físicas

- **Composición gravimétrica.** Es el peso porcentual de cada componente en relación con el peso total de los residuos maneados, se expresa en porcentaje (%).
- **Peso específico.** Es la relación del peso de los residuos en función del volumen que ocupan, se expresa en Kg/m. Su determinación es fundamental para el dimensionamiento de equipos e instalaciones.
- **Compresibilidad.** También se conoce como grado de compactación, indica la reducción en volumen que puede sufrir una determinada masa de residuos cuando es sometida a una presión determinada, se expresa en porcentaje (%). Dependiendo del sistema de compactación que se use, nos da la idea de la reducción de volumen que podemos lograr para facilitar su transporte.

- **Producción per cápita.** Relaciona la cantidad de residuos generados diariamente por un habitante de una región determinada. Se expresa en Kg/hab-día.

En la tabla 1., se presenta la Producción *Per Cápita* (PPC) de algunas ciudades colombianas. Las cifras de PPC tienen amplias variaciones en algunos casos; en especial, en ciudades y localidades ubicadas en los rangos de menos población.

Tabla 1. Producción *per cápita* por rangos de población, año 1995¹³.

CIUDAD	DEPARTAMENTO	HABITANTES	TONELADAS DIARIAS	PPC (Kg/HAB-DÍA)
Bogotá	Cundinamarca	5.698.566	4.225,00	0.74
Cali	Valle del Cauca	1.812.876	1.400,00	0.77
Medellín	Antioquia	1.484.757	977,00	0.65
Barranquilla	Atlántico	1.000.283	924,00	0.92
Cartagena	Bolívar	576.307	8,47	0.93
Santa Marta	Magdalena	210.915	245,00	1.10
Sincelejo	Sucre			
Riohacha	Guajira	101.550	45,00	0.44

Tabla 2. Valores típicos de la PPC para municipios colombianos¹⁴.

NIVEL DE COMPLEJIDAD	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	VALOR PROMEDIO
Bajo (menor 12.500 hab.)	0,30	0,75	0,45
Medio (12.500 – 60.000 hab.)	0,30	0,95	0,45
Alto (mayor 60.000 hab.)	0,44	1,10	0,79

A nivel de pre-diseño del sistema deben considerarse los rangos que se muestran en la tabla 2, si no se ha realizado un estudio de la producción *per cápita*.

1.6.1.3. Características químicas

- **Poder calorífico.** Indica la capacidad potencial de calor que puede desprender un material cuando es quemado.

Este es un parámetro importante para determinar el posible método de eliminación; parámetro básico para un tratamiento de incineración y para establecer un balance energético en un proceso de pirolisis (Kcal/Kg).

¹³ SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS. ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN COLOMBIA, 1996 y “SUPERCIFRAS” Revista #. 3.

¹⁴ RAS, Título F, valor típico de la producción per cápita.

- **Potencial de hidrógeno (PH).** Indica el grado de acidez o alcalinidad de los residuos.
- **Composición química.** Es importante conocer el porcentaje de cenizas, materia orgánica, carbono, nitrógeno, humedad, potasio, relación carbono-nitrógeno (C/N), calcio y fósforo, entre otros, para definir tipos de tratamientos aplicables a los residuos.

1.6.1.4. **Características biológicas.** Es importante conocer la población microbiana y los agentes patógenos presentes en los residuos sólidos.

1.6.2. Composición

1.6.2.1. **Composición gravimétrica.** En términos generales, para Colombia los resultados obtenidos en los diferentes estudios de composición coinciden con lo esperado, para países latinoamericanos, pudiéndose destacar un alto porcentaje de materia orgánica putrescible, (52 a 82%), contenidos moderados de papel y cartón (8 al 18%), plástico y caucho (3 al 14%), y vidrio y cerámica (3 al 8%). En la tabla N° 3 se muestran algunos valores determinados en algunas ciudades del país.

Tabla 3. Comparación de la composición física de los residuos sólidos en algunas ciudades de Colombia.

COMPONENTE	BOGOTÁ (1) %	MEDELLÍN (2) %	CARTAGENA (1) %	CALI (1) %
Papel y cartón	18,29	17,76	10,30	7,87
Vidrio y cerámica	4,62	4,87	2,00	1,64
Metales	1,64	2,06	3,50	0,14
Plásticos y caucho	14,19	10,51	10,30	2,6
Cueros	1,76	0,08	1,10	
Madera	3,06	3,00	3,20	1,40
Textiles	3,82	53,21	1,43	0,80
Material orgánico ladrillos	52,31	2,89	64,40	82,36
Otros	0,30	5,62	3,77	3,20

Fuentes: (1) Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia, 1996.

(2) Sistema de Información del Servicio Integrado de Aseo para Medellín y sus cinco corregimientos – SIAM5 – EEVVM E. S. P. – U. de A., 1998.

1.6.2.2. Composición química

Tabla.4: Composición química de los residuos para algunas ciudades colombianas

COMPONENTE	BOGOTÁ	MEDELLÍN
Humedad (%)	72,0	77,200
Carbono	41,0	
C/N	26,0	
Cenizas (%)	26,0	6,200
Potasio (%)	1,7	0,012
Poder calorífico	3.391	
Fósforo	2.959	6,700
pH		5,500

Fuentes: (1) Manejo y Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales, SENA 1997.
 (2) Sistema de Información del Servicio Integrado de Aseo para Medellín y sus cinco corregimientos – SIAM5 – EEVVM E. S. P., – U. de A., 1998

1.7. GASES

Figura 6. Sistema de evacuación de gases¹⁵.



Un relleno sanitario es un reactor bioquímico, con residuos y agua como entradas principales, y con gases de relleno sanitario y lixiviado como principales salidas. El material almacenado en el relleno sanitario incluye: Material orgánico parcialmente biodegradado y otros materiales inorgánicos de los residuos

¹⁵ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía Ambiental de Rellenos Sanitarios. 2002.

originalmente colocados en el relleno sanitario. Se emplean los sistemas de control de los gases para prevenir el movimiento indeseable hacia la atmósfera, o el movimiento lateral o vertical a través del suelo circundante. Se puede utilizar el gas recuperado del relleno para producir energía, o se puede quemar, bajo condiciones controladas, para disminuir la emisión de constituyentes dañinos a la atmósfera.

Los gases encontrados en un relleno sanitario, de acuerdo con lo expuesto por diversos investigadores del tema son: dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, ácido sulfhídrico, metano, nitrógeno y oxígeno, así como ácidos grasos volátiles.

1.7.1. **Características.** En la tabla 5 se presentan datos sobre el peso molecular y la densidad.

Tabla 5. Peso molecular, densidad y peso específico de los gases encontrados en un relleno sanitario controlado en condiciones estándar (0°C, 1 ATM)

GAS	FORMULA	PESO MOLECULAR	DENSIDAD (g/l)	PESO ESPECÍFICO (Kg/m ³)
Aire		28.97	1.2928	1.293
Amoniaco	NH ₃	17.03	0.7708	0.771
Dióxido de carbono	CO ₂	44.00	1.9768	1.977
Monóxido de carbono	CO	28.00	1.2501	1.250
Hidrógeno	H ₂	2.016	0.0898	0.089
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	34.08	1.5392	1.538
Metano	CH ₄	16.03	0.7167	0.717
Nitrógeno	N ₂	28.02	1.2507	1.257
Oxígeno	O ₂	32.00	1.4289	1.428

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, *et al.* GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. 1995.

El metano y el dióxido de carbono son los principales gases procedentes de la descomposición anaerobia de los componentes biodegradables de los residuos.

El metano, cuando está presente en el aire en concentraciones de entre el 5 y el 15%, es explosivo.

A medida que pasa el tiempo en el interior del relleno sanitario, las fracciones de los gases generados cambian continuamente. No existe un tiempo límite para estos procesos y dependerán en cada caso de diversos factores que pueden alterar este proceso.

1.7.2. **Composición.** El gas del relleno sanitario está compuesto de varios gases que están presentes en grandes cantidades (gases principales) y de varios gases que están presentes en pequeñas cantidades (oligogases). Los gases principales proceden de la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos; algunos de los oligogases, aunque presentes en pequeñas cantidades, pueden ser tóxicos y podrían presentar riesgos para la salud pública.

Los gases que se encuentran en los rellenos sanitarios incluyen amoníaco (NH₃), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), metano (CH₄), nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂).

En la tabla 6 se presentan las distribuciones tipo de los gases que se encuentren en un relleno sanitario de residuos sólidos urbanos.

Los gases que se encuentran en cantidades trazas son importantes ya que pueden causar problemas en los equipos utilizados para la desgasificación y muchos de ellos son perjudiciales para la salud. Son en su mayor parte orgánicos y muchos de ellos se clasifican dentro de los compuestos orgánicos volátiles (AGV). Algunos de estos compuestos son: acetona, benceno, clorobenceno, cloroformo, dicloro-metano, bromuro de etileno, etilbenceno, tolueno, estirenos, xilenos, acetato de vinilo, etc.

Tabla 6. Constituyentes tipo encontrados en el gas de relleno sanitario de residuos sólidos urbanos

COMPONENTE	PORCENTAJE (BASE VOLUMEN SECO)
Metano	45 – 60
Dióxido de carbono	40 – 60
Nitrógeno	2 – 5
Oxígeno	0.1 – 1.0
Sulfuros, disulfuro, mercaptanos, etc.	0.0 – 1.0
Amoníaco	0.1 – 1.0
Hidrógeno	0.0 – 0.2
Monóxido de carbono	0.0 – 0.2
Constituyentes en cantidades traza	0.01 – 0.6
Características	Valor
Temperatura	37 – 67
Densidad específica	1.02 – 1.06
Contenido de humedad	Saturado
Poder calorífico superior, Kcal/m ²	890 – 1223

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, *et al.* GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, 1995.

1.7.3. Migración

1.7.3.1. **Rellenos sanitarios aerobios.** La compañía Ralph Stone Co. (1969), investigó el concepto de aireación forzada en celdas de rellenos aerobios por medio de tuberías enterradas. En este método se suministra aire a los residuos dentro del relleno para, al mismo tiempo, remover los gases de descomposición a través de las celdas, produciéndose una descomposición aerobia.

Al mantener esta degradación aerobia dentro de las celdas se acelera la descomposición sin producir gases tóxicos y explosivos. Las investigaciones demostraron que este método es factible.

1.7.3.2. **Rellenos sanitarios anaerobios.** En la mayoría de los casos, más del 90% del volumen del gas producido de la descomposición de residuos sólidos consiste en metano y dióxido de carbono. Sin embargo, no hay oxígeno en un relleno sanitario cuando las concentraciones de metano alcanzan el nivel crítico (15%) en el relleno, y tampoco hay peligro que el relleno explote. Aunque la mayor parte del metano escapa a la atmósfera, se han encontrado concentraciones de ambos, metano y dióxido de carbono, hasta del 40% a distancias laterales hasta de 125 metros de los bordes del relleno.

Para rellenos sanitarios sin ventilación, la extensión de este movimiento lateral varía con las características del material de recubrimiento y el suelo circundante. Si el metano es sacado a la atmósfera en una manera no controlada, se puede acumular, debido a que su peso específico es menos que el del aire, debajo de construcciones o en otros espacios cerrados o cerca de ellos, en un relleno sanitario.

El dióxido de carbono, por otro lado, es molesto debido a su densidad. El dióxido de carbono es alrededor de 1.5 veces más denso que el aire y 2.8 veces más denso que el metano, de manera que tiende a moverse hacia el fondo del relleno. Como resultado, la concentración de dióxido de carbono en las partes más bajas del relleno sanitario puede ser elevada durante años.

Finalmente, debido a su densidad, el dióxido de carbono también se moverá hacia abajo a través de la formación subyacente hasta alcanzar el agua subterránea. Debido a que el dióxido de carbono es muy soluble en el agua, generalmente baja el PH, lo que a su vez aumenta la dureza y el contenido mineral del agua subterránea mediante solubilización.

1.8. LIXIVIADOS

Los residuos, especialmente los orgánicos, al ser compactados por maquinaria pesada liberan agua y líquidos orgánicos, contenidos en su interior, en el que escurre

preferencialmente hacia la base de la celda. La basura, que actúa en cierta medida como una esponja, recupera lentamente parte de estos líquidos al cesar la presión de la máquina, pero parte de él permanece en la base de la celda. Por otra parte, la descomposición anaeróbica rápidamente comienza a actuar en un relleno sanitario, produciendo cambios en la materia orgánica, pero de sólidos a líquidos y luego de líquido a gas, pero es la fase de licuefacción la que ayuda a incrementar el contenido del líquido en el relleno, y a la vez su potencial contaminante. En ese momento se puede considerar que las basuras están completamente saturadas y cualquier agua, ya sea subterránea o superficial, que se infiltre en el relleno, lixiviará a través de los desechos arrastrando consigo sólidos en suspensión y compuestos orgánicos en solución. Esta mezcla heterogénea, de un elevado potencial contaminante, es lo que se denomina lixiviado.

Es decir, se entiende por lixiviado el líquido residual que es generado en la descomposición bioquímica de los residuos o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación, este líquido tiende a salir, por gravedad, por la parte inferior del relleno sanitario, hasta que una capa impermeable lo impida.

Tabla 7. Composición de líquidos percolados de un relleno sanitario con desechos domésticos.

COMPONENTES	RANGO
CLORUROS	100 – 400
COBRE	0 – 9
HIERRO	50 – 600
FLUOR	0 – 1
CADMIO	0 – 17
CROMO (VI)	2
PLOMO	2
SODIO	200 – 2000
SULFATOS	100 – 1500
NITRATOS	5 – 40
DUREZA (CaCO ₃)	300 – 10000
DBO	2000 – 30000
DQO	3000 – 45000
PH	5.3 – 8.5

Fuente: <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

En rellenos sanitarios con alturas mayores de 15 metros, es necesario hacer estudios hidráulicos para el manejo de las presiones piezométricas y evitar el aumento de la presión de poros dentro de la masa de residuos, que puede causar problemas de inestabilidad; se deben colocar filtros de piedra, por lo menos cada 15 metros.

En rellenos sanitarios con alturas inferiores a 15 metros, se debe permitir que el lixiviado percole a través de los residuos hasta la capa inferior de material permeable.

Los filtros captadores de lixiviados dentro del relleno sanitario irán por la pata del talud, de tal manera que se puedan sacar del área del relleno sanitario y conducirlos a un sistema de tratamiento.

La pendiente longitudinal de estos filtros debe ser siempre mayor que 3%; una vez que salgan del relleno sanitario, los filtros se podrán cambiar por tuberías de diámetro mínimo de 15cm., que los lleve al sistema de almacenamiento y tratamiento.

Cuando llueve una parte del agua se pierde en la escorrentía superficial, otra se evapotranspira y el agua restante se filtra a través de los residuos en el relleno sanitario, siendo contaminada con diversos componentes inorgánicos y orgánicos.

1.8.1. Características. Las características de los lixiviados generados en rellenos sanitarios, dependerán de las características de los residuos depositados y de las condiciones reinantes en él, como temperatura, contenido de humedad, edad del relleno, capacidad del suelo para remover contaminantes y la calidad y cantidad del agua que entra en contacto con la masa de residuos dispuestos.

Las características fisicoquímicas de los lixiviados son inherentes tanto a la calidad de los residuos sólidos como a su grado de estabilización. Desde que los residuos sólidos son generados y aún temporalmente dispuestos, tiene lugar la degradación aeróbica, que es comparable con la compostación de los residuos.

Debido a la alta compresión de los residuos, el oxígeno tomado de la atmósfera no es suficiente para compensar la demanda de oxígeno de los microorganismos, por lo que se originan condiciones anaerobias. Esta situación es la causa del cambio de la biocenosis de aerobia a anaerobia facultativa y más tarde a microorganismos anaerobios obligados.

La fase de fermentación ácida puede durar de 3 a 7 años; dependiendo de la forma y factores ambientales que predominen. En la disposición los lixiviados pueden presentar concentraciones muy altas de DQO y DBO5. Durante esta fase (3 a 7 años) la relación DBO5/DQO es aproximadamente 0,6. En este caso, alrededor del 90% de la DBO5 es causada por ácidos grasos volátiles (AGV), lo que significa que la biodegradabilidad del lixiviado durante este lapso de tiempo es alta.

El incremento de las bacterias metanogénicas afecta negativa y progresivamente la producción de AGV. Después de un período de 7 a 9 años la biocenosis alcanza un estado estable, denominada fase metanogénica.

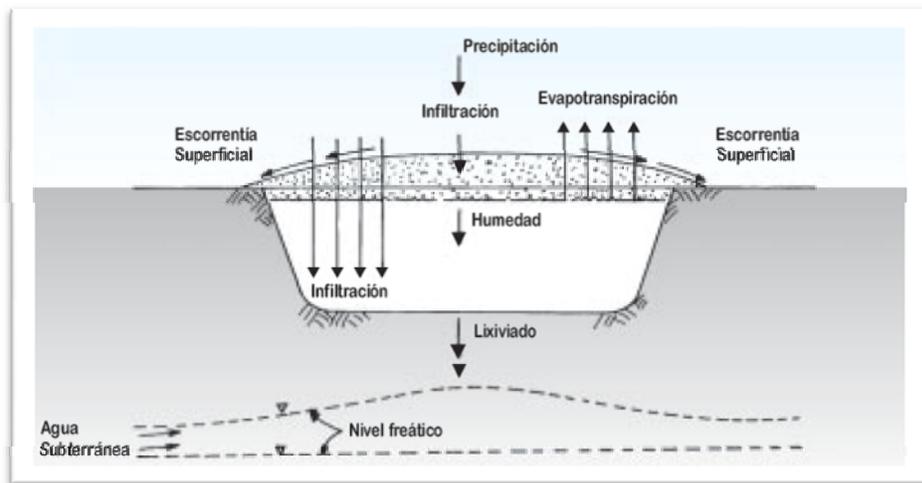
La contaminación orgánica del lixiviado disminuye rápidamente lo que da como resultado que la DBO5 presente valores más bajos que 500 mg/l y la relación DBO/DQO se acerca a 0,1 y aún más bajos.

Contrario a la disminución de la contaminación orgánica del lixiviado, las concentraciones de amonio aumentan rápidamente, alcanzando concentraciones de 500-1500 mg/l NH_4 en un período de 3 a 8 años y permaneciendo así por lo menos 50 años o más (Agudelo, 1994).

1.8.2. **Generación.** El agua que se introduce en el seno de la masa de residuos, debido principalmente a fuentes externas (agua lluvia, drenaje superficial, agua subterránea, entre otras), se filtra a través de los residuos sólidos en descomposición lo que produce la lixiviación de materiales biológicos y compuestos químicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Este proceso da lugar a la aparición de unas corrientes líquidas caracterizadas principalmente por un gran número de sustancias, con valores a menudo extremos de PH, alta carga orgánica y metales pesados, así como por su intenso mal olor (Erigh, 1989).

Uno de los modelos con los cuales se estima la producción de lixiviado involucra los componentes mostrados en la figura 7 y descrito a continuación.

Figura 7. Balance de agua en un relleno sanitario¹⁶.



- ⊕ Precipitación (P): es la cantidad de lluvia que cae sobre el terreno del relleno, siendo (RO) la fracción de ésta que ocurre superficialmente (escorrentía).
- ⊕ Infiltración (I): es la fracción de (P) que se infiltra entre las capas de los residuos dispuestos. La tasa de infiltración depende del tipo de superficie con que se cuenta, material de cobertura final, cobertura vegetal, material de cobertura diaria e intermedia o residuos descubiertos).

¹⁶ Ibíd.

- ⊕ **Evapotranspiración (ETP):** corresponde a la parte del líquido que se evapora de la superficie y/o se transpira (T) por acción de la cobertura vegetal.
- ⊕ **Saturación (S):** es la deficiencia en el almacenamiento de humedad del terreno, es la diferencia de la capacidad de campo (FC) y el volumen de humedad existente (MC).
- ⊕ **Percolación (PERC):** es el porcentaje de precipitación (P) que no se infiltra, ni escurre, y que tampoco es sometido a la evapotranspiración, la cual se convierte luego en lixiviado (L).

La percolación puede ser aumentada por la intrusión al relleno de aguas subterráneas (G). El procedimiento de cálculo que involucra estos elementos se denomina “Método de equilibrio del agua” (WB) el cual ha sufrido diversas variaciones desde su formulación en 1975 por Fenn (1989). En su momento este método consistía en un procedimiento de cálculo manual de acuerdo con los registros mensuales de precipitación, a partir de este método se han desarrollado modelos para computadoras de los cuales el más usado por su precisión es el modelo HELP (Schroeder, 1983).

Una predicción exacta del flujo de lixiviados es muy difícil de lograr debido a las incertidumbres asociadas a la estimación de las variables que componen el método, cuya formulación algebraica es:

$$\text{PERC} = P - RO - \text{ETP} - S + G$$

El cual requiere conocer datos básicos como temperatura, precipitación, índice de calor, crecimiento vegetal, coeficiente de escorrentía, compactación, capacidad de almacenamiento de humedad, etc.

El primer estudio exitoso, realizado para predecir la producción de lixiviados, fue publicado por Kmet (1982), quién utilizó el método de equilibrio del agua para simular la producción de lixiviado estimando su flujo en porcentajes comprendidos entre 16.6% y 22.1% de la precipitación media anual.

En condiciones normales, el lixiviado se encuentra en el fondo de los rellenos sanitarios. Desde allí el movimiento es a través de los estratos subyacentes, aunque también ocurre un movimiento lateral, dependiendo de las características del material circundante y de la forma del suelo que soporta el lleno (topografía, pendiente, tipo de suelo, forma de la cuenca...).

1.8.3. Producción de lixiviados¹⁷. De acuerdo con los conocimientos actuales, las cantidades de lixiviados pueden determinarse según el grado de compactación del relleno:

¹⁷ EHRIG, Hans-Jürgen. CANTIDAD Y CONTENIDOS DE LIXIVIADOS DE RELLENOS DE DESECHOS DOMÉSTICOS.

- Rellenos compactados con compactadores: 25% de la tasa de precipitación anual (aproximadamente 5m³/hab/d para el caso de 750mm de precipitación anual).
- Rellenos compactados con orugas: 40% de la tasa de precipitación anual (aproximadamente 5m³/hab/d para el caso de 750mm de precipitación anual).

Las cantidades de lixiviados para rellenos se ubican aproximadamente entre estos valores. Estos valores representan un resumen de los análisis de lixiviados de rellenos ubicados en las zonas con 500 a 1050 mm de precipitación anual (tabla 8).

Tabla 8. Análisis de lixiviados.

	RELLENO	PRECIPITACIÓN mm/a	LIXIVIADOS		OBSERVACIONES
			(% de N)	(m ³ /hab/d)	
a	1	571	31.3	4.9	
	1	571	4.4	0.4	Recubierto con material aglutinante
	2	501–729	25–48.2	5.3–8.3	Parcialmente
	3	662	58.2	10.6	
	4	632	32.3	5.9	Recubierto y recultivado
	5	565–655	39.2–42.0	6.1–7.5	
	6	636	19.9–21.4	3.5–3.7	
b	7	719–936	3.9 – 21.3	0.8 – 5.2	En los tres últimos años valores altos
	8		28.9 – 31.8	4.4 – 4.8	
c	9	652	15.1	2.7	
	10	651–998	12.2 – 29.8	3.2 – 8.1	Recubierto y recultivado en los últimos 1.5 años en aumento
	11	651–998	16.9 – 21.6	3.0 – 5.9	
	12	632	16.3 – 18.3	2.8 – 3.2	
	13	509	16.8	2.3	
	14	556–1057	15.6 – 19.6	2.6 – 5.1	
	15	770	3.3 – 7.2	0.7 – 1.1	Relleno muy joven
	16	—	22	3.8	Ciclo de lixiviados (recubierto con material aglutinante)
	17	—	38	6.7	Ciclo de lixiviados
a = Compactación con oruga b = Relleno con producción de compost c = Compactación con compactadores					

Fuente: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. GUÍA AMBIENTAL DE RELLENOS SANITARIOS. 2002.

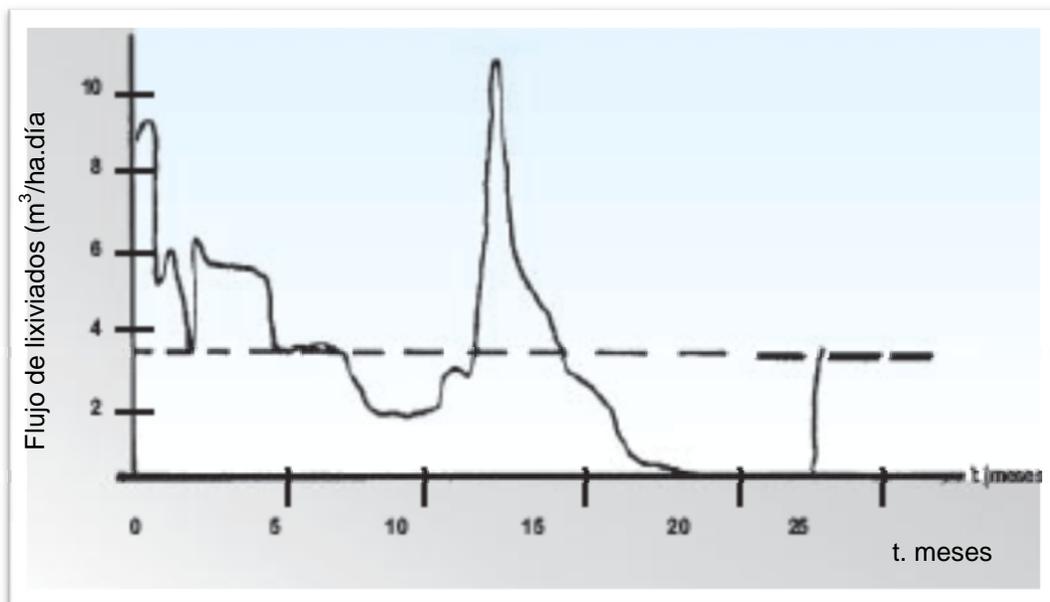
En la práctica pueden darse desviaciones de estos valores, condicionadas por particularidades locales, por ejemplo mayores cantidades de lixiviados en las

laderas; compactado natural causado por el agua del subsuelo que penetra en el relleno; disminución por retención en el relleno, en el caso de rellenos que estén ubicados en depresiones o cuando hay recubrimiento con material aglutinante. En este tipo de rellenos pueden retenerse cantidades considerables de lixiviados, que pueden conducir a problemas en la operación y estabilidad.

Al calcular las cantidades de lixiviados hay que tener en cuenta que, por lo general, su producción no está distribuida en forma equitativa a lo largo del año, con excepción de la retención débil a media en el relleno.

En la figura 8 se presenta como ejemplo las precipitaciones semanales y las cantidades de lixiviados de un relleno, que muestran el posible gran margen de variación de estos valores. En la representación se puede reconocer que los valores extremos de la salida de lixiviados pueden ser hasta 300–400% mayores que los valores medidos.

Figura 8. Producción de lixiviados¹⁸.



Ejemplo de las precipitaciones semanales y de la curva de lixiviados del relleno de Senne (Alemania)

1.9. MATERIAL DE COBERTURA

El material de cobertura es aquel que se explota en el mismo sitio del relleno sanitario o en sitios aledaños, o es importado de otros lugares y sirve para el cubrimiento de los residuos una vez compactados.

¹⁸ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía Ambiental de Rellenos Sanitarios. 2002.

La utilización del material de cobertura tiene como finalidad aislar los residuos de su entorno, ya sea impidiendo la salida indiscriminada de flujos gaseosos no controlados hacia el exterior, o cortando la infiltración de agua de escorrentía hacia el cuerpo de residuo, o actuando como barrera ante la posible acción de animales como insectos, roedores y aves.

Una de las principales funciones del material de cobertura es la de evitar la infiltración del agua de escorrentía; por lo tanto, deberá impedir la formación de encharcamientos y retenciones de agua al tener pendientes suaves o que, contrariamente, presente erosión por pendientes elevadas.

El material de cobertura debe ser retirado cuando se vaya a construir sobre la terraza una nueva celda, con el fin de darle estabilidad a los residuos, facilitar la percolación de los lixiviados producidos por la descomposición química y permitir la salida de los gases.

El material de cobertura, además de evitar la infiltración del agua de escorrentía e impedir la salida de lixiviados y gases de forma descontrolada, también sirve para el control de incendios, y para dar un aspecto paisajístico agradable al relleno sanitario.

También para prevenir la presencia y proliferación de vectores sanitarios (ratas, moscas y otros) así como de gallinazos; controlar y disminuir la entrada de agua a la masa de residuos dispuestos, evitar incendios y presencia de humos, minimizar los malos olores, orientar la salida de gases hacia el sistema de drenaje construido para evacuar estos a la atmósfera, servir de soporte para la circulación de vehículos en la operación del relleno y permitir el crecimiento de vegetación.

Las capas de material de cobertura, ya sean intermedias o de sellado final, deben seleccionarse de acuerdo con las categorías que se desee obtener. En la tabla 9 se muestran algunos tipos de materiales de cobertura utilizados en rellenos sanitarios y su calificación en cuanto a las funciones para las cuales se requieren estos tipos de materiales.

El terreno donde se construirá y operará el relleno sanitario debe tener abundante material de cobertura, el cual debe ser fácil de extraer y, en lo posible, con buen contenido de arcilla por su baja permeabilidad y elevada capacidad de absorción de contaminantes.

Cuando sea escaso en el propio sitio, se debe garantizar su adquisición en forma permanente y suficiente, teniendo en cuenta su disponibilidad en lugares vecinos y los costos de transporte. De no ser así, es preferible desechar el lugar antes del inicio de cualquier trabajo, puesto que se corre el riesgo de convertirlo en un botadero a cielo abierto. Los requerimientos de material de cobertura están entre el 15 y el 30% del total de los residuos dispuestos.

Tabla 9. Tipos de suelo de recubrimiento de rellenos sanitarios¹⁹.

FUNCIÓN	TIPO GENERAL DEL SUELO					
	GRAVA LIMPIA	GRAVA LIMOSA ARCILLOSA	ARENA LIMPIA	ARENA LIMO ARCILLOSA	LIMO	ARCILLA
Evita que los roedores saquen suelo o hagan túneles	B	R-B	B	P	P	P
Impide la salida de moscas	P	R	P	B	B	E
Minimiza la entrada de humedad al relleno	P	R-B	P	B-E	B-E	E
Minimiza la salida del gas a través de la cubierta del relleno	P	R-B	P	B-E	B-E	E
Da una apariencia agradable y controla el vuelo de papeles	E	E	E	E	E	E
Soporta vegetación	P	B	P-R	E	B-E	R-B
Sale gas de la descomposición (es permeable)	E	P	B	P	P	P
E = Excelente – B = Bueno – R = Regular – P = Pobre						

1.10. FASE DE POST-INVERSIÓN: CLAUSURA DE RELLENOS

Figura 9. Relleno sanitario de Sincelejo “El Oasis” Primera etapa.



La clausura de un relleno sanitario implica la finalización o el cese de las operaciones para la disposición de residuos sólidos. En esta fase, ya no se acepta el ingreso de residuos sólidos al sitio y, en consecuencia, ellos deben ser dispuestos en otras instalaciones o manejados mediante otros métodos.

¹⁹ Ibíd.

En términos simples, la clausura de un relleno sanitario se refiere al período de tiempo cuando la operación de relleno sanitario ha cesado, razón por la cual dicho relleno se cubre con un material denominado cobertura final con el fin de darle seguridad a la estructura y eliminar focos de contaminación.

El período de tiempo posterior al cese de operaciones de disposición y durante el cual el relleno sanitario se mantiene y se controla durante un lapso indefinido es denominado el período de post-clausura. En la práctica, la clausura y post clausura incluyen la realización de un número de actividades que se indicarán más adelante.

La clausura y el cuidado que debe dársele a las estructuras y al lleno durante la post-clausura del relleno sanitario, son actividades importantes en el ciclo de vida de un relleno sanitario porque completan los requisitos para el manejo ambiental de la instalación de disposición final. En general, el cuidado post-clausura debe continuar hasta que los residuos sólidos se hayan estabilizado a un nivel tal que ya no constituyan un riesgo para la salud y la seguridad pública o para la calidad ambiental. La duración del cuidado post-clausura no se conoce con anterioridad y será específica para cada sitio de disposición final.

En los países desarrollados es normal tener un período de mantenimiento y control post-clausura de por lo menos 30 años. Los costos de clausura y post-clausura pueden ser muy elevados y deben tenerse en cuenta para una adecuada planificación, sus aspectos financieros, técnicos, ambientales, administrativos y su manejo fiscal, veedurías y participación comunitaria de un relleno sanitario, con el fin de establecer procesos transparentes, abiertos y de comunicación con las autoridades ambientales y la comunidad.

La clausura de un relleno sanitario va en relación directa del avance de llenado de celdas. Los planes de clausura deberán reducir los impactos ambientales a través de los años, por lo que se contemplarán las acciones para:

- Prevenir la infiltración de agua pluvial hacia el interior del relleno.
- Promover el drenaje de agua superficial hacia afuera del sitio.
- Prevenir la erosión de la cubierta final, y
- Prevenir la fuga incontrolada de biogás.

Para la clausura se tendrán dos objetivos básicos:

- a)** Minimizar la necesidad de un mantenimiento adicional del sitio.
- b)** Equipar al relleno sanitario para amortiguar los impactos ambientales a largo plazo.

1.10.1. Procedimientos operacionales. La clausura de cualquier relleno sanitario debe realizarse de acuerdo con un plan cuyo propósito es brindar orientación y procedimientos claros para que el relleno sanitario se cierre según las normas aplicables, se realice el control apropiado para el manejo de lixiviado, del gas producido durante la descomposición de los residuos en el relleno sanitario, del drenaje de aguas superficiales y se logre el uso final planificado y seguro para el sitio.

La clausura del relleno sanitario requiere planificación y preparación. Es probable que se necesiten varios estudios antes de efectuar la clausura; el tiempo y el contenido de los mismos dependerán de las circunstancias específicas del sitio. Para la clausura de un relleno sanitario se recomienda seguir los procedimientos que a continuación se detallan.

1.10.1.1. Planeación. Aunque el proyecto ejecutivo ya incluye los aspectos de clausura, la entidad operadora (Municipio, empresa, etc.) del relleno sanitario deberá presentar un proyecto actualizado a los cambios ocurridos durante la operación misma. Esta planeación deberá ser entregada a las autoridades responsables con meses de anticipación a la fecha prevista para iniciar la clausura del relleno sanitario.

Tabla 10. Requisitos y forma de control en el procedimiento de planeación para la clausura de un relleno sanitario.

REQUISITOS	ENTIDAD RESPONSABLE		FORMA DE CONTROL
	MUNICIPIO	EMPRESA	
Revisión de los planos relativos a la topografía final del sitio		X	Levantamiento topográfico
Elaboración del proyecto de clausura		X	Supervisión del avance de proyecto
Especificar el tipo y las fuentes del material de cobertura	X	X	Visita de campo al banco de materiales

Fuente: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO – SECRETARÍA DE ECOLOGÍA. MANUAL PARA LA SUPERVISIÓN Y CONTROL DE RELLENOS SANITARIOS.

En la etapa de planeación de la clausura de un relleno sanitario se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ Relación de estudios hidrogeológicos que describan la relación física entre el relleno sanitario y la hidrogeología del sitio y cualquier efecto observado en la calidad de las aguas subterráneas.
- ✓ Determinar la conformación final del sitio: comprende definir la topografía final del sitio que muestre los contornos acabados del relleno sanitario, el área colindante y las características planimétricas importantes, tales como cuerpos de agua, bosques, vías, caminos, asentamientos, edificaciones, linderos, entre otros.

- ✓ Diseño del sistema final de cobertura, incluyendo planos y especificaciones para los componentes del sistema y los detalles de la construcción.
- ✓ Identificación de las fuentes de donde se obtendrán los materiales de cobertura final, tales como arcillas o materiales sintéticos (de acuerdo al sitio).
- ✓ Diseño del paisaje final incluyendo las especificaciones y los detalles de construcción.
- ✓ Diseño del programa preparatorio de nivelación que describa los requisitos del contorno del relleno sanitario y la nivelación superficial para la posterior colocación de la cobertura final.
- ✓ Determinar el cierre por etapas de áreas específicas dentro del relleno: describe el programa de operación que se aplicará durante las etapas activas y finales del relleno sanitario para lograr el cierre por etapas. En el caso de los rellenos sanitarios pequeños donde el cierre es inmediato, este concepto no aplica.
- ✓ Diseño del programa de manejo y control de aguas superficiales, incluyendo el diseño de sistemas superficiales de drenaje y el control de la erosión y de la sedimentación.
- ✓ Diseño del programa de manejo y control de la contaminación de aguas subterráneas para la modificación del nivel freático natural y del flujo de las aguas subterráneas donde sea necesario mitigar los impactos adversos del relleno sanitario.
- ✓ Diseño del programa de manejo y control de lixiviado, requerido para los rellenos sanitarios revertidos y para los rellenos sanitarios no revertidos que necesitan descontaminar las aguas subterráneas.
- ✓ Diseño del programa de manejo y control del gas del relleno sanitario.
- ✓ Cálculo de costos para la construcción y atención post-clausura (es decir, operación, mantenimiento y control a largo plazo).

1.10.1.2. Actividades de pre-clausura (tres meses antes del cierre)

- Repaso y refinamiento del plan del cierre para la integridad del sistema de disposición final de residuos.
- Determinación de la fecha y hora de cierre.
- Notificar a la autoridad ambiental y entes reguladores del cierre del relleno.
- Establecer canales e instrumentos de notificación a los usuarios del relleno mediante comunicación escrita, si se permite el descargue privado de residuos es necesario notificar al público en general. De igual manera, es necesario que la ciudadanía se entere del asunto.

Tabla 11. Requisitos y forma de control en la etapa de pre-clausura de un relleno sanitario.

REQUISITOS	ENTIDAD RESPONSABLE		FORMA DE CONTROL
	MUNICIPIO	EMPRESA	
Revisar y aprobar el proyecto de clausura	X		Basado en el Proyecto
Preparar y aprobar la calendarización del registro de cierre	X	X	Verificar documento
Notificación a la institución reguladora y a los usuarios del sitio (municipios y sector privado)	X	X	Verificación de las copias de los documentos

Fuente: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO – SECRETARÍA DE ECOLOGÍA. Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios.

1.10.1.3. Durante el proceso de cierre

- No permitir la entrada de vehículos para el descargue de residuos.
- Ubicar señales en la entrada del relleno anunciando el cierre y el nuevo sitio de o sistema de disposición final de residuos, indicarlo con avisos de seguridad.
- Recolectar cualquier tipo de residuos, basura, escombros dentro del área del relleno y disponerlos apropiadamente en celdas.
- Emplazar el material de cobertura sobre las celdas con residuos expuestos.

Tabla 12. Requisitos y forma de control durante el proceso de cierre del relleno sanitario.

REQUISITOS	ENTIDAD RESPONSABLE		FORMA DE CONTROL
	MUNICIPIO	EMPRESA	
Cercado o estructura para fijar límites y delimitar acceso al sitio		X	Visitas de campo al sitio
Avisos de clausura del sitio e información del nuevo relleno sanitario		X	Visitas de campo al sitio
Asegurar la limpieza del sitio y zonas aledañas	X	X	Visitas de campo al sitio

Fuente: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO – SECRETARÍA DE ECOLOGÍA. Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios.

1.10.1.4. **En el post-cierre (tres meses después del cierre).** Se da un tiempo prudente, de unos tres meses, con el fin de terminar obras relacionadas con infraestructuras de manejo, así:

- Completar el sistema de drenaje de aguas de escorrentía.
- Completar el sistema para el manejo y control del lixiviado y gases.
- Construir estructuras adicionales para el monitoreo de aguas subterráneas.

- Instalar el sistema de instrumentación para determinar y monitorear los asentamientos, sobre presiones, deslizamientos y desplazamientos.
- Instalar la cobertura final de residuos.
- Establecer la cobertura vegetal y revegetalización de la zona.

Tabla 13. Requisitos y forma de control durante el proceso de post-cierre del relleno sanitario.

REQUISITOS	ENTIDAD RESPONSABLE		FRECUENCIA	FORMA DE CONTROL
	MUNICIPIO	EMPRESA		
Verificar la terminación de las obras de drenaje pluvial	X	X	Conforme avance de clausura	Visitas de campo al sitio
Verificar la instalación de dispositivos para el control de asentamientos de estructuras	X	X		Visitas de campo al sitio
Verificar que las características de la cubierta final estén conforme al diseño presentado	X	X	Conforme se avanza el cierre	Inspección ocular y mediciones en celdas clausuradas
Verificar la cubierta vegetal	X	X	Anual, después de la clausura	Visitas de campo al sitio

Fuente: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO – SECRETARÍA DE ECOLOGÍA. Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios.

1.10.1.5. Mantenimiento de largo plazo. Los sistemas de control y monitoreo de biogás y lixiviados requieren de un continuo mantenimiento y atención, lo mismo que el sistema de drenaje pluvial y el control de la erosión.

El período de post-clausura comprende un tiempo de 20 a 30 años.

Tabla 14. Requisitos y forma de control para el mantenimiento de rellenos sanitarios a largo plazo.

REQUISITO	ENTIDAD RESPONSABLE		FRECUENCIA	FORMA DE CONTROL
	MUNICIPIO	EMPRESA		
Monitoreo de biogás	X	X	Trimestral	Los parámetros que se indican: metano, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno, explosividad, toxicidad y flujo

REQUISITO	ENTIDAD RESPONSABLE		FRECUENCIA	FORMA DE CONTROL
	MUNICIPIO	EMPRESA		
Monitoreo de lixiviados	X	X	Mensual los primeros cuatro años. Después semestral	Para las aguas subterráneas los parámetros de rutina son: pH, oxígeno disuelto, conductividad específica, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO)
Verificar el funcionamiento de las instalaciones de drenaje pluvial	X	X	Semestral	Visitas de campo al sitio
Verificar el crecimiento de la vegetación y su mantenimiento	X	X	Semestral	Visitas de campo al sitio

Fuente: GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO – SECRETARÍA DE ECOLOGÍA. Manual para la supervisión y control de rellenos sanitarios.

1.10.2. Características operativas

1.10.2.1. Asentamientos. El asentamiento de los residuos sólidos en un relleno sanitario se manifiesta por una disminución, con el transcurso del tiempo, de la altura de la masa afectada y la posterior reducción de la elevación de la superficie del relleno sanitario. La tasa y la magnitud del asentamiento no es uniforme en función del tiempo, ni de la ubicación dentro del relleno sanitario. La falta de uniformidad puede ser una limitación grave en el uso del relleno sanitario clausurado.

En general, mientras más alta sea la concentración de los residuos sólidos orgánicos colocados en el relleno sanitario y mientras más profundo sea el relleno sanitario, mayor será el asentamiento. Si el grado de compactación y el tipo de residuos sólidos son similares, la tasa de asentamiento depende principalmente de la tasa de descomposición de los residuos sólidos y, en consecuencia, de los factores que influyen en la descomposición.

Las variaciones naturales de los factores anteriores y las grandes diferencias entre los procedimientos de operación encontrados en la práctica de los rellenos sanitarios, producen igualmente amplias variaciones en la tasa de asentamiento.

En un país industrializado, el asentamiento total de un volumen de relleno sanitario terminado durante la vida del relleno sanitario generalmente varía del 1% al 20%, y en la mayoría de los casos está dentro de un intervalo de entre 10% y 15%.

Generalmente, cerca del 90% del asentamiento total se produce durante el primer año. En algunos sitios se ha informado que la tasa de asentamiento fue mayor durante el primer después que el relleno sanitario fue terminado, y fue pequeña y relativamente uniforme después del tercer mes.

Al considerar la influencia de las condiciones climáticas, en un relleno sanitario de 6 metros de profundidad en una región de precipitación pluvial moderada (mayor de 1100 mm/año) y temperatura moderada, los asentamientos esperados estarán cerca del 20% después del primer año de finalización del relleno sanitario. En comparación, un relleno sanitario de 23 metros de profundidad en una región árida (menos de 600 mm/año de lluvia) y temperatura algo más cálida, sólo experimentan asentamientos de cerca del 3% en el tercer año después de la finalización del relleno sanitario.

En teoría, no ocurriría ningún asentamiento físico si la densidad inicial sobrepasa los 1.060 Kg/m^3 ; sin embargo, es posible un asentamiento teórico de 40% debido a los procesos de descomposición de los residuos sólidos. Se han medido tasas anuales de asentamiento de 0.55% a 4.7% en el caso de rellenos que han tenido una densidad original en el sitio de 650 a 1.200 Kg/m^3 .

1.10.2.2. Capacidad portante. El tema de sellado y reinsertión de rellenos sanitarios es de muy reciente preocupación, por lo cual no existen muchas experiencias que estén sustentadas en metodologías o criterios de diseño muy probados que permitan determinar si los rellenos sanitarios ofrecen garantías desde el punto de vista de su capacidad portante para que se construyan en ellos una vez finalice la etapa de post-clausura.

La capacidad portante es la habilidad de apoyar fundaciones y equipo pesado, el estudio de esta propiedad incluye las relaciones de consolidación-tiempo-asentamiento. Aunque la capacidad portante de un relleno dependerá del funcionamiento del mismo durante su operación, del tipo de residuos dispuestos y de la profundidad de la masa de vertido, se han informado valores típicos que van de 2.4 a 4.0 t/m^2 , la capacidad portante baja puede ser superada aumentando el espesor de la cobertura final. Se recomienda que el espesor mínimo de la capa de cobertura final sea 1.5 veces el ancho de la fundación de las estructuras que se deseen construir en un relleno sanitario clausurado.

1.10.2.3. Nivelación final. La nivelación final es el proceso de contornear y armonizar el terreno para crear las nivelaciones requeridas una vez que se completa, agota la vida útil del relleno. Los planes de nivelación final deben

desarrollarse de acuerdo al diseño del drenaje del sitio, las medidas de control de la erosión y la configuración final del relleno. Los planes deben mostrar elevaciones del contorno de todas las zonas modificadas y deben establecer criterios para las pendientes mínimas y máximas en todas las áreas de corte y relleno a fin de eliminar irregularidades superficiales, controlar la escorrentía y prevenir el estancamiento del agua.

Figura 10. Relleno sanitario La Miel (Ibagué – Tolima).



Fuente: COLLAZOS, Héctor. CURSO “SEGUIMIENTO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE RELLENOS SANITARIOS”. ACODAL. Montería, junio de 2007.

En el diseño y la construcción de los taludes, los ángulos naturales de reposo de los materiales no deben excederse bajo ninguna circunstancia. En los taludes donde se colocará sistemas de revestimiento o cobertura final, se debe considerar la estabilidad global y del revestimiento (capacidad de los materiales instalados para no deslizarse). Bajo condiciones típicas, los taludes de suelo son estables a 1 (vertical): 3 (horizontal). Además, deben realizarse análisis de estabilidad de los taludes, cuando sea necesario, para determinar factores de seguridad.

1.10.2.4. Cobertura final. Con respecto a la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios, la cobertura final es el único método para limitar la generación de lixiviado y, por tanto, para evitar la contaminación potencial de las aguas subterráneas en sitios que no están ubicados dentro de las aguas subterráneas. La cobertura final se usa para limitar el flujo de agua dentro del relleno sanitario de las fuentes naturales externas (por ejemplo, precipitación pluvial). Un buen sistema de cobertura final también sirve para reducir el tiempo y el gasto relacionados con el cuidado a largo plazo, y para reducir los impactos ambientales negativos, mientras que, al mismo tiempo, promueve el uso productivo del relleno sanitario clausurado y de su entorno.

Figura 11. Relleno sanitario El Oasis (Sincelejo – Sucre)²⁰.



La cobertura final del relleno sanitario (también llamada capa final) tiene varios propósitos, a saber:

- ✓ Proporciona una barrera física sobre los residuos sólidos enterrados, y previene así el contacto humano, minimiza los problemas relacionados con vectores y sirve para controlar malos olores.
- ✓ Controla la erosión que podría exponer a los residuos sólidos.
- ✓ Reduce la cantidad de infiltración que contribuye a la generación de lixiviado.
- ✓ Proporciona una base para la posible reutilización del área de relleno sanitario.
- ✓ Un sistema de cobertura final contiene dos capas: una capa superficial (o apoyo para material vegetal) y una capa de barrera hidráulica. La capa superficial o para vegetación tiene una cobertura de pasto resistente y perenne que promueve la evapotranspiración y ayuda a controlar la erosión por el viento y el agua. Debajo de la capa superficial se encuentra la capa de barrera hidráulica, que consta de un suelo de baja permeabilidad, lo que impide la infiltración del agua proveniente de la capa superficial que no se perdió en la escorrentía o evapotranspiración y que también mantiene el agua para su eventual evapotranspiración.

²⁰ Álbum fotográfico de la investigación.

1.10.2.5. Lixiviados y gases

1.10.2.5.1. **Lixiviados.** En un relleno sanitario clausurado, el lixiviado se genera por dos rutas principales:

- 1) El tránsito de agua infiltrada de la superficie a través de los residuos sólidos, y
- 2) El contacto de fuentes de agua subterránea con los residuos enterrados.

La primera de estas vías ocurre, con variantes, en todos los sitios, pero será mayor cuando la cantidad de lluvia sea elevada y la cobertura relativamente permeable o falta por completo. La segunda vía ocurre cuando los residuos sólidos se han colocado en contacto directo con el agua o debajo del nivel de las aguas subterráneas. Esta situación es común en áreas pantanosas que se han recuperado para algún otro fin.

En el caso de los residuos sólidos enterrados que no están en contacto con aguas subterráneas, la formación de lixiviado puede mitigarse con una cobertura adecuadamente diseñada y construida. La mejor opción para prevenir excesiva formación de lixiviados es instalando una buena capa de cobertura final en el relleno ya clausurado.

1.10.2.5.2. **Gases.** En la mayoría de los sitios donde se han enterrado residuos sólidos orgánicos, la cantidad de gas que se genera presenta problemas potenciales. A menudo, el gas sube a través del relleno sanitario y se dispersa en la atmósfera. Sin embargo, si nada impide el flujo del gas a la superficie, migrará hacia donde haya menor resistencia hasta llegar a la atmósfera. Las barreras físicas como los suelos y los sistemas de cobertura final de baja permeabilidad pueden conducir a la migración no deseada del gas, a menos que se proporcionen medidas específicas para consolar su emisión.

La migración incontrolada de gas puede dar lugar a su acumulación en las estructuras que están dentro o cerca del sitio de disposición final. Se requerirán acciones correctivas apropiadas donde haya concentraciones de gas que constituyan un riesgo de explosión potencial o cuando los olores de gas nocivo estén presentes. Estos pueden incluir medidas de control pasivas, como respiraderos y barreras, o medidas de control activas, como la ventilación forzada y los sistemas de tratamiento de gas.

1.10.2.6. **Vegetación.** Para este propósito, se selecciona un uso determinado, lo mismo que las especies, luego se determina la profundidad de la cobertura. La altura del material de cobertura, o tierra de cubrimiento, no debe ser menor de 0.60 metros de profundidad si se colocara césped y de 0.90 metros para arbustos y algunos árboles.

Figura 12. Relleno sanitario Palangana (Santa Marta – Magdalena)²¹.



Para este propósito, se selecciona un uso determinado, lo mismo que las especies, luego se determina la profundidad de la cobertura. La altura del material de cobertura o tierra de cubrimiento no debe ser menor de 0.60 metros de profundidad si se colocara césped, y de 0.90 metros para arbustos y algunos árboles.

Se establece un programa que estudie el poder de corrosión. El material de cobertura o tierra en las celdas de rellenos y de basureros recientemente cubiertos se extiende para prevenir la corrosión que poco después debe estabilizarse.

Se debe determinar presencia y concentración de nutrientes: antes o durante el proceso de instalación de césped y durante las pruebas y experimentos de altura adecuada de material de cobertura, deben hacerse pruebas de pH, macro nutrientes (nitrógeno, potasio, y fósforo principalmente), conductividad, densidad, y materia orgánica. La tierra de cobertura frecuentemente se compacta por el equipo de compactación del relleno durante el proceso de extendido del material y su colocación, ello puede restringir severamente el crecimiento de la raíz de algunas plantas.

El material de cobertura debe enmendar especialmente en el área de plantación o de manejo de cobertura vegetal, esto se hace mediante la adición de cal, fertilizantes y/o materia orgánica según los resultados de laboratorio del material a utilizar, lo cual se hace antes de plantar. Los materiales para enmendar deben incorporarse en la parte superior del material de cobertura hasta una altura no mayor a 0.15 metros.

²¹ ACODAL. CURSO: "SEGUIMIENTO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE RELLENOS SANITARIOS". Montería, Colombia. Junio de 2007.

La selección de especies para vegetalizar el relleno, se debe hacer privilegiando a aquéllas que son tolerantes a las basuras. Usualmente se deben realizar estudios piloto en parcelas experimentales, en las que se ensayen con diferentes especies de pastos y céspedes, y distintos tipos de coberturas, se evalúan los resultados de las parcelas experimentales y se escogen las especies exitosas. La plantación de pastos y arbustos sobre el material de cobertura, generalmente se hace empotrando la semilla en la tierra. También puede hacerse con la siembra de árboles juveniles y con la colocación de capotes y cespedones.

El desarrollo y crecimiento de arbustos, debe ser vigilado, estos no deben colocarse en uno o dos años, si al observar el césped plantado éste no crece, esto se explica por los gases, si estos no crecen, menos crecerán especies que tengan raíces más profundas.

1.11. PROYECTO PAISAJÍSTICO

Figura 13. Relleno sanitario El Oasis – Sincelejo²².



Para que el relleno sanitario se integre perfectamente al ambiente natural, no sólo la superficie final del relleno, sino también la entrada y el contorno de la obra en ejecución, deben merecer consideraciones paisajísticas.

La cobertura final compactada de 0.40 a 0.60 metros como mínimo, y los drenajes de gases y aguas de escorrentía, son esenciales para la vida vegetal sobre el

²² Álbum fotográfico de la investigación.

relleno, la que se restringe a algunas especies mientras el relleno se estabiliza. Se recomienda sembrar en toda el área del relleno grama y plantas de raíces cortas superficiales, que no traspasen la cobertura, admitiéndose también el plantío en hoyos llenos de tierra abonada.

A fin de evitar la erosión y el aumento del lixiviado, a medida que se terminan algunas áreas del relleno, conviene realizar el plantío de pasto, sin necesidad de esperar la finalización de las operaciones. Esta tarea es más sencilla si, al realizarse el movimiento inicial de tierras, se almacenó la capa vegetal del terreno.

1.11.1. Uso final. Los rellenos sanitarios clausurados constituyen tanto un recurso potencial como una fuente potencial de problemas. Son un recurso potencial porque su superficie puede usarse en beneficio de la comunidad, y es una fuente potencial de problemas por su contenido, así como por el riesgo de que los residuos sólidos migren fuera del límite del relleno sanitario. Las limitaciones principales que los rellenos sanitarios clausurados traen al desarrollo de los sitios donde están ubicados, son:

- La necesidad de preservar la integridad de la cobertura final del relleno sanitario.
- Los riesgos del gas del relleno sanitario.
- La probabilidad de asentamiento diferencial que puede dañar la estructura de las edificaciones construidas sobre el relleno sanitario.

Estas limitaciones dependerán de varios factores, incluyendo los tipos de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario, el grado de compactación, el clima, entre otros. En general, los rellenos sanitarios relativamente nuevos, con generación importante de metano y progresiva sedimentación, no serán buenos candidatos para la reutilización. Los rellenos sanitarios más antiguos que han alcanzado una estabilidad relativa en cuanto a generación de gas y compactación de residuos sólidos serán más viables para proyectos de desarrollo.

A pesar de las limitaciones y de los riesgos mencionados anteriormente, se han usado muchos sitios de disposición final para diversas funciones, algunos con éxito y otros con consecuencias desafortunadas. Los rellenos sanitarios clausurados se usan generalmente para:

- Áreas de recreación pasivas o espacios abiertos: parques, áreas verdes, granjas experimentales, viveros, cría de animales, entre otros.
- Usos de recreación activa: campos de atletismo o de golf.
- Desarrollo comercial: áreas de almacenamiento, lotes para estacionamiento de vehículos, edificios livianos de metal.
- Desarrollo residencial: viviendas convencionales, apartamentos.

Debido al riesgo de explosión por acumulación del gas del relleno sanitario en los espacios cerrados, las viviendas residenciales y los edificios de oficina comerciales no deben ser considerados, salvo sobre rellenos sanitarios estabilizados. Aún así, se debe tener sumo cuidado de proveer la ventilación y el control del gas, así como un adecuado diseño de estructuras. Las opciones más seguras para el desarrollo posterior de sitios de disposición final son las áreas de recreación pasiva o activa.

El uso agrícola también puede ser factible, pero la calidad de la capa superior del suelo y las capas del subsuelo del relleno sanitario quizás no sean apropiadas para cultivos productivos. En muchos casos, el riego no sería práctico y la carga de agua adicional puede comprometer la cobertura final.

A continuación se consigna un resumen de los criterios básicos para planificar el uso de un sitio de disposición final luego de su clausura.

Los temas principales a considerar en la reutilización de los sitios de disposición final son:

- Riesgos por acumulación de metano en espacios confinados (potencial explosivo).
- Producción de gas con olores desagradables.
- Asentamiento diferencial.
- Baja resistencia de carga de los rellenos sanitarios.
- Aceptación pública.

El enfoque más seguro es esperar hasta que la masa del relleno sanitario haya logrado completa estabilidad estructural y bioquímica. Un período de tiempo sustancial podría ser requerido para llegar al grado de estabilidad que es necesario para ciertos tipos de usos.

En todos los casos, la reutilización del sitio debe estar diseñada para preservar la integridad y la función de todos los sistemas del relleno sanitario, especialmente la cobertura final y el revestimiento de la base.

Los usos que no requieren la construcción de edificios en un relleno sanitario terminado plantean menores riesgos que los usos que si los incluyen. Los usos de riesgos relativamente menor, incluyen los espacios recreativos abiertos, los parques, los campos de golf y la agricultura.

Cualquier uso recreativo, tal como un parque o campo de juego, debe asegurar que las emisiones de gas se controlen o disminuyan suficientemente para no plantear un riesgo significativo de explosión o riesgo a la salud y a la seguridad humana.

Aunque el gas del relleno sanitario quizás no siempre represente un riesgo a la salud o a la seguridad pública, puede frenar el crecimiento de vegetación.

Los usos que requieren riesgo tienen el potencial de aumentar la generación de lixiviado y se les debe prestar mucha atención si éste constituye un problema.

Un relleno sanitario clausurado representa una propiedad potencialmente valiosa, especialmente en las zonas urbanas.

El propietario del sitio puede desear desarrollar la propiedad con algún tipo de edificio en lugar de desarrollar espacios abiertos. Sin embargo, la construcción en los rellenos sanitarios es problemática por las siguientes razones:

- La baja resistencia de carga de los residuos sólidos, 25 a 40 KN/m².
- Es común que los residuos sólidos se reduzcan entre 10% a 30% de su volumen original debido a los asentamientos.
- Las cargas inducidas, en muchos casos, aumentarían el grado y la tasa de asentamientos.
- Existen disponibles técnicas especiales de diseño para reducir o para superar los efectos del asentamiento del relleno sanitario. El método más confiable consiste en colocar pilotes a través de los residuos sólidos, apoyados sobre la base geológica que está por debajo del relleno sanitario. Sin embargo, los pilotes de acero y concreto pueden deteriorarse por los productos químicos de los residuos sólidos.
- Si el relleno sanitario tiene revestimiento de la base y un sistema de colección de lixiviado, los pilotes los interrumpirán.
- Los pilotes también pueden dañar el sistema de cobertura final. Se debe considerar el mantenimiento de un buen sello alrededor de los pilotes para prevenir la infiltración de agua y la ventilación no deseada del gas.
- El asentamiento diferencial también puede afectar la integridad física y las instalaciones del servicio de electricidad, agua, desagüe y gas que pasan por debajo del relleno sanitario.
- Cualquier excavación en el relleno sanitario debe hacerse con precaución, ya que puede haber emisión de gas con olor repugnante (a veces tóxico) y explosiones. Además, las pendientes alrededor de las excavaciones pueden ser inestables.

1.11.2. Monitoreo de control ambiental. El establecimiento de sistemas de monitoreo ambiental en un relleno sanitario debe ser un instrumento de vigilancia de las condiciones que pueden afectar a la salud pública o al ambiente.

- 1) Control y monitoreo de la calidad del recurso agua, de acuerdo con los siguientes parámetros y frecuencia, como mínimo.

Tabla 15. Parámetros y frecuencia de monitoreo de acuíferos

PARÁMETROS	FRECUENCIA	
	MAYOR DE 15 TON/DÍA	MENOR O IGUAL 15 TON/DÍA
pH	Semestral	Anual
Conductividad eléctrica	Anual	Bianual
Oxígeno Disuelto	Semestral	Anual
Metales pesados	Semestral	Anual
DQO	Semestral	Anual
Amoniaco	Anual	Bianual
Nitritos	Semestral	Anual
Nitratos	Anual	Bianual

Fuente: RAS título F.6.2.9.

Tabla 16. Parámetros y frecuencia de monitoreo de lixiviados y calidad del vertimiento a fuentes superficiales.

PARÁMETROS	FRECUENCIA	
	MAYOR DE 15 TON/DÍA	MENOR O IGUAL 15 TON/DÍA
pH	Semestral	Anual
Oxígeno Disuelto	Semestral	Anual
Metales pesados	Semestral	Anual
DQO	Semestral	Anual
DBO	Semestral	Anual
SST	Semestral	Anual

Fuente: RAS título F.6.2.9.

Además de las fuentes superficiales y lixiviados, se deberá caracterizar las aguas provenientes del sistema de drenaje, para corroborar que no existe contacto con lixiviados.

- 2) Control y monitoreo de la calidad de aire de acuerdo con los siguientes parámetros y frecuencia, como mínimo.

Tabla 17. Parámetros y frecuencia de monitoreo de calidad de aire.

PARÁMETROS	FRECUENCIA	
	MAYOR DE 15 TON/DÍA	MENOR O IGUAL 15 TON/DÍA
Composición de Biogás CH ₄ , CO ₂ , O ₂	Trimestral	Semestral
Explosividad	Trimestral	Semestral
Caudal	Trimestral	Semestral
Partículas Suspendidas Totales	Trimestral	Semestral
Partículas Respirables	Trimestral	Semestral

Fuente: RAS título F.6.2.9.

El procedimiento para realizar el monitoreo de aguas subterráneas y superficiales, y de la calidad del aire, se basará en los reglamentos técnicos que para el efecto expida el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En el evento que la autoridad ambiental encuentre que las medidas establecidas en la Licencia Ambiental respectiva no se han ejecutado, podrá incrementar el seguimiento y control en las frecuencias que considere necesarias, con cargo al prestador.

1.12. IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS RELLENOS SANITARIOS EN LA ETAPA DE CLAUSURA

Los impactos ambientales que sufre el medio ambiente a través del desarrollo de las tres etapas de un relleno sanitario son de diferentes características y tal vez lo más relevante y que trascienden mayormente son aquellas que se producen en la etapa de operación y construcción del relleno. Los efectos de los variados impactos pueden verse incrementados o disminuidos por las condiciones climáticas del lugar y por el tamaño de la obra.

Entre los impactos ambientales en la etapa de clausura, están:

- Impacto paisajístico: recuperación vegetal, recuperación de fauna.
- Impacto social: Integración de áreas a la comunidad, disminuye fuente de trabajo.

1.12.1. Medidas de mitigación. Las medidas de mitigación empleadas para reducir los impactos ambientales negativos de un relleno sanitario dependen de una serie de factores, entre los cuales se destacan:

Las características del proyecto, tecnología usada, localización, condiciones de operación (tamaño, clima), etc., no obstante, es posible identificar los impactos más

frecuentes generados por este tipo de faena y las medidas que normalmente se emplean para su mitigación²³.

OLORES

- Utilización de pantallas vegetales, (árboles, arbustos).
- Tratamiento de los líquidos percolados, (lixiviados).
- Quema del biogás cuando hay metano suficiente.

RUIDOS

- Pantallas vegetales.
- Utilizar equipos de baja emisión de ruidos.

ALTERACIÓN DEL SUELO

- Adecuada impermeabilización del relleno sanitario, para evitar filtraciones.
- Vegetación para evitar erosión, rellenamiento para evitar nivelar zonas con asentamiento diferencial o pendientes fuertes.

DISEMINACIÓN DE MATERIALES

- Configurar barreras para evitar que el viento incida sobre el frente de trabajo.
- Utilizar mallas interceptoras.
- Desprender residuos de camiones antes que abandonen el relleno.

MATERIAL PARTICULADO

- Riego de camino y de la tierra acumulada para el recubrimiento.
- Pantallas vegetales en el perímetro del relleno.

CONTROL DE VECTORES

- Mantener aislado sanitariamente el recinto mediante la formación de un cordón sanitario que impida la infestación del relleno por roedores y el paso de especies animales desde y hacia el recinto.
- Realizar fumigaciones y desratizaciones como mínimo cada seis meses. Los elementos químicos que se emplean en esta actividad, deben estar acordes con la legislación.

INCREMENTO MOVIMIENTO VEHICULAR

- Tratar que la recolección se haga en horas diferidas.
- En caso de vehículos de estaciones de transferencia tratar que estos lleguen en forma secuencial.

²³ <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

LÍQUIDOS PERCOLADOS

- Almacenamiento en depósitos cerrados.
- Recirculación.
- Tratamiento físico-químico y/o biológico.

BIOGÁS

- Extracción con fines de utilización.
- Quema controlada

Fuente: Página web

2. MARCO LEGAL

A continuación se presenta la legislación de orden Nacional, aplicable, que debe cumplirse en el desarrollo de proyectos de rellenos sanitarios, sin embargo, con base en el principio de rigor subsidiario, los municipios deberán cumplir con lo dispuesto por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) en su propia jurisdicción.

1.13.1. Decretos, leyes y resoluciones

- RESOLUCIÓN NÚMERO 1291 DE 2006: Elaboración del diagnóstico ambiental de alternativas para construcción y operación de rellenos sanitarios.
- RESOLUCIÓN NÚMERO 1390 DE 2005: Directrices y pautas para el cierre, clausura y restauración o transformación técnica de rellenos sanitarios de los sitios de disposición final a que hace referencia el Art. 13 de la Resolución 1045 de 2003.
- RESOLUCIÓN NÚMERO 1046 DE 2003: Art. 13, establece el plazo máximo de dos años para realizar la clausura y restauración ambiental de rellenos sanitarios y botaderos a cielo abierto.
- DECRETO NÚMERO 838 DE 2005: Art. 11, control y monitoreo en el área de disposición final de residuos sólidos. RAS título F.6.2.9.
- DECRETO NÚMERO 838 DE 2005: Art. 21, Recuperación de sitios de disposición final. RAS título F.6.2.19.
- DECRETO NÚMERO 838 DE 2005: Art. 22, uso futuro de los sitios de disposición final. RAS título F.6.2.20.
- DECRETO NÚMERO 838 DE 2005 (MARZO 23): por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

El Presidente de la República de Colombia, en ejercicio de las facultades constitucionales y legales, en especial de las consagradas en el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política, el numeral 14.24 del artículo 14 de Ley 142 de 1994,

DECRETA:

CAPÍTULO I: DEFINICIONES.

CAPÍTULO II: DISPOSICIONES GENERALES.

TÍTULO V

DISPOSICIONES FINALES

Artículo 20. *De la selección del método de relleno sanitario.* La selección del método a utilizar para la operación del relleno sanitario se realizará con base en las condiciones topográficas, geotécnicas y geohidrológicas del sitio seleccionado para la disposición final de los residuos. Igualmente, se establecerá el perfil estratigráfico del suelo y el nivel de los acuíferos freáticos permanentes y transitorios de la zona.

Los métodos a utilizar corresponden a los establecidos en el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico “RAS”. La técnica de disposición final será de tipo mecanizado o manual según el caso, recomendándose manual para rellenos sanitarios donde se disponga una cantidad menor o igual a quince (15) toneladas por día.

Artículo 21. *Recuperación de sitios de disposición final.* Sin perjuicio de las responsabilidades establecidas en el respectivo plan de manejo ambiental, corresponde a las entidades territoriales y a los prestadores del servicio de aseo en la actividad complementaria de disposición final, recuperar ambientalmente los sitios que hayan sido utilizados como “botaderos” u otros sitios de disposición final no adecuada de residuos sólidos municipales, o transformarlos, previo estudio, en rellenos sanitarios de ser viable técnica, económica y ambientalmente.

Artículo 22. *Uso futuro de los sitios de disposición final.* El uso futuro de los sitios donde se construyan y clausuren rellenos sanitarios, deberá estar considerado y determinado desde la etapa de diseño del relleno sanitario.

Artículo 23. *Disposición de escombros.* Los escombros que no sean objeto de un programa de recuperación y aprovechamiento deberán ser dispuestos adecuadamente en escombreras cuya ubicación haya sido previamente definida por el municipio o distrito, teniendo en cuenta lo dispuesto en la Resolución 541 de 1994 del Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o la norma que la sustituya, modifique o adicione, y demás disposiciones ambientales vigentes.

Artículo 24. *Restricción a la recuperación en rellenos sanitarios.* Se prohíbe el desarrollo de las actividades de recicladores en el frente de trabajo de los rellenos sanitarios.

PARÁGRAFO TRANSITORIO. Esta prohibición empezará a regir a partir de la puesta en marcha del PGIRS. No obstante, los municipios o distritos podrán hacer efectiva esta prohibición antes de la elaboración y desarrollo de los respectivos PGIRS, siempre que en la ejecución de sus programas de recolección y aprovechamiento, como alternativa de trabajo se considere la participación de los recicladores.

Artículo 25. *Vigencia y derogatorias.* El presente Decreto rige a partir de la fecha de su publicación y adiciona el artículo 1° y deroga el Capítulo VIII del Título I del Decreto 1713 de 2002.

CAPÍTULO II

ADECUACIÓN DEL RELLENO SANTARIO EL OASIS DEL MUNICIPIO DE SINCELEJO EN SU PRIMERA ETAPA

3. ADECUACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EL OASIS DEL MUNICIPIO DE SINCELEJO, EN SU PRIMERA ETAPA

3.1. UBICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO

Figura 14. Vista aérea del relleno sanitario El Oasis (Sincelejo)²⁴.



En el año de 1997 se inician los trabajos para conformar y acondicionar lo que es hoy el relleno sanitario de la ciudad de Sincelejo, “El Oasis”. El sitio se encuentra ubicado en el kilómetro 2 vía que conduce al corregimiento de Chochó, municipalidad de Sincelejo.

La decisión de seleccionar y acondicionar éste, estuvo sustentada por una serie de estudios topográficos, geotécnicos, geofísicos, climatológicos y geohidrológicos. De estos últimos cabe destacar la perforación de pozos profundos a fin de conocer la estratigrafía de la zona y asegurarse que la posible migración de lixiviados no presentará un riesgo serio para acuíferos subyacentes.

²⁴ www.earth.google.com

En el fondo del relleno fue instalado un tendido de 17.000 m² de geomembrana de polietileno de alta densidad que limita la migración del lixiviado, con un sistema de canales colectores que descargan a cárcamos de concreto de donde se pueda extraer el lixiviado.

Se realizaron, además, tres piezómetros en diferentes sectores del relleno para el monitoreo posterior de las aguas superficiales.

De este modo, en un predio de 29.86Ha, quedó habilitada inicialmente una superficie neta de 9Ha, destinada a la disposición final de los residuos sólidos del Municipio de Sincelejo y aledaños.

3.2. OPERACIÓN DEL RELLENO

En 1997 se inicia el depósito de residuos municipales en EL OASIS, involucrando la cobertura del servicio al municipio de Sincelejo inicialmente.

La operación del sitio se realizó por los métodos de área y trinchera, conformando celdas con un promedio de 3 metros de altura.

La cobertura de los residuos se realizó con material de excavación extraído del propio sitio. El control de llenado del relleno contó con el levantamiento periódico de secciones topográficas.

Paralelamente a la operación del sitio se construyeron pozos de venteo pasivo del biogás generado (chimeneas) de un metro de diámetro. Estos se construyeron en piedra, con diámetros entre 4 y 8 pulgadas, que se extendía verticalmente de manera paulatina de acuerdo a la variación del nivel del relleno y que estaban conectadas en cada nivel de terrazas con drenajes, construidos también en piedra de diámetros entre 5 y 8 pulgadas, las cuales son aisladas mediante un geotextil con el fin de evitar que se percole el material del relleno impidiendo la circulación del lixiviado a través de estos.

Finalmente, se realizó la clausura de esta primera etapa que estuvo en funcionamiento durante siete años, teniendo en cuenta los requerimientos pertinentes para este proceso.

3.3. PROCESO DE CLAUSURA

3.3.1. Control de fauna nociva. El control de roedores se realizó mediante la colocación de cebos rodenticidas cuyo efecto más destacado es el de secar los cuerpos de los animales eliminados por este medio, evitándose generar malos olores. El control de olores y de insectos se efectuó con asperjado manual de diversos productos químicos especialmente recomendados para esta función.

Todas estas medidas redundaron en una notoria mejoría de la calidad ambiental del sitio, facilitando las subsecuentes operaciones técnicas de clausura de esta primera etapa.

3.3.2. Configuración de la superficie final. Después de estudiar detenidamente la configuración final que resultaría más conveniente para la superficie del relleno, se produjo un diseño final que contempla el aspecto visual y estético, las condiciones de drenaje pluvial, y particularmente la aplicación práctica de estabilidad de taludes conformados por residuos sólidos. De este modo se sacrificó un poco de vida útil conformando el sitio de modo que no presentara superficies muy visibles desde algunos puntos exteriores que en el futuro serán ocupados por distintos desarrollos. También cabe destacar la aplicación práctica en el campo de la geotecnia con desechos, al determinar un ángulo de reposo seguro para los taludes de la configuración final y compatible con la operación de la maquinaria pesada empleada para compactar.

Figura 15. Relleno sanitario El Oasis (Sincelejo)²⁵.



La normatividad de la EPA requiere un coeficiente de seguridad en la estabilidad de los taludes de 1.5 por lo menos, lo cual fue satisfactoriamente cumplido por los parámetros de diseño básicos, que fueron taludes con relación horizontal–vertical 3:2 y plataformas con una pendiente dominante del 3% para favorecer el escurrimiento pluvial dentro de márgenes que eviten encharcamientos e infiltración por una parte, y erosión por otra.

²⁵ Álbum fotográfico de la investigación.

3.3.3. Construcción de la cobertura final. Esta fase es probablemente una de las más significativas y cruciales en todo el proceso de clausura, pues de ella depende en gran medida el eficiente control de algunos impactantes ambientales. Por ejemplo, la formación de lixiviados está en directa relación con la precipitación pluvial, y de aquí que una cobertura altamente impermeable sea premisa ante la disyuntiva entre manejar lixiviados altamente contaminantes cuya captación y tratamiento son difíciles y costosos, o resolver un más sencillo planeamiento de canalización y descarga de aguas pluviales. Por otra parte, la baja permeabilidad de la cobertura es un excelente factor de eficiencia para los sistemas de captación de biogás.

Figura 16. Relleno sanitario El Oasis (Sincelejo)²⁶.



Para lograr lo anterior, aunque la normatividad de EPA prescribe un mínimo de especificaciones, se plantea la necesidad mínima de construir de abajo hacia arriba: Una capa base de material compactado de al menos 60 cm de espesor, una capa de sello con material cuya permeabilidad no exceda de 1×10^{-6} cm/seg de al menos 30 cm de espesor, y finalmente una capa de al menos 30 cm de espesor como protección contra la erosión. Siguiendo estos lineamientos, el diseño final para la cubierta registró las siguientes modificaciones; se emplearía directamente sobre la basura conformada (que ya contaba con una cobertura de unos 30 cm) una capa de material con espesor variable para conformar los niveles finales, la capa base se tendría en dos fases de 30 cm cada una para facilitar su compactación, la capa de protección contra la erosión disminuiría su espesor a 20 cm, pero compensándose con una capa adicional de tierra vegetal de también 20 cm posibilitando la pastización del sitio.

Los trabajos en campo se iniciaron con la prospección de los bancos de material ubicados dentro del mismo relleno sanitario para cubrir la demanda.

²⁶ Ibíd.

Con excepción de la capa de tierra vegetal, todos los estratos recibieron una compactación al 95% proctor de acuerdo al procedimiento establecido por la ASTM-D-698-91.

3.3.4. Control de calidad geotécnico. El avance de los trabajos contó con una supervisión muy estricta, en donde se corroboró la eficiencia de la compactación lograda, lo que fue requisito para continuar los trabajos. Se realizaron pruebas de permeabilidad obteniéndose un valor promedio de 1×10^{-6} cm/seg.

3.3.5. Control de biogás. La primera etapa del relleno sanitario El Oasis consta de 12 estructuras hechas en piedra (chimeneas), con un diámetro aproximado de un metro que permiten la salida de biogás, producto de la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos ahí depositados.

Dichas estructuras están dispuestas cada 24 metros aproximadamente y se encuentran interconectadas por canales que permiten la circulación de estos gases. Al final de cada chimenea sobresale una tubería de dos pulgadas, por donde sale el gas facilitando el quemado del mismo.

La meta a cumplir es prevenir emisiones atmosféricas riesgosas, ya que el biogás puede contener cantidades traza de compuestos no metanogénicos y el propio bióxido de carbono puede contribuir al calentamiento global del planeta por efecto invernadero.

Figura 17. Piscina de lixiviados relleno sanitario El Oasis (Sincelejo)²⁷.



²⁷ Ibíd.

3.3.6. Control de lixiviados. La presencia de lixiviado en el relleno es muy importante. El terreno cuenta con pendientes que permiten escurrimientos pluviales adecuados y canales que transportan el lixiviado hasta una piscina de concreto, impermeabilizada con geomembrana para evitar que el líquido se percole. Después del cierre de esta primera etapa la producción de lixiviado ha disminuido gradualmente, hasta el punto que la producción a la fecha es casi nula.

3.3.7. Uso post-clausura del sitio. Resulta evidente que todo uso a futuro del predio que ocupa el relleno sanitario se verá limitado por las condicionantes de no poder alojar estructuras pesadas ni desarrollo alguno que interfiera con la segura captación del biogás mientras éste se siga produciendo. De este modo, se prevé que por un período de al menos 10 años se mantendrá cerrado al acceso del público y que cualquier uso a futuro deberá responder de manera acorde y compatible a las necesidades que en ese momento se presenten en el entorno social y urbano.

Figura 18. Construcción de parque de relleno sanitario clausurado – Armenia (Quindío)²⁸.



²⁸ ACODAL. CURSO: “SEGUIMIENTO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE RELLENOS SANITARIOS”. Montería, Colombia. Junio de 2007.

Figura 19. Construcción de cancha de fútbol en relleno sanitario clausurado – Florida (EE. UU.)²⁹.



²⁹ Ibíd.

4. CONCLUSIONES

El proceso de clausura y adecuación final de la primera etapa del relleno sanitario "El Oasis", se llevó a cabo de una manera eficiente, ya que en todo el proceso se tuvieron en cuenta aspectos fundamentales para devolver al medio ambiente un sitio agradable y seguro, de los cuales podemos destacar:

- ✓ Las condiciones de evacuación de agua superficial hacia fuera del sitio, mediante drenajes.
- ✓ El adecuado sistema de cobertura final limitando el flujo de agua dentro del relleno sanitario de las fuentes naturales externas y controlando la erosión que podría exponer a los residuos.
- ✓ El establecimiento de sistemas de monitoreo ambiental sobre el área clausurada.
- ✓ La utilización de pantallas vegetales para limitar los olores, los ruidos y el material particulado producido dentro del relleno sanitario.
- ✓ El mantenimiento sanitario mediante el cual se impide el paso de roedores y animales desde y hacia el relleno.

5. RECOMENDACIONES

Es importante visualizar desde el momento mismo de la concepción del proyecto, el uso futuro que se le ha de dar a éste, ya que es vital reintegrar esta área con el entorno.

Una vez efectuado el cierre, sólo podrá emplearse con el uso futuro establecido en un plan de cierre previsto y cualquier modificación de éste deberá ser autorizada por la entidad competente del medio ambiente.

Teniendo en cuenta la topografía y condiciones del suelo, además de las necesidades de la comunidad, se recomienda, luego del cierre definitivo del relleno sanitario El Oasis, una zona de reserva natural y parque recreacional destinado a las actividades de esparcimiento, descanso y práctica de deportes, con vegetación herbácea y espacios propios de la región, complementado con un sistema de zonas verdes.

Esta alternativa debe contar con un diseño arquitectónico y, además, mantenimiento para controlar los hundimientos, fisuras, mantenimiento de los canales y manejo de lixiviados y gases. Debe tenerse en cuenta que procesos como la lixiviación y la generación de gases tardan aproximadamente 15 años o más, y durante este tiempo se deben mantener las estructuras y cuidados especiales; además, se deben mantener las chimeneas con capacidad de quemar el gas metano que por ellas se evacúe hacia el exterior.

Para esto, es importante la colaboración de profesionales especializados en este tipo de proyectos (arquitectos, ingenieros ambientales, etc.), con el fin de amoldar este sitio que una vez fue utilizado para depositar residuos, a las condiciones iniciales de éste, y proveer a la comunidad una zona que antes de ser un problema para ellos sea un espacio que les brinde múltiples beneficios.

BIBLIOGRAFÍA

AIDIS. VIGILANCIA DE RELLENOS SANITARIOS, GESTIÓN AMBIENTAL EN EL CASO DEL RELLENO LA FERIA. IV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Concepción, Chile. Noviembre de 1985.

ACODAL. CURSO: "SEGUIMIENTO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE RELLENOS SANITARIOS". Montería, Colombia. Junio de 2007.

COLLAZOS PEÑALOZA, Héctor. DISEÑO Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS. 3ª Edición. Bogotá, D. C., Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, enero de 2008. 239 p.

EMPRESAS VARIAS DE MEDELLIN. DISEÑO RELLENO SANITARIO "PLAZA DE FERIAS", INFORME FINAL. Compañía Colombiana de Consultores. Medellín, Colombia. 1984.

EHRIG, Hans-Jürgen. CANTIDAD Y CONTENIDOS DE LIXIVIADOS DE RELLENOS DE DESECHOS DOMÉSTICOS.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NORMAS TÉCNICAS PARA LA PRESENTACIÓN DE TESIS Y OTROS TRABAJOS DE GRADO – COMPENDIO. EDICIÓN ACTUALIZADA 2008. Bogotá, D. C., Colombia: ICONTEC. NTS. 1075–1160–1486–1487.

JARAMILLO, Jorge. GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS. Washington, D. C., EE. UU. Septiembre de 1991.

LARA B., Jaime (Ingeniero Sanitario). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, D. C., Colombia

OROZCO, A. DESECHOS SÓLIDOS. UNA APROXIMACIÓN RACIONAL PARA SU RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 1980.

PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS SINCELEJO "PGIRS".

REGLAMENTO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO "RAS" 2000. Capítulo F. Disposiciones finales.

REPÚBLICA DE COLOMBIA – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. GUÍA AMBIENTAL DE RELLENOS SANITARIOS. Bogotá, D. C., Colombia. 2002.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS. ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN COLOMBIA, 1996 y "SUPERCIFRAS" Revista #. 3.

Fuentes de Internet consultadas:

<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>

<http://earth.google.com>

<http://www.ccc.org.co/Documents/2006/Marzo/Basuras/HectorCollazos.pps#404,41,relleno>