

**PROPUESTA METODOLOGICA PARA CLAUSURA Y POSCLAUSURA DE  
RELLENOS SANITARIOS Y/O BOTADEROS DE BASURAS**

**DIANA CECILIA DIAZ GUTIERREZ**

**ROSA JULIANA DURAN ARIZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2.005**

**PROPUESTA METODOLOGICA PARA CLAUSURA Y POSCLAUSURA DE  
RELLENOS SANITARIOS Y/O BOTADEROS DE BASURAS**

**DIANA CECILIA DIAZ GUTIERREZ  
ROSA JULIANA DURAN ARIZA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito  
para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director  
JAIME SUÁREZ DÍAZ  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2.005**

*“La realidad humana es educación. El hombre en tanto que ser biológicamente carente o no terminado, es una tarea para sí mismo. La realidad humana es un ente que necesita del proceso educativo para construirse.”*

*Juan Carles Melich. Del Extraño al Cómplice. La educación en la vida cotidiana.*

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO	3
1.1 TÍTULO	3
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.1 Objetivos específicos	3
1.3 ALCANCE	4
1.4 DESCRIPCION DE LA PROBLEMÁTICA	4
1.5 JUSTIFICACION	4
2. MARCO TEORICO	7
2.1 FORMAS DE DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MAS USADAS EN COLOMBIA	8
2.1.1 Relleno sanitario	8
2.1.2 Botadero de basura	25
2.1.3 Diferencias entre un relleno sanitario y un botadero de basura	27
2.1.4 Transformación de un botadero de basura en relleno sanitario	28
2.1.5 Métodos para solucionar los problemas generados en los rellenos sanitarios y/o botadero de basura	29
2.2 OTRAS FORMAS DE DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	30
2.2.1 Compostaje	30

	pág.
2.2.2 Incineración	31
2.2.3 Reciclaje de residuos sólidos	32
2.3 IMPACTOS GENERADOS AL MEDIO AMBIENTE POR LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	37
2.3.1 Efectos causados por los rellenos sanitarios y botaderos de basura	39
2.4 IMPACTOS GENERADOS POR OTROS PROCESOS APLICABLES A RESIDUOS SÓLIDOS	52
2.4.1 Incineración	52
2.4.2 Compostaje	54
3. MARCO LEGAL	57
4. PROPUESTA METODOLOGICA PARA CLAUSURA Y POSCLAUSURA DE RELLENOS SANITARIOS Y/O BOTADEROS DE BASURA	62
4.1 FASE DE RECONOCIMIENTO	63
4.1.1 Recopilación de la información	63
4.1.2 Visita de reconocimiento	64
4.1.3 Análisis de la información	64
4.1.4 Levantamiento topográfico y análisis de la topografía	74
4.1.5 Antecedentes del vertedero	74
4.1.6 Estudio de las condiciones sanitarias y estructurales del sitio	74
4.1.7 Diagnóstico del sitio	75
4.2 FASE DE DESARROLLO	76
4.2.1 Diseño de obras de clausura	76

	pág.
4.2.2 Programa de ejecución de obras de clausura y presupuesto	154
4.2.3 Programa de posclausura	154
4.2.4 Asignación de recursos	157
4.2.5 Diseño, construcción, control de calidad e interventoría	157
5. APLICACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLOGICA	168
5.1 FASE DE RECONOCIMIENTO	171
5.1.1 Recopilación de la Información	171
5.1.2 Visita de reconocimiento	171
5.1.3 Análisis de la información	171
5.1.4 Levantamiento topográfico y análisis de la topografía	190
5.1.5 Antecedentes del vertedero	191
5.1.6 Condiciones sanitarias y estructurales del sitio	193
5.1.7 Diagnóstico	200
5.2 FASE DE DESARROLLO	201
5.2.1 Diseño de obras de clausura	201
5.2.2 Programa de ejecución de obras de clausura y presupuesto	235
5.2.3 Programa de posclausura	236
5.2.4 Asignación de recursos	237
6. CONCLUSIONES	239
7. RECOMENDACIONES	241
7.1 RECOMENDACIONES GENERALES	241

	pág.
7.2 RECOMENDACIONES RELACIONADAS CON LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA PARA EL BOTADERO DE BASURA EN EL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE CHUCURÍ	242
BIBLIOGRAFIA	245
ANEXOS	248

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 . Corte esquemático Relleno Sanitario.	11
Figura 2. Relleno Sanitario tipo Área.	12
Figura 3. Relleno Sanitario Tipo Zanja o trinchera.	13
Figura 4. Relleno sanitario concluido. Detalle de la ubicación de las chimeneas para evacuación de gases y los canales de drenaje de lixiviados.	21
Figura 5. Papel que juegan los residuos sólidos en la transmisión de Enfermedades.	47
Figura 6. Valla de Información.	77
Figura 7. Caseta de Control Técnico y Vigilancia.	78
Figura 8. Cerramiento con malla y postes en hierro galvanizado.	79
Figura 9. Puerta en Hierro Galvanizado y malla.	80
Figura 10. detalle de zanjas de coronación para el control de aguas lluvias (canal semicircular y rectangular).	84
Figura 11. Detalle constructivo de chimeneas de evacuación de gases.	95
Figura 12. Detalle construcción chimenea de ventilación.	96
Figura13. Sistema de tratamiento de gases (Quema).	98
Figura 14. Sistema de tratamiento de gases.	98
Figura 15. Filtro Captador de Lixiviado .	106
Figura 16. Empalme de filtro de captación de lixiviado a tubería de conducción de lixiviados	107

	pág.
Figura 17. Esquema de definición para un balance de aguas utilizando para valorar la formación de lixiviado en un vertedero.	109
Figura 18. Sistema de Drenaje de Lixiviado.	131
Figura 19. Sistemas de subdrenes de Zanja.	132
Figura 20. Canal de descarga con gradas de disipación de energía.	134
Figura 21. Perfil Canal de entrega con gradas de disipación de Energía.	135
Figura 22. Situación geográfica del Municipio de San Vicente de Chucurí.	169
Figura 23. Actividad productiva del Municipio de San Vicente de Chucurí.	170
Figura 24. Columna estratigráfica del valle medio del Magdalena y piedemonte occidental de la cordillera oriental.	179
Figura 25. Red hidrográfica del Municipio de San Vicente de Chucurí.	182
Figura 26. Usos de suelos.	183
Figura 27. Caracterización física de los Residuos Sólidos.	187
Figura 28. Caracterización química sector residencial.	189
Figura 29. Porcentaje de humedad de los residuos sólidos según sector .	190
Figura 30. Valla de información No. 1.	201
Figura 31. Valla de información No. 2.	202
Figura 32. Valla de Restricción.	202
Figura 33. Cerramiento tipo en alambre de púas y postes de madera.	204
Figura 34. Cerramiento tipo en malla de gallinero y tubo.	204

	pág.
Figura 35. Cerramiento tipo en mampostería confinada.	205
Figura 36. Cerco vivo.	205
Figura 37. Puerta en madera.	207
Figura 38. Entrada Principal en postes de madera y alambre de púas.	208
Figura 39. Canal perimetral de sección trapezoidal (este).	211
Figura 40. Canal perimetral de sección trapezoidal (norte).	212
Figura 41. Sistema de captación, mitigación y tratamiento de gases.	215
Figura 42. Sistema de captación, mitigación y tratamiento de gases.	217
Figura 43. Gráfico ejemplo para el cálculo del caudal de diseño del tanque de almacenamiento de lixiviados.	223
Figura 44. Sistema de medición de caudales de lixiviados.	224
Figura 45. Detalle de Zanja de Conducción de Lixiviados.	225
Figura 46. Detalle del anclado del geotextil no tejido.	230
Figura 47. Perfil del botadero clausurado.	231
Figura 48. Detalle de capa de cobertura del basurero.	232

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Diferencias entre un botadero de basuras y un relleno Sanitario.	28
Cuadro 2. Algunas enfermedades debido al manejo inadecuado de los residuos sólidos .	48
Cuadro 3. Cuadro resumen de las principales enfermedades provenientes de los residuos sólidos depositados	50
Cuadro 4. Recopilación de la información.	65
Cuadro 5. Descripción general de las condiciones del sitio de disposición de residuos sólidos.	68
Cuadro 6. Escalas de fotografías áreas para diferentes niveles de estudio.	73
Cuadro 7. Composición Típica del Biogás en un Relleno Sanitario .	88
Cuadro 8. Densidad de Componentes del Biogás en Condiciones Estándar (0°C,1 atm).	89
Cuadro 9. Valores correspondientes a Lo y k.	92
Cuadro 10. Composición típica de las características de los lixiviados en vertederos nuevos y antiguos	119
Cuadro 11. Resumen de los parámetros físicos, químicos y biológicos que se deben supervisar en los vertedero.	120
Cuadro12. Procesos y operaciones biológicos y naturales.	121
Cuadro 13. Procesos y operaciones químicas y físicas.	128
Cuadro 14. Árboles utilizados para cercas vivas y estabilización de taludes.	137
Cuadro 15. Normas ASTM para geomembranas.	140

	pág.
Cuadro 16. Especificaciones técnicas de geomembrana con polietileno de alta densidad.	140
Cuadro 17. Coeficientes típicos de permeabilidad para varios tipos de suelos.	148
Cuadro 18. Cuadro resumen de actividades de obra .	155
Cuadro 19. Parámetros y frecuencia de muestreo del monitoreo de acuíferos.	156
Cuadro 20. Parámetros y frecuencia del monitoreo de biogás.	156
Cuadro 21. Parámetros y frecuencia de muestreo de partículas aerotransportadas en los vertederos	157
Cuadro 22 . Experiencia mínima de los diseñadores, interventores y revisores de diseño .	159
Cuadro 23. Experiencia de los directores de la construcción.	159
Cuadro 24. Experiencia de los interventores.	161
Cuadro 25. Grado de supervisión técnica según el Nivel de Complejidad del Sistema.	161
Cuadro 26.- Recopilación información general del municipio de San Vicente y del botadero de basuras.	172
Cuadro 27. Información recogida durante la visita de reconocimiento al botadero de basura del municipio de San Vicente de Chucurí.	175
Cuadro 28. Propiedades físicas de los suelos.	178
Cuadro 29. Propiedades químicas de los suelos.	180
Cuadro 30. Caracterización Física del material depositado.	187
Cuadro 31. Caracterización química sector residencial.	188
Cuadro 32. Contenido de humedad residuos sólidos.	189

	pág.
Cuadro 33. Porcentaje de humedad de los residuos sólidos según sector.	190
Cuadro 34. Parámetros y frecuencia del monitoreo de biogás.	214
Cuadro 35. Parámetros y frecuencia del muestreo y monitoreo de acuíferos.	234
Cuadro 36. Parámetros y frecuencia del monitoreo de biogás.	235
Cuadro 37. Reporte de estado de obra.	236

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	pág.
Fotografía 1. Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipio de San Vicente de Chucurí (Departamento de Santander, Colombia)	25
Fotografía 2. Recuperadores en la zona del Botadero de Basura de San Vicente de Chucurí.	27
Fotografía 3. Ríos de basura.	41
Fotografía 4. Cerramiento con madera.	80
Fotografía 5. Parque Natural Curitiba Brasil.	81
Fotografía 6. Excavación para canales perimetrales.	83
Fotografía 7. Laguna de estabilización de lixiviado Madrid.	129
Fotografía 8. Laguna para tratamiento de lixiviado, Curitiba (Brasil).	129
Fotografía 9. Caseta de reciclaje Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.	185
Fotografía 10. Pastoreo de Vacunos terrenos aledaños al Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.	185
Fotografía 11. Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí 1.992.	192
Fotografía 12. Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí 2.002.	192
Fotografía 13. Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí, 2.002.	192
Fotografía 14. Materiales dispersos Botadero de Basuras municipio de San Vicente de Chucurí.	194

	pág.
Fotografía 15. Recuperadores en la zona del Botadero de Basura Municipio de San Vicente de Chucurí	194
Fotografía 16. Material de cobertura Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.	195
Fotografía 17. Encharcamiento de lixiviado en la zona del Botadero de Basura del Municipio de San Vicente de Chucurí.	196
Fotografía 18. Zona Verde donde se empozan los lixiviados Botadero de Basura del municipio de San Vicente de Chucurí.	196
Fotografía 19. Aves de Carroña en el Botadero de Basuras del municipio de San Vicente de Chucurí.	197
Fotografía 20. Pastoreo de vacunos en el área del botadero de basuras del municipio de San Vicente de Chucurí.	197
Fotografía 21. Deterioro paisajístico Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.	198
Fotografía 22. Deterioro estético Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.	199
Fotografía 23. Deslizamiento talud Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.	199
Fotografía 24. Deslizamiento talud Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.	200
Fotografía 25. Vía de Acceso al Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.	203
Fotografía 26. Uso final del sitio del Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí (Zona de reserva forestal).	206
Fotografía 27. Secuencia fotográfica recuperación de la zona botadero de basura municipio de San Vicente de Chucurí.	238

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Valores Totales Mensuales de Precipitación (IDEAM).	249
Anexo B. Tabla 3-4 Hidráulica para Canales Abiertos (Germán Eduardo Gavilán).	250
Anexo C. Tabla 3.11 Taludes Recomendados para Canales sin Revestimientos (Ven Te Chow 1959)	251
Anexo D. Tabla de Velocidades Medias (m/s) de la Corriente de Agua, que son Admisibles (no erosivas) para Suelos Cohesivos. Lichtvan-Levediev.	252
Anexo E. Ensayos de laboratorio de lixiviados.	253
Anexo F. Presupuesto y programa de ejecución de obras.	254
Anexo G. Planos.	280

## RESUMEN

**TITULO:** PROPUESTA METODOLOGICA PARA CLAUSURA Y POSCLAUSURA DE RELLENOS SANITARIOS Y/O BOTADEROS DE BASURAS\*.

**AUTORES:** DIANA CECILIA DIAZ GUTIERREZ  
ROSA DURAN ARIZA\*\*

### **PALABRAS CLAVES:**

Metodología  
Relleno Sanitario  
Botadero de Basura

### **CONTENIDO:**

En el presente estudio se proponen las diferentes metodologías para clausura y posclausura de Rellenos Sanitarios y Botaderos de Basuras. Hoy en día los municipios colombianos no cuentan con una guía para el adecuado saneamiento de los lugares de disposición final de sus residuos, este estudio se presenta idealmente como un primer paso para obtener un código de manejo de basuras.

Las metodologías presentadas están basadas en las normas vigentes y recomendaciones expedidas por el Ministerio del Medio Ambiente, por la Corporación Autónoma Regional de Santander y el municipio de San Vicente de Chucurí (PGIRS), así como también en publicaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de Naciones Unidas (ONU), la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

La metodología a seguir se resume en una guía rápida que permite que el usuario se ubique fácilmente a modo de diagrama de flujo. Por último se presenta como un caso estudio el proceso completo de clausura del botadero de basura a cielo abierto del Municipio de San Vicente de Chucurí en sus dos fases: reconocimiento y desarrollo. Fase de Reconocimiento: Recopilación de toda la información inherente al sitio a clausurar y determinación del diagnóstico. Fase de desarrollo: Diseño y construcción de las obras de infraestructuras necesarias para el cierre.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela Ingeniería Civil. Ing. Jaime Suárez Díaz

## SUMMARY

**TITLE:** METHODOLOGICAL PROPOSAL TO CLOSE LANDFILLS AND/OR GARBAGE DUMPS<sup>\*</sup>

**AUHORS:** DIANA CECILIA DIAZ GUTIERREZ  
ROSA DURAN ARIZA<sup>\*\*</sup>

### KEY WORDS:

Methodology  
Landfill  
Garbage dump

### CONTAINED:

In the following study, we propose the different methodologies to close landfills and garbage dumps. Colombian towns do not have a guide to properly manage waste disposal sites, at the present time. This study is presented as a first step to obtain a Standard in waste management.

The presented methodologies are based on the current regulations and recommendations issued by the Ministry of Environment, The Corporation Autonoma of Santander and City of San Vicente of Chucurí, as well as the literature published by the World Health Organization (WHO), The United Nations (UN), the Pan American Health Organization (PAHO).

The proposed methodology is summarized in a quick guide in the form of a flow chart to obtain a user friendly methodology. Finally, a case study is presented: Complete closure process of the garbage dump of the City of San Vicente of Chucurí. Phase I and II: Site investigation and development. Site investigation: Collection of all the information related with the site to be closed and classification. Development Design and construction of the needed infrastructures to carry out the closure process.

---

\* Bachelor's Final Project

\*\* School of Physique Mechanic Engineering, Department of Civil Engineering. Engineer Jaime Suarez Diaz

## INTRODUCCION

La disposición final de basuras producidas por una comunidad requiere de un tratamiento especial, donde convergen diferentes entes, entre los cuales cabe mencionar: La comunidad en general, las autoridades municipales, las empresas prestadoras del servicio de recolección y las empresas asociadas que trabajan en función del reciclaje. Existen métodos ingenieriles que facilitan el tratamiento de los residuos, el más importante y que será tratado ampliamente en el presente estudio es conocido con el nombre de Relleno Sanitario, el cual podría definirse como la acomodación de las basuras en capas debidamente compactadas e impermeabilizadas, que cuenta con un manejo adecuado de lixiviados y de los gases producidos en el proceso de degradación del material y que requiere de la escogencia de un terreno apropiado para localizarlo e implementarlo.

En municipios de Santander esta práctica aún no es aplicada debidamente, por lo cual solo se puede hablar de sitios dispuestos al aire libre para la colocación de los residuos producidos, lo que normalmente se conoce con el nombre de botaderos de basuras, trayendo como consecuencia impactos ambientales que en la mayoría de los casos afectan de forma directa o indirecta el bienestar y la salubridad de los pobladores, además, ocasionan al medio ambiente daños difíciles de evitar y que en muchas ocasiones resultan irreversibles.

Los cambios climatológicos a nivel global son consecuencia de la alteración de los ciclos en los diferentes elementos químicos y del agua; aunque los factores contaminantes relevantes resultan ser las grandes industrias, el uso inapropiado de los suelos, el consumo irracional del agua, etc., la disposición final de las basuras son un renglón de suma importancia ya que su errático

tratamiento generan alteraciones en el suelo, el aire y el agua. Es por esto, que se hace necesario formular políticas reales que permita un tratamiento correcto de las basuras, como solución elemental las entidades gubernamentales deben tomar medidas para clausurar aquellos sitios que actualmente están destinados a la disposición final de éstas y que no cuentan con planes de manejo ambiental, convirtiéndose en focos de degradación del hábitat.

Ante la problemática, el objetivo principal del presente proyecto es la adaptación de una metodología para clausura y posclausura de rellenos sanitarios y/o botaderos de basuras basada en la Reglamentación vigente, con el fin de presentar una alternativa de solución para los diferentes municipios del departamento de Santander que actualmente se encuentran sancionados por la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS. La formulación se da después de un cuidadoso análisis de la legislación mencionada, de los fenómenos producidos por un manejo inadecuado de los residuos y lo más importante, eliminar en lo posible todo foco que conlleve a la degradación del medio ambiente. La metodología es aplicada a la clausura del botadero de basura del municipio de San Vicente de Chucurí en el departamento de Santander, el cual posee serios problemas de contaminación produciendo una degradación al ecosistema.

## **1. DESCRIPCION DEL PROYECTO**

### **1.1 TITULO**

Propuesta metodológica para clausura y posclausura de rellenos sanitarios y/o botaderos de basura.

### **1.2 OBJETIVOS**

**1.2.1 Objetivo general.** Elaborar una metodología para la clausura y posclausura de rellenos sanitarios y/o botaderos de basura teniendo en cuenta la legislación y la normativa vigente expedida por el gobierno nacional y la Corporación Autónoma Regional de Santander.

#### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la reglamentación vigente con respecto a la clausura y posclausura de rellenos sanitarios y/o botaderos de basura.
- Formular una metodología para la clausura y posclausura de rellenos sanitarios y/o botaderos de basura.
- Aplicar la metodología propuesta al botadero de basura del municipio de San Vicente de Chucurí en el departamento de Santander.
- Formular alternativas de solución para obtener una recuperación total de la zona que ha sido afectada (botadero de basura del municipio de San Vicente de Chucurí), planteando los mecanismos de clausura y posclausura que mejor se adapten a ella.

### **1.3 ALCANCE**

Se buscará la solución a la problemática ambiental que genera actualmente el manejo inadecuado de la disposición final de basuras en los municipios del departamento de Santander, como caso particular al municipio de San Vicente de Chucurí.

### **1.4 DESCRIPCION DE LA PROBLEMÁTICA**

Los problemas ocasionados a nivel mundial por la disposición inadecuada de los residuos sólidos varían de acuerdo al grado de desarrollo de cada nación, en países en vía de desarrollo como Colombia la afectación que sufre el medio ambiente a raíz de la inapropiada disposición de los desechos es alarmante, si se tiene en cuenta que en muchos de sus municipios las basuras son arrojadas en sitios dispuestos al aire libre y sin ejercer control alguno sobre los impactos ocasionados al ecosistema; en departamentos como Santander algunos de sus municipios actualmente se encuentran sancionados por la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS), debido al incumplimiento de las normas existentes que regulan el tratamiento que se debe brindar a los desechos producidos por las comunidades, el municipio de San Vicente de Chucurí, no es ajeno a esta realidad, por lo tanto la propuesta metodológica para clausura y posclausura de rellenos sanitarios y/o botaderos de basura será aplicada a su vertedero de residuos sólidos con el fin de dar solución a la problemática ambiental que genera este sitio ubicado a escasos 270m del cauce principal del municipio.

### **1.5 JUSTIFICACION**

El progresivo aumento de la población y por consiguiente el aumento de la producción de residuos catalogados como inútiles, desechables o

indeseables hace que esta investigación tenga un alto grado de importancia, en una sociedad destructora de su hábitat; cabe recordar la ineficacia de los gobiernos por mantener la salud pública no por la no existencia de legislación sino por la inoperatividad de los entes encargados de su cumplimiento, el constante cambio que se está dando debe llevar a la formulación de mecanismos que permitan una mejor calidad de vida, y mantener un ecosistema donde se pueda convivir con la naturaleza en completa armonía y no como sus principales predadores.

El tema principal de este proyecto es el manejo de basuras, se realizará una metodología basándonos en la normativa legal vigente para la disposición final de desechos, la clausura y posclausura de rellenos sanitarios y/o botaderos de basuras en el departamento de Santander, esta actividad es regulada por la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

La sociedad actual se ha visto atacada por la proliferación de virus, bacterias y enfermedades que están amenazando seriamente la población, y como respuesta se les está brindando un ambiente propicio para su desarrollo y crecimiento, es imprescindible que despertemos y que convirtamos este gran botadero de basura en un espacio digno para la vida y poco probable para el desarrollo de nuestra destrucción. Un manejo adecuado de lo que desechamos (basuras), nos permite un ambiente ideal para el buen desarrollo y crecimiento de nuestra población futura.

La naturaleza se ha visto azotada por la mano indiscriminada del hombre, su respuesta a esto es lo que a diario se observa en los diarios escritos, televisivos, radiales, etc., se les llama desastres naturales, pero no es más que la evidencia de que sino se formulan verdaderas políticas que generen concientización en la población mundial, los seres humanos se convertirán en una especie en vía de extinción. Por todo esto es que este proyecto

reviste una mayor importancia, ya que el estudio estará basado en la producción de basuras, las cuales en la actualidad se han convertido en verdaderos focos de contaminación del hábitat.

## 2. MARCO TEORICO

En la mayoría de los países del mundo, el desarrollo de las ciudades y de sus zonas industriales ha traído consigo la generación de enormes cantidades de desechos que manejados inadecuadamente han provocado innumerables daños al medio ambiente.

Según su origen los desechos pueden clasificarse como: domésticos (aquellos que provienen de las residencias), comerciales (aquellos que se originan de diversos establecimientos comerciales de servicios, tales como supermercados, bancos, bares, etc.), públicos (aquellos originados por la limpieza pública urbana, limpieza de prados, residuos de barro de las vías públicas, etc.), hospitalarios (son tanto los residuos de hospitales que pueden contener gérmenes patógenos como los productos del hospital como jeringas, gasas, etc.), industriales (originados por actividades industriales como tabacaleras, metalúrgicas, cementeras, ladrilleras, etc.) y agrícolas (generados por fincas agrícolas y ganaderas).

El problema de los desechos es que a medida que avanza el tiempo no solo aumenta la cantidad de residuos sino su grado de toxicidad haciéndose más complejo su tratamiento, debido a la falta de cultura de reutilización y reciclaje de productos la cantidad de desechos no biodegradables y tóxicos aumentan de forma desmesurada.

Los diferentes tipos de desechos clasificados actualmente por su grado de contaminación han obligado a que muchos países del mundo se interesen por estudiar y establecer los mejores procesos para su tratamiento. Las necesidades de manejo, minimización, aprovechamiento y confinamiento de los desechos, se han convertido en los factores de impulso de la

investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, incluso se ha visto como la educación se encuentra orientada hacia el reciclaje y la reutilización de productos para disminuir la cantidad de desechos y el impacto ambiental que se generan; la solución que la mayoría de los entes gubernamentales locales da al problema de sus desechos está condicionada a los recursos públicos que se destinen para el saneamiento ambiental.

## **2.1 FORMAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS MAS EMPLEADAS EN COLOMBIA**

**2.1.1 Relleno sanitario.** En pequeños municipios la población asimila el término Relleno Sanitario con Botadero de Basura, ignorando la diferencia existente entre ellos, lo que genera el rechazo a la fundación de los primeros en predios cercanos a sus propiedades por las desagradables consecuencias que acarrea y además por la desvalorización de sus terrenos.

La Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers, ASCE) define un Relleno Sanitario como: Una técnica para la disposición de la basura en el suelo, sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, utilizando principios de ingeniería, para confinar la basura en la menor área posible, reduciendo su volumen hasta la mínima cantidad posible, para luego cubrir las basuras así depositadas diariamente con una capa de tierra al final de la jornada o tan frecuentemente como sea necesario

El Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, Decreto 605 de 1996, por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo, define Relleno Sanitario como: “La confinación y aislamiento de los residuos sólidos

en un área mínima, con compactación de los residuos y cobertura final”<sup>1</sup>. Como podemos ver en ninguna de las dos definiciones anteriores se mencionan el tratamiento de gases y lixiviados generados por la descomposición de las basuras ni el proceso final de sellamiento o clausura del Relleno, procesos muy importantes a tener en cuenta en un Relleno Sanitario que disminuyen el impacto ambiental y visual que este produce. Una definición completa de Relleno Sanitario sería entonces: Un terreno cerrado, dispuesto para depositar los residuos sólidos de una comunidad, los cuales después de ser escogidos se compactan buscando el volumen mínimo de espacio a ocupar; donde se procesan los gases y lixiviados que la descomposición de desechos produce y por último se cubre y compacta para evitar el acceso de animales indeseables y de insectos portadores de enfermedades. Un Relleno Sanitario bien clausurado debe ser agradable a la vista y no debe generar malos olores. En la Figura 1 se presenta un corte esquemático de un relleno sanitario. Es importante resaltar que en investigaciones del medio ambiente llevadas a cabo hasta el momento, se ha llegado a la conclusión que aunque la técnica de Relleno Sanitario no es el único tratamiento de disposición final de desechos, si es el más eficaz.

### ➤ **Ventajas y desventajas de rellenos sanitarios**

#### • **Ventajas**

- La inversión inicial de capital es inferior si se compara con la inversión para la implementación de una planta de compostaje o de incineración.
- Los costo de operación y mantenimiento son relativamente bajos.

---

<sup>1</sup> COLLAZOS PEÑALOZA, Héctor. Diseño y construcción de rellenos sanitarios

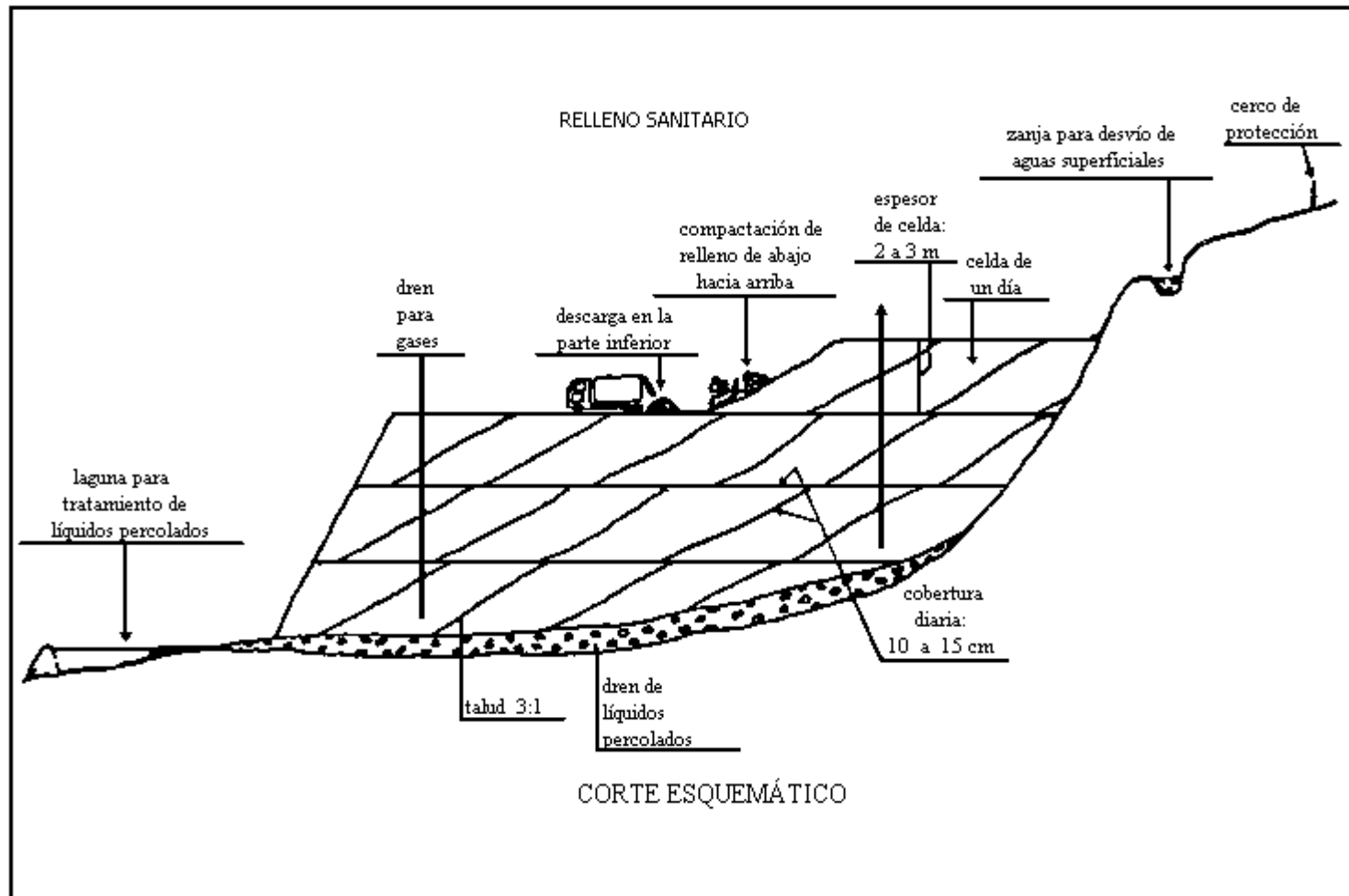
- Un relleno sanitario es un método completo de disposición final de residuos sólidos.
- Genera empleo de mano de obra no calificada.
- Su ubicación puede ser tan cerca del casco urbano como la disponibilidad del lugar lo permita.
- La vida útil depende del espacio que se disponga y puede ser puesto a funcionar al poco tiempo de iniciado el proyecto.

- **Desventajas**

- La adquisición del terreno constituye el primer obstáculo para la ubicación de un Relleno Sanitario, pues se presenta rechazo por parte de la comunidad por los factores antes mencionados.
- Existe un alto riesgo de convertirse en botadero de basura si se descuida su administración y no se le da la supervisión técnica continua que demanda.
- Si no se toman las debidas precauciones puede presentarse contaminación de aguas subterráneas y superficiales.
- Se presentan asentamientos fuertes los primeros 5 años aproximadamente.

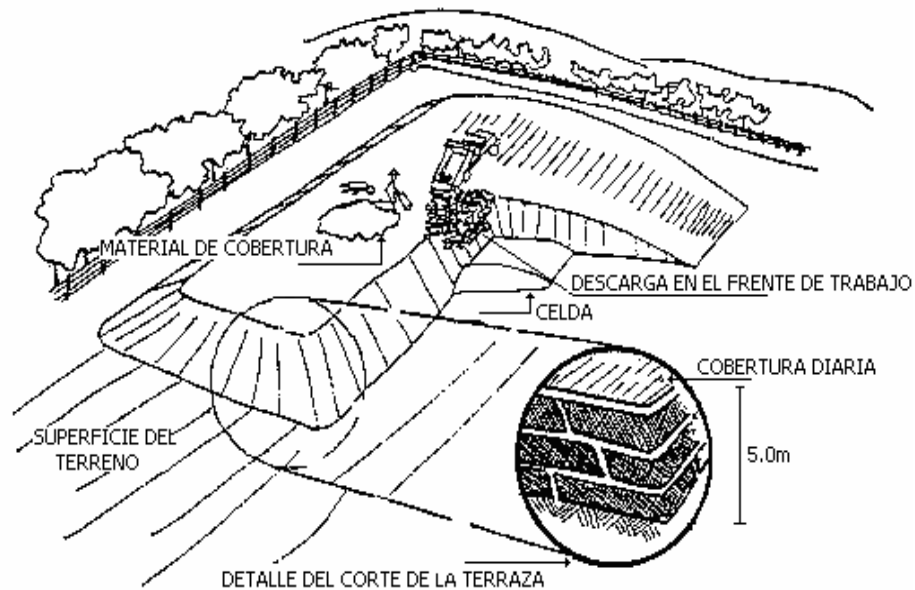
➤ **Tipos de rellenos Sanitarios.** El tipo de relleno sanitario se escoge dependiendo de la forma que tenga el terreno inicialmente, la cual se conoce por la topografía inicial del sitio.

Figura 1. Corte Esquemático Relleno Sanitario.



- **Tipo Área.** Este tipo de Relleno Sanitario es normalmente empleado en terrenos relativamente planos con depresiones naturales como lugares pantanosos y terrenos adyacentes a los ríos, o artificiales como canteras a cielo abierto producto de una explotación de materiales como arcilla, arena, triturado, etc. La celda que se forma de este tipo de Relleno es de forma rectangular cúbica, no se tiene que excavar pues la cantera ya está hecha, se coloca la basura, se compacta y se cubre con suelo de la parte superior del Relleno, este tipo de Relleno permite que se hagan unas celdas encima de otras. (Ver Figura 2)

**Figura 2. Relleno Sanitario tipo Área<sup>2</sup>**



- **Tipo Rampa.** Este tipo de Relleno Sanitario es utilizado en terrenos de pendiente moderada o en aquellos lugares que tienen una capa delgada de material susceptible de ser usado para recubrimiento o como sello del relleno. La celda que se forma de este tipo de Relleno es de forma triangular, se hace una pequeña excavación en el terreno inicial inclinado, se colocan los

<sup>2</sup> <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/curso/pequena/pequena.html>

desechos, se compactan y luego se tapan con la tierra excavada quedando una superficie con pendiente similar a la inicial.

- **Tipo Zanja o Trinchera.** Este tipo de Relleno Sanitario se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos a tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga. Incluso existen experiencias de excavación de trincheras de hasta 7 metros de profundidad para relleno sanitario. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra que es extraída inicialmente.

Este tipo de Relleno Sanitario necesita de unas condiciones propicias como son: un nivel freático bajo o alejado de la superficie del suelo pues de lo contrario peligra la contaminación de aguas freáticas, además de un tipo de suelo adecuado para excavación, es claro que los terrenos rocosos no son aptos para este tipo de Relleno Sanitario pues presentaría dificultades en la excavación. (Ver Figura 3.)

**Figura 3. Relleno Sanitario Tipo Zanja o Trinchera<sup>3</sup>**



<sup>3</sup> <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?identrega=759>

➤ **Clasificación de rellenos sanitarios**

• **Clasificación según la clase de residuo depositado**

- Tradicional con residuos sólidos urbanos seleccionados: No acepta ningún tipo de residuo de origen industrial, ni tampoco lodos.
  
- Tradicional con residuos sólidos urbanos no seleccionados: Acepta además de los residuos típicos urbanos, industriales no peligrosos y lodos previamente acondicionados.
  
- Rellenos para residuos triturados: Recibe exclusivamente residuos triturados, aumenta la vida útil del relleno y disminuye el material de cobertura.
  
- Rellenos de seguridad: Recibe residuos que por sus características deben ser confinados con estrictas medidas de seguridad.
  
- Relleno para residuos específicos: Son rellenos que se construyen para recibir residuos específicos (cenizas, escoria, etc.)
  
- Rellenos para residuos de construcción: Son rellenos que se hacen con materiales inertes y que son residuos de la construcción de viviendas u otras.

• **Clasificación según las características del terreno utilizado**

- En áreas planas o llanuras: Más que relleno es un depósito en una superficie. Las celdas no tienen una pared o una ladera donde apoyarse, es

conveniente construir pendientes adecuadas utilizando pretiles de apoyo para evitar deslizamientos. No es conveniente hacer este tipo de relleno en zonas con alto riesgo de inundación.

- En quebradas: Se debe acondicionar el terreno estableciendo niveles aterrazados, brindando de esta manera una base adecuada que sustente las celdas. Se deben realizar las obras necesarias para captar las aguas que normalmente escurren por la quebrada y entregarlas a su cause aguas abajo del relleno.

- En depresiones: Se debe evitar el ingreso de aguas a la depresión, tanto provenientes de la superficie como de las paredes por agua infiltrada. La forma de construir el relleno dependerá del manejo que se de al biogás y a los lixiviados.

- En laderas de cerros: Normalmente se hacen partiendo de la base del cerro y se va ganando altura apoyándose en las laderas del cerro. Es similar al relleno de quebrada. Se deben aterrazar las laderas del cerro aprovechando la tierra sacada para la cobertura y tener cuidado de captar aguas lluvias para que no ingresen al relleno.

- En ciénagas, pantanos o marismas: Estos sitios no son muy recomendables para el desarrollo de un relleno Sanitario, debido a la dificultad que presenta la construcción del mismo en estos sitios, además de necesitar equipos especializados y gran mano de obra; es necesario aislar el área, drenar el agua y una vez seco proceder a construir el relleno.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html#Disposición%20final>

## ➤ **Descripción general de un relleno sanitario**

- **Zona de entrada y de salida.** Esta zona comprende la puerta principal del Relleno Sanitario, la caseta de registro y la báscula; la entrada y la salida pueden estar ubicadas en el mismo sitio o si es un Relleno Sanitario grande pueden ubicarse en sitios diferentes para agilizar el procedimiento de registro y peso de los camiones, una vez el camión sea registrado y pesado a la entrada es autorizado su ingreso.

- **Sistema vial.** Este sistema está compuesto por vías principales, secundarias y temporales; las vías principales tienen especificaciones como vías permanentes durante la vida útil del Relleno Sanitario; las vías secundarias son utilizadas en periodos determinados, podría decirse que son temporales pero estas vías son las que permiten el tránsito dentro del Relleno y las vías temporales son las usadas para llegar al frente de trabajo, estas vías tienden a desaparecer a medida que el Relleno Sanitario avanza. Se debe tener en cuenta que tanto las vías principales como secundarias y temporales, están expuestas a un tráfico pesado durante todo el tiempo de uso, en época de lluvia y de verano, de día y de noche, en jornadas laborales y no laborales y por lo tanto deben estar disponibles permanentemente y deberán ser diseñadas para esas características.

- **Playa de descargue.** La playa de descargue es el área donde el camión que trae la basura gira 180° para descargar en reversa y dejar la basura lo mas cerca del Frente de Trabajo de la Celda Diaria. Es importante notar que esta playa de descargue debe permitir maniobrar tanto al camión de carga de basuras como a la maquinaria pesada que labore en la Celda Diaria.

- **Celda diaria.** La celda diaria es el espacio donde se coloca la basura del día. Tiene un frente con una inclinación aproximada de 30°, una altura y un

fondo. Después que el camión de basura deja su carga, un buldózer riega la basura sobre el frente de la Celda Diaria en capas de 20 a 30 centímetros aproximadamente, compacta la basura las veces que sea necesario para alcanzar un peso específico mínimo<sup>5</sup> de 0.7 t/m<sup>3</sup>, cada vez que se tenga una capa de basura debe iniciarse la compactación y al final del día la celda debe ser tapada y de nuevo compactada.

- **La basura.** Tan pronto se tapa la Celda Diaria con suelo, inicia el proceso de descomposición de las basuras que se encuentra definido por dos etapas biológicas:

- Fase aeróbica: Consiste en la metabolización aeróbica del material orgánico presente en las basuras que se efectúa siempre y cuando exista oxígeno libre atrapado, produciendo un fuerte aumento en la temperatura y generando productos característicos de esta etapa como son el Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Agua (H<sub>2</sub>O), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Nitritos, Nitratos y otros gases menores.

- Fase anaeróbica: Esta etapa inicia gradualmente a medida que el oxígeno disponible atrapado se va agotando y los organismos facultativos y anaeróbicos empiezan a predominar produciendo cambios en la materia, primero de sólida a líquida y luego de líquida a gaseosa, continuando con la descomposición orgánica de una manera mas lenta que en la primera etapa. Los productos que caracterizan la fase anaeróbica son el Gas Carbónico, los Ácidos Orgánicos, Nitrógeno, Amoniaco, Hidrógeno, Metano, Compuestos Sulfurados (responsables del mal olor) y Sulfitos de Hierro, Manganeso e Hidrógeno.

---

<sup>5</sup> Diseño y construcción de Rellenos Sanitarios, Héctor Collazos Peñaloza

- Los residuos, especialmente los orgánicos, al ser compactados por maquinaria pesada liberan líquidos contenidos en su interior, los cuales tienden a escurrir hacia la base de la celda, pero una parte es absorbida de nuevo por la masa del Relleno cuando tiende a recuperar su forma inicial. Estos líquidos, más los generados por la fase anaeróbica y la fase de licuefacción, generan una mezcla heterogénea con un elevado potencial contaminante llamado Lixiviado.

• **Otras obras.** El Relleno Sanitario comprende obras complementarias tales como los canales perimetrales para el control de escorrentía superficial, los drenes internos para el control de lixiviados, las chimeneas para el control de gases producto de la descomposición de los desechos, la impermeabilización diaria del relleno, las mallas de protección para evitar el ingreso de personal no autorizado ni de animales no deseados y para evitar la salida de plásticos o papeles debido al viento, la implementación de los sistemas de control y la siembra de vegetación, entre otros.

### **Componentes de un Proyecto de Relleno Sanitario**

• **Sistema de tratamiento base.** Un sistema de tratamiento de base tiene como función proteger el funcionamiento del Relleno Sanitario, evitando la contaminación del subsuelo o acuíferos adyacentes debido a la infiltración de lixiviados o líquidos percolados. El sistema de tratamiento de base debe presentar las siguientes características:

- Impermeabilidad
- Durabilidad
- Resistencia Mecánica
- Resistencia a la corrosión
- Compatibilidad físico-química-biológica con los residuos enterrados.

Los materiales más usados para impermeabilizar la base un Relleno Sanitario son las arcillas compactadas y las geomembranas sintéticas.

- **Sistema de operación.** Cómo se opere un relleno sanitario depende de los aspectos considerados a la hora del diseño. Un relleno sanitario puede hacerse en tres formas tradicionales como vimos anteriormente: Tipo Área, Tipo Rampa y Tipo Trinchera. Es recomendable que siempre haya un área destinada para descargar las basuras en días de lluvia o en momentos en que por algún motivo la basura no pueda ser descargada en el frente de trabajo.

Las basuras deben ser cubiertas diariamente con suelo para:

- Impedir el arrastre de material por causa del viento.
- Evitar la proliferación de moscas, roedores u otros animales indeseables.
- Evitar el aspecto antiestético de las basuras.
- Facilitar la movilización de las máquinas o vehículos sobre el Relleno.
- Propiciar el escurrimiento superficial, dificultando la infiltración de aguas precipitadas sobre el Relleno.

Un sistema de operación debe contar con un sistema de control de funcionamiento del Relleno Sanitario, el cual debe aprovisionarse de una balanza localizada a la entrada y a la salida donde los vehículos que entran y salen son pesados y registrados, para llevar un control cuantitativo de las basuras que ingresan al Relleno.

- **Sistema de drenaje de fundación.** Es conveniente proteger el sistema de impermeabilización de la base del Relleno Sanitario con un sistema de drenaje de la fundación para la recolección de aguas subterráneas. Este sistema debe funcionar tanto durante la impermeabilización del terreno como durante la vida útil del Relleno Sanitario.

- **Sistema de cobertura.** Un sistema de cobertura tiene como función proteger la superficie del Relleno, minimizando los impactos ambientales, evitando la proliferación de roedores, la formación de lixiviados y gases, reduciendo los malos olores, permitiendo el paso de los camiones colectores sobre el Relleno Sanitario, reduciendo las posibles salidas de gases facilitando el control de ellos, entre otros. También es importante que el sistema de cobertura sea resistente a procesos erosivos y a futuras construcciones, para lo el uso de protección vegetal es muy recomendado.

- **Sistema de drenaje de aguas lluvias.** Este sistema tiene como fin interceptar y desviar la escorrentía superficial de aguas lluvias durante la vida útil del Relleno evitando la infiltración y el aumento de lixiviados. El dimensionamiento de la red de drenaje de aguas lluvias depende principalmente de la cantidad de agua que será drenada; los métodos de cálculos que se practican actualmente son los mismos que se usan para la escorrentía urbana tomando pequeñas áreas de contribución<sup>6</sup>. El sistema de drenaje de aguas lluvias no debe ser el mismo sistema de drenaje de lixiviados ya que estos deben ser tratados antes de ser devueltos al río para evitar su contaminación.

- **Sistema de drenaje de gases.** Los sistemas tienen como función drenar los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. La migración de gases en un relleno Sanitario debe ser controlada a través de

---

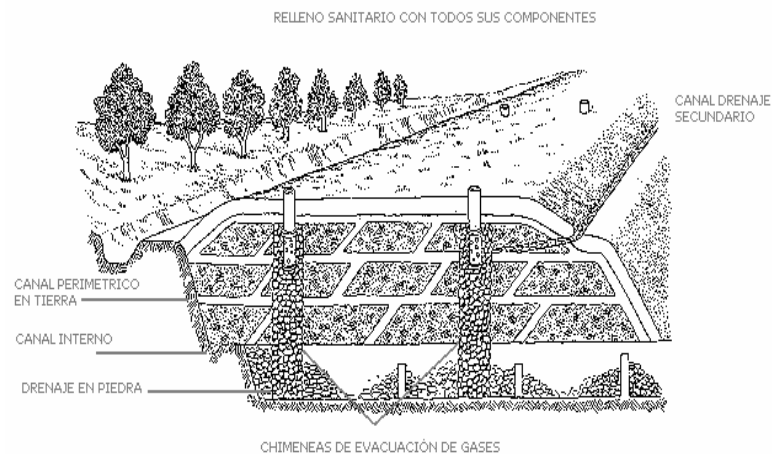
<sup>6</sup> Manual de Gerenciamiento Integrado, Brasil, Instituto de Pesquisas Tecnológicas

redes de drenaje adecuadas, constituidas por tubos verticales de concreto perforado (Chimeneas), colocados en puntos escogidos del Relleno Sanitario. Estos tubos atraviesan todo el Relleno Sanitario en sentido vertical desde el suelo de origen hasta las capas superiores.

Conectados a los drenes verticales deben existir unos drenes horizontales que faciliten el proceso haciendo más eficiente el sistema; estos drenes pueden estar conectados al sistema de drenaje de lixiviados dependiendo de la alternativa de solución adoptada para el Relleno Sanitario. En la Figura 4 se presenta un detalle de los sistemas de drenaje de gases y lixiviados.

- **Sistemas de estabilidad de taludes.** La estabilidad de los taludes debe ser analizada a partir de parámetros y métodos adecuados y por personas especializadas en la materia. Un factor importante en el análisis de la estabilidad de los taludes es la influencia de los líquidos y gases generados por la descomposición de los desechos.

**Figura 4. Relleno sanitario concluido. Detalle de la ubicación de las chimeneas para evacuación de gases y los canales de drenaje de lixiviados<sup>7</sup>**



<sup>7</sup> <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/cursos/pequena/pequena.html>

- **Sistema de recolección y tratamiento de lixiviados.** Una de las formas de minimización de impacto ambiental causado por un relleno Sanitario es la recolección, remoción y tratamiento de lixiviados. La recolección deberá ser realizada a través de drenes o tubos que componen un sistema de drenaje de lixiviados los cuales conducirán los líquidos recolectados a tanques de acumulación donde serán enviados a tratamientos adecuados.

El tipo de instalaciones de tratamiento dependerá de las características del lixiviado, y en segundo lugar, de la localización geográfica y física del relleno sanitario. Las características más preocupantes del lixiviado incluyen: DBO, DQO, sólidos totales disueltos (STD), metales pesados y constituyentes tóxicos sin especificar. Si los lixiviados contienen concentraciones extremadamente altas de STD, por ejemplo sobre 50.000 (mg/l), pueden ser difíciles de tratar biológicamente. Con valores altos de DBO es preferible emplear procesos de tratamientos anaeróbicos, porque los procesos de tratamientos aeróbicos son muy costosos. Concentraciones altas de sulfato pueden limitar el uso de procesos de tratamientos anaeróbicos, debido a la producción de olores procedentes de la reducción biológica de sulfatos a sulfuros. La toxicidad producida por los metales pesados también es un problema para muchos procesos de tratamiento biológico. Los procesos de tratamiento utilizados actualmente son:

- Recirculación: este sistema se fundamenta en procesos de infiltración y percolación de líquidos a través de la masa de basura del relleno, pero no es aconsejable en zonas de ladera porque disminuiría la vida útil del talud.
- Lagunas de estabilización: este sistema tiene fundamento teórico de tratamientos de líquidos contaminados en lagunas, basado en la biodegradación de materia orgánica comprendida por dos grupos de bacterias: aeróbicas y anaeróbicas.

- Ataques químicos: los líquidos generados por un Relleno Sanitario pueden ser tratados por procesos químicos como por ejemplo el de Hidrólisis enzimática o Hidrólisis Ácida.

- Filtros biológicos: el fundamento de los filtros biológicos está basado en la descarga continua o intermitente de despojos a través de un medio biológico activado. Existen dos tipos de filtros según la activación biológica: aerobios y anaerobios.

- Procesos Fotosintéticos: a pesar de no estar muy implementado este proceso los resultados obtenidos con una planta llamada aguapé son bastantes promisorios por la posibilidad de tratar los despojos líquidos y producir biomasa que puede ser convertida en fertilizante.

- **Sistemas de tratamiento de los gases.** Los principales problemas de los métodos de tratamiento de gas están relacionados con la capacidad real de producción y recuperación y con la dificultad de un estricto control de determinados parámetros como la humedad, pH, temperatura, sólidos volátiles y presencia de sustancias inhibidoras de procesos biológicos, entre otros. El proceso de tratamiento de gases más utilizado ha sido la quema de los gases provenientes del Relleno Sanitario a través de los drenajes de gases.

- **Sistemas de Monitoreo.** Los sistemas de monitoreo tiene como función conocer y evaluar el impacto causado por el Relleno Sanitario a través de monitoreo continuo y sistemático, se compone de un monitoreo geotécnico y un monitoreo ambiental.

Un sistema de monitoreo geotécnico consiste en:

- Control de deslizamientos horizontales y verticales
- Control del nivel de lixiviado y presión de poros dentro del Relleno
- Control de descarga de lixiviados a través de drenes
- Programación de inspecciones periódicas al Relleno
- Control de descarga de gases

Un sistema de monitoreo ambiental consiste en:

- Control de calidad de las aguas subterráneas
- Control de calidad de aguas superficiales
- Control de calidad del aire
- Control de contaminación del suelo
- Control de insectos propagadores de enfermedades
- Control de vectores

Un monitoreo debe ser efectuado a través de pozos de monitoreo que contienen piezómetros, medidores de deslizamientos horizontales y verticales, medidores de vacío, análisis físico-químico y biológico.

• **Sellamiento final del Relleno Sanitario.** Los drenajes que rodean el área del Relleno Sanitario, las vías de acceso y los sistemas de monitoreo, deben ser mantenidos en funcionamiento después de sellado el Relleno Sanitario. Los sistemas de drenaje y tratamiento de lixiviados y de gases deberán ser mantenidos en operación durante todo el tiempo que los líquidos y gases se presenten.

La cobertura final del Relleno Sanitario debe ser ejecutada de manera que evite el surgimiento de insectos y roedores y la infiltración de líquidos y gases además que disminuya el impacto ambiental producido por él. El monitoreo

deberá ser mantenido y las lecturas realizadas periódicamente hasta la estabilización del Relleno Sanitario.

**2.1.2 Botaderos de basuras.** Un Botadero de Basuras es una forma de disposición final inadecuada de los desechos que genera una población, se caracteriza por ser únicamente la descarga de dichos residuos, sin control técnico y sin medidas de protección del medio ambiente o de la salud pública, además no hay ningún diseño ni dimensionamiento previo. Como es de suponerse un Botadero de Basuras conlleva a problemas como la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, contaminación atmosférica, afectación del paisaje, llegada de roedores e insectos indeseables y transmisores de enfermedades, malos olores, etc. (Ver Fotografía 1).

**Fotografía 1. Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipio de San Vicente de Chucurí (Departamento de Santander, Colombia)**



### **Características de un Botadero de Basuras:**

- Los Botaderos de Basuras carecen de control sobre la disposición de los residuos sólidos, es decir se aprecian arrumes desordenados sobre el área afectada.
- Los lixiviados fluyen superficialmente, extendiéndose y almacenándose en las zonas bajas del terreno.
- Presencia de insectos, roedores, aves de rapiña, etc.

### **Problemas de un Botadero de Basuras:**

- **Sanitarios.** Son aquellos que afectan directamente la salud pública, a continuación se mencionan algunos: Movimiento de las basuras, mal olor, roedores, insectos, vectores, acceso a material peligroso como desechos patógenos, presencia de animales grandes (porcinos, vacunos, perros, gatos), entre otros.
- **Ambientales.** Son aquellos que afectan indirectamente la salud pública, e incomodan el bienestar de la comunidad: Contaminación del aire, contaminación del agua superficial, contaminación del agua subterránea, contaminación del suelo, disminución del valor agregado del terreno, contaminación visual, deterioro paisajístico, entre otros.
- **Operacionales.** Son aquellos considerados como actividades inadecuadas de operación de Residuos Sólidos, pueden afectar los aspectos sanitarios y ambientales a largo plazo: Vías de acceso intransitables durante lluvias, inexistencia de control de residuos, los desperdicios pueden transitar libremente por la comunidad, presencia de recuperadores en el relleno (Ver

Fotografía 2), no hay reciclaje en la fuente, aumento en la producción de lixiviados en épocas de lluvias, entre otros.

**Fotografía 2. Recuperadores en la zona del Botadero de Basura de San Vicente de Chucurí.**



**2.1.3 Diferencias entre un relleno sanitario y un botadero de basuras.**

Existen diferencias bien marcadas en estos dos sistemas de disposición final de residuos sólidos, los rellenos sanitarios son dispositivos diseñados ingenierilmente para el manejo adecuado de desechos y los botaderos de basuras a cielo abierto se han implementado debido a la negligencia de las autoridades municipales para manejar adecuadamente las basuras. En el Cuadro 1. se encuentran consignadas las principales diferencias entre estos mecanismos de disposición final de residuos.

**Cuadro 1. Diferencias entre un botadero de basuras y un relleno sanitario<sup>8</sup>**

<b>Botadero de Basuras</b>	<b>Relleno Sanitario</b>
No existe planeación que anteceda a la utilización del sitio de disposición final.	Es un proyecto de ingeniería basado en unas normas oficiales y técnicas.
No existen obras de control	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de captación de lixiviados: Drenes captadores, Cárcamo receptor, fosa de aireación y sistema de recirculación.</li> <li>• Sistema de captación de biogás: Pozos de absorción del biogás</li> <li>• Drenajes perimetrales</li> <li>• Cercado perimetral</li> <li>• Barrera de amortiguamiento</li> </ul>
Equipamiento deficiente o nulo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipamiento especializado</li> <li>• Camino de acceso</li> <li>• Caseta de control</li> <li>• Bascula de pesaje</li> <li>• Cargadores de oruga</li> <li>• Compactadores</li> </ul>
Posible contaminación del manto freático por lixiviados	Cuidado de los mantos freáticos
Proliferación de fauna nociva	No existe fauna nociva
Incendios permanentes	Carece de Incendios

**2.1.4 Transformación de un botadero de basura en relleno sanitario.**

Convertir un Botadero de Basura en Relleno Sanitario es una técnica que hace posible la recuperación gradual de un área degradada por las basuras que se encuentra atacando la salud pública del sector.

<sup>8</sup> <http://www.guanajuato.gob.mx/ieeg/proyecto.htm#DIF>

### **2.1.5 Métodos para solucionar los problemas generados en los rellenos sanitarios y/o botadero de basura**

- **Solución de los problemas sanitarios.** Para la eliminación del fuego es necesario cubrir el basurero con material de cobertura, en ausencia de este puede usarse basura en mayor grado de descomposición o conseguir material de préstamo. Es importante cercar todo el basurero para evitar la entrada de animales indeseables y personas ajenas al proyecto, además para evitar que las basuras sean arrastradas por el viento y sean instaladas en otros sitios. A medida que el basurero vaya siendo tapado adecuadamente debe irse limpiando para evitar que vuelva a convertirse en botadero de basura.

- **Solución de los problemas ambientales.** Es muy importante que el Relleno Sanitario tenga un drenaje superficial que separe las aguas superficiales de los lixiviados, esto puede hacerse por medio de canaletas o tubos que dirijan estos lixiviados a los procesos que se planea aplicar a éstos posteriormente.

Para disminuir la cantidad de lixiviados que genera el Relleno es necesario impermeabilizar el área que va siendo sellada; en épocas de lluvias el caudal de lixiviado tiende a aumentar, como consecuencia de dos factores, el primero es la escorrentía de los terrenos aledaños para lo cual es necesario la construcción de los canales perimetrales, y el segundo es la lluvia que cae directamente sobre el relleno, que debe ser amortiguada por la cubierta. Los lixiviados que son recogidos en canales colectores deben dirigirse a un tanque de almacenamiento y posteriormente a la planta de tratamiento cuyas características deben definirse de acuerdo a los estudios químicos realizados a los líquidos lixiviados.

- **Solución de los problemas operacionales.** Los problemas operacionales están directamente relacionados con el manejo de las basuras, es decir, las formas o condiciones de operación de los residuos sólidos en un Relleno Sanitario. Lo importante en la clausura de un Basurero es que mientras se esté haciendo el procedimiento, el sector debe seguir recibiendo las basuras, ya sea porque se está creando un área nueva para Relleno Sanitario o porque se piensa continuar en esa área como Relleno Sanitario.

## **2.2 OTRAS FORMAS DE DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Existen tres técnicas para el manejo de los desechos urbanos, el Relleno Sanitario, el Compostaje y la Incineración, escoger una de ellas sólo depende de la comunidad y del presupuesto del que esta disponga.

**2.2.1 Compostaje.** Se le da el nombre de compostaje al proceso biológico de descomposición de la materia orgánica contenida en restos de origen animal o vegetal. Este proceso tiene como resultado final un producto que puede ser aplicado al suelo para mejorar sus características sin ocasionar daños al medio ambiente. Hace mucho tiempo que el compostaje se practica en las zonas rurales utilizando los restos vegetales y el estiércol animal.

### **Ventajas:**

- Economía
- Aprovechamiento agrícola de a materia orgánica
- Reciclado de nutrientes para el suelo
- Proceso ambiental seguro
- Eliminación de patógenos

**Proceso de compostaje.** El compostaje es la descomposición de materia orgánica que ocurre por efecto de agentes biológicos (microorganismos), por tanto necesita de condiciones físicas y químicas adecuadas para llevar a cabo la formación de un producto de buena calidad. El proceso de compostaje puede ocurrir por dos métodos:

- Método natural: una fracción orgánica de basuras es llevada a un patio y se coloca en pilas de forma variable. Con la aireación necesaria para un desarrollo de un proceso de descomposición biológica y seguida de una remoción periódica con ayuda de el equipo adecuado.
- Método acelerado: la aceleración es producida por perforaciones tubulares sobre las cuales se colocan las pilas como en reactores rotatorios, dentro de los cuales son colocados los residuos, girando en el sentido contrario a la corriente de aire. Posteriormente se dispone en pilas como en el método natural.

Los residuos sólidos que mejor se prestan al compostaje son los que tienen fracciones fermentables, tales como los municipales, agrícolas, industriales y aguas negras. El producto obtenido se utiliza como corrector de suelos para la agricultura, como soporte de fertilizantes y para la manufactura de ciertos productos. Aunque actualmente se debe tener especial cuidado con los desechos orgánicos hospitalarios que pueden tener patógenos dañinos que pueden mezclarse con la cosecha agrícola y ganadera.

**2.2.2 Incineración.** La incineración es el Método de Tratamiento más antiguo y el más usado en algunos países de Europa, donde en muchos casos la falta de espacio y terrenos apropiados obligan a emplearlo. Los objetivos principales de este tratamiento son la reducción de volumen y del peso de la masa, así como la transformación de la basura en materiales

relativamente no combustibles, inodoros, homogéneos, de mejor aspecto y sin valor para el desarrollo de plagas y animales.

La incineración es un principio de combustión controlada de desechos combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Para comprender mejor el proceso de incineración se debe estudiar primero los principios de la combustión, que se define como un proceso químico de oxidación, acompañado por el desprendimiento de energía (luz y/o calor).

La incineración de residuos sólidos puede ser clasificada de acuerdo al lugar donde se acumulan las basuras (en un sitio aislado o en una cavidad del terreno), el fuego es encendido con la ayuda de algún combustible auxiliar. Durante la combustión es necesario agitar la masa y algunas veces se proveen fuentes de aire adicional. En este tipo de incineración, aún cuando se consigue la reducción del volumen, la combustión no es controlada, así como tampoco se reducen las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Este método se usa principalmente en los botaderos abiertos y representa muchos peligros, especialmente para el personal que normalmente se encuentra en estos sitios, además de las emisiones contaminantes a la atmósfera.

**2.2.3 Reciclaje de residuos sólidos.** La generación de residuos sólidos ha aumentado progresivamente en el mundo, este fenómeno se encuentra asociado al incremento en los niveles de ingreso, cambio en los hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y mejora de estándares de calidad de vida de la población. Una forma de aumentar la vida útil de un Relleno Sanitario es reciclando, cuya meta es el uso y re uso de los materiales provenientes de desechos, este proceso debe iniciar por una separación que por efectos de eficiencia debe hacerse en el origen de generación de desechos (casas, industrias, almacenes, empresas, etc.). Actividades principales en el proceso de reciclaje:

- **Recolección:** se deben agrupar cantidades considerables de materiales reciclables, separar elementos contaminantes (no reciclables) de los no contaminantes (reciclables), los cuales deben clasificarse de acuerdo a su tipo.
- **Manufactura:** los materiales clasificados se utilizan como nuevos productos o como materias primas para algún proceso.
- **Consumo:** los materiales de desperdicio deben ser consumidos, los compradores deben demandar productos con el mayor porcentaje de materiales reciclados o reciclables en ellos. Sin demanda, el proceso de reciclaje se detiene.

**Reciclaje de papel.** El consumo de papel y de cartón ha crecido también exponencialmente por el incremento de la población y de la cultura en todo el mundo. El beneficio ambiental de reciclar papel inicia con la disminución de extracción de fibras de vegetales vírgenes, además de la disminución del volumen de residuos municipales, la disminución de la contaminación atmosférica y de la contaminación del agua. El papel reciclable se elabora sin utilizar cloro en el proceso de blanqueo de la pasta. Puede obtenerse papel ecológico a partir de papel reciclado, garantizando la mínima utilización de productos químicos y la depuración de aguas residuales. Se considera papel reciclado aquel que cumple con la característica de contener como mínimo un 90% en peso de fibras de recuperación, este papel cumple con las características necesarias para ser usado como papel de impresión y escritura. El papel reciclable no se debe mezclar con papel sucio, pañuelos, papel de aluminio, papel de fax, papel engomado, plastificado, encerado, etc.

**Reciclaje de plásticos.** Dentro de los residuos urbanos, los plásticos representan aproximadamente el 10% en peso de los desechos. Tanto en

los residuos totales como en los de precedencia urbana, las poliofelinas son el componente mayoritario. Le siguen de cerca en importancia el policloruro de vinilo y el poliestireno, en orden diferente según su origen el poliestireno reftalato.

- **Factores que afectan el reciclado de los plásticos.** El tipo de tratamiento que se da a los residuos plásticos viene determinado por una serie de factores de muy distinta naturaleza, en pocos casos tecnológicos, y entre los que habría que destacar la disponibilidad de terrenos aptos para su uso como rellenos sanitarios, legislación ambiental, apoyos y subvenciones de autoridades gubernamentales regionales y locales, etc. Así, mientras en América y Europa la mayor parte de los residuos municipales son enterrados, en Japón, donde cada metro cuadrado es oro puro, se favorece su incineración.

**Reciclaje de vidrio.** Los beneficios ambientales del reciclaje de vidrio se traducen en una disminución de los residuos municipales, disminución de la contaminación del medio ambiente y un notable ahorro de los recursos naturales. Cada Kg de vidrio recogido sustituye 1.2 Kg de materia virgen. Las ventajas del vidrio están soportadas en que las industrias que venden su producto en este material han decidido reciclar creando los llamados envases de vidrio retornables que, después de un proceso adecuado de lavado, pueden ser utilizados nuevamente con el mismo fin. Una botella de vidrio puede ser reutilizada unas 40 o 60 veces aproximadamente con un gasto energético del 5% frente al reciclaje. Además el vidrio es 100% reciclable y mantiene todas sus cualidades de manera que 1Kg de vidrio produce exactamente esa misma cantidad en vidrio reciclado. El reciclaje de vidrio consiste en fundir el vidrio para hacer vidrio nuevo.

**Reciclaje de envases.** Diariamente, utilizamos una cantidad considerable de envases de los llamados ligeros: Envases de plásticos (poliestireno blanco, de color, PET, PVC, otros), latas de hierro y aluminio, brics. Los envases de plásticos se pueden reciclar para la fabricación de bolsas de plástico, mobiliario urbano, señalización, o bien para la obtención de nuevos envases de uso no alimentario. Los Brics se pueden reciclar aprovechando conjuntamente sus componentes (fabricación de aglomerados), o bien con el aprovechamiento separado de cada material (reciclaje del papel y valorización energética del poliestireno y el aluminio).

**Reciclaje de pilas y baterías.** Las pilas usadas no son un residuo cualquiera, son un residuo especial, toxico y peligroso:

- Pilas Botón: Se utilizan en relojes, calculadoras, sensores remotos, etc. A pesar de su reducido tamaño son las más contaminantes.
- Pilas grandes: Pilas cilíndricas o de pequeñas baterías, que contienen menos metales pesados, pero se producen muchas más.

Cuando, incorrectamente, se tiran las pilas con los restos de los desechos, estas pilas van a parar a algún vertedero o al incinerador. Entonces el mercurio y otros metales pesados tóxicos pueden llegar al medio y perjudicar a los seres vivos. Previamente a la recolección o almacenamiento de pilas en cualquiera de sus variedades, se debe tener siempre presente si existen plantas que traten este tipo de residuo, ya que al verse con una gran cantidad de pilas sin tener un destino, se puede ocasionar mucho mas daño al ecosistema al botarlas concentradamente.

Con el reciclaje de las pilas, se recupera el mercurio (de elevado riesgo ambiental) y se valoriza el plástico, el vidrio y los otros metales pesados

contenidos en las pilas. Las pilas normales pueden ser almacenadas en previsión de poner en marcha de forma inmediata un sistema por el cual serán trituradas mecánicamente, y de la que se obtendría escoria férrica y no férrica, papel, plástico y polvo de pila.

**Reciclaje de aceites.** Eliminar aceites usados sin ningún tipo de control contamina gravemente el medio ambiente.

- Si se vierten al suelo, se está generando un proceso de contaminación de los cuerpos de aguas (ríos y acuíferos).

- Si se vierten a alcantarilla, se contamina los ríos lo que dificulta el buen funcionamiento de las plantas depuradoras.

- Si se queman en forma inadecuada, contaminan la atmósfera.

Una alternativa de reciclaje para los aceites usados en el desarrollo de las actividades propias de talleres de reparación de automóviles, estaciones de servicio e industrias, esta relacionada con el transporte de estos a plantas de tratamiento. A partir de un proceso secuencial de destilación, se recupera separadamente agua que se aprovecha en el mismo proceso, gasóleo que se utiliza como combustible y aceite regenerado que se puede comercializar; a partir de 3 litros de aceite usado, se obtienen 2 litros de aceite regenerado

**Reciclaje de refrigeradores y CFC.** Los refrigeradores utilizan clorofluorocarburos, tanto en el sistema de refrigeración como en las espumas aislantes, unas sustancias con un elevado riesgo ambiental y por sus efectos, nocivos para la capa de ozono. Por ello se necesita una gestión adecuada de estos electrodomésticos cuando dejen de ser útiles. En innumerables reglamentaciones medioambientales se menciona que los

residuos especiales son aquellos que requieren de un tratamiento específico, de manera que no se debe mezclar con los residuos ordinarios porque podrían afectar negativamente al medio ambiente. Los clorofluorocarburos, normalmente conocidos como CFC, son los responsables de que los refrigeradores y otros aparatos de refrigeración que también los contienen deban considerarse como residuos especiales.

Si los CFC se liberan a la atmósfera, favorecen la destrucción de la capa de ozono, esta capa filtra la radiación solar, de manera de que una parte importante de los rayos ultra violetas son absorbidos y no llegan a la superficie terrestre. Los efectos de este fenómeno son negativos para la sociedad. Por una parte, porque la radiación ultravioleta es nociva para la mayoría de los seres vivos y por otra parte porque contribuye a la alteración del clima. Todos los refrigeradores y aparatos de refrigeración producidos antes de 1995 contienen CFC y los contienen de la siguiente manera:

- El CFC R-12 se encuentra en el sistema de refrigeración.
- El CFC R-11 esta presente en las espumas aislantes de poliuretano, donde actúan como agente expansores.
- El contenido de un refrigerador promedio es de aproximadamente de 1kg. de CFC.

### **2.3 IMPACTOS GENERADOS AL MEDIO AMBIENTE POR LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Las alteraciones ocasionadas al medio ambiente debido a la disposición final de residuos sólidos, están relacionados con la falta de conciencia colectiva y conductas sanitarias por parte de la población, muchas veces los desechos

producidos son simplemente abandonados en calles, andenes, a orillas de ríos, en zonas verdes etc. Esto conlleva a costos sociales y económicos elevados, produciéndose devaluación de las propiedades aledañas a estos lugares, además de los costos de reparación que se deben implementar para restablecer las áreas afectadas.

Los problemas sanitarios provocados por la disposición final de residuos sólidos se deben en gran medida a las reacciones de las basuras con el agua, produciéndose gases y lixiviados, y trayendo como consecuencia el riesgo de incendio y explosiones, y la generación de ambientes propicios para el desarrollo de vectores. Algunos estudios realizados han demostrado que físicamente los desechos están formados en un 50% por agua, vegetales, animales, plásticos, vidrios, etc., y químicamente por sustancias orgánicas, compuesto minerales y algunos residuos tóxicos.

Las sustancias líquidas y los sólidos disueltos (comúnmente conocidos con el nombre de lixiviado), fluyen por gravedad hacia el terreno natural, infiltrándose y llegando a los cuerpos de aguas subterráneas, contaminándolas. Algunos de estos caudales se mueven superficialmente en terrenos impermeables desembocando en corrientes naturales de agua. Factores climáticos como la lluvia, la temperatura y los vientos aceleran los procesos de descomposición y facilitan la dispersión de los factores contaminantes generados en un botadero de basura.

El medio ambiente es fundamental para el desarrollo de cualquier organismo que habita sobre la superficie terrestre. Este está conformado por elementos abióticos de los que se pueden mencionar la energía solar, el suelo, el agua y el aire; y otra por elementos bióticos u organismos vivos, donde los seres humanos son la parte más desarrollada. Estos elementos

integran la capa de la Tierra llamada biosfera, sustento y hábitat de los seres vivos.

Las perspectivas de futuro, en lo que al medio ambiente se refiere son poco claras y alentadoras; a pesar del cambio en las políticas gubernamentales y la inversión económica en planes de prevención y corrección, existe aún una escasa conciencia de protección del mismo. Durante los últimos años se trabaja arduamente en la formulación de mecanismos que minimicen el impacto ocasionado por la manipulación de los desechos generados por el hombre durante el desarrollo normal de sus actividades. Para abordar esta problemática es necesario exponer cuales son los principales componentes del ecosistema afectados por la disposición de las basuras en rellenos sanitarios y en especial los efectos causados por los botaderos de basura a cielo abierto

### **2.3.1 Efectos causados por los rellenos sanitarios y botaderos de basuras**

**Elementos Abióticos.** Los principales componentes del sistema abiótico son la energía solar, el suelo, el agua y el aire; todos estos se ven seriamente afectados por la disposición inadecuada de los desechos.

- **Suelo.** Es la cubierta superficial de la tierra, parte fundamental para el crecimiento de la biota. Es una mezcla de materiales consolidados y no consolidados de partículas orgánicas e inorgánicas producidos por procesos naturales y actividades antrópicas. Es afectado por los procesos de descomposición de las basuras, pues los suelos sobre los cuales se vierten los desechos cambian notablemente su composición física y química.

Durante las fases de desarrollo de un relleno sanitario o un botadero de basuras, los suelos son afectados en todas las etapas. En la primera denominada de “habilitación”, la remoción de la capa superficial de los suelos provoca la extinción del medio edáfico, los movimientos de tierras ocasionan alteraciones en la permeabilidad natural del terreno. Así mismo en la “fase de construcción y ejecución” existe un alto nivel de contaminación del suelo debido a la acción de los procesos de degradación de las basuras.

- **Agua.** Es el componente fundamental para el desarrollo de la vida en el planeta, constituye del 50 al 90% de la masa de los seres vivos; la sangre de los animales y la savia de las plantas contienen grandes cantidades de este líquido imprescindible para su existencia, utilizado para los procesos metabólicos y eliminación del material de desecho.

El agua tiene un ciclo natural denominado ciclo hidrológico. Cuando se produce vapor de agua por evaporación y transpiración, éste circula por la atmósfera condensándose y precipitándose a la tierra en forma de lluvia. Al caer a la tierra el agua sigue diferentes trayectorias, alguna se infiltra, otra corre como escorrentía superficial, otra se evapora directamente y otra cae en los cuerpos de agua; la que se infiltra y logra pasar el manto de raíces de las plantas se acumula en recintos denominados acuíferos. En los últimos años se ha visto una disminución significativa del líquido, debido a la devastación de los bosques por la extensión de la frontera agrícola y pecuaria. En algunas regiones del mundo la escasez es de tal magnitud que amenaza la supervivencia del hombre, mientras que en países ricos hídricamente como Colombia las leyes no son suficientemente severas para impedir la degradación de las selvas que son el elemento fundamental para la conservación del líquido. Las fuentes subterráneas aun poco exploradas en muchas regiones del planeta son una buena alternativa.

Diversas organizaciones mundiales tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la organización de Naciones Unidas (ONU), entre otras, han demandado de los gobernantes de sus países miembros la formulación de políticas para solucionar la crisis que actualmente vive el planeta debido a la escasez del líquido; todos estos esfuerzos son encaminados hacia la restauración del medio ambiente y el de establecer un verdadero equilibrio entre el hombre y la naturaleza, fuente ella de la vida y medio para la supervivencia de la especie humana.

En países en vía de desarrollo la pobreza, la falta de educación, la inestabilidad política, entre otros factores, son los causantes de la devastación del ecosistema, por lo que se requiere de un nivel alto de concientización de los generadores de desechos para que éstos tengan un tratamiento adecuado, con el objeto de minimizar las crisis sanitarias y ambientales. La contaminación que se genera en las fuentes de aguas tanto superficiales como subterráneas, debido al manejo inadecuado de residuos sólidos es alarmante si se tiene en cuenta que los vertederos, en la mayoría de los casos, se encuentran ubicados cerca a ríos, quebradas, lagos, lagunas, pantanos, etc., o simplemente los desechos son arrojados directamente sobre el cuerpo de agua. (Ver Fotografía 3)

**Fotografía 3. Ríos de basura<sup>9</sup>**



---

<sup>9</sup> [http://www.euskadi.net/aztertu/ib7\\_c.htm](http://www.euskadi.net/aztertu/ib7_c.htm)

Durante el desarrollo de las fases de un relleno sanitario o un botadero de basuras, se puede decir que en la ejecución de la etapa de habilitación comienzan a producirse alteraciones en el ciclo hidrológico, afectándose los regímenes de infiltración y escorrentía. En la etapa de construcción y desarrollo se origina el mayor impacto de contaminación sobre los manantiales.

La contaminación de las corrientes superficiales se manifiesta en forma directa con la presencia de residuos sólidos sobre los cuerpos de aguas, incrementado de esta forma la carga orgánica que conlleva a una disminución notable de oxígeno disuelto responsable de mantener el equilibrio vital en estos lugares; y con la incorporación de agentes externos que causan severos daños a las especies presentes. Como consecuencia de esto se ha podido apreciar la disminución de algunas especies de peces, y en algunas ocasiones se puede hablar simplemente de su desaparición, en un claro atentado contra la biodiversidad. Algunos residuos sólidos permanecen suspendidos en las corrientes de agua, comprometiendo seriamente su aspecto estético. Las corrientes superficiales también se ven comprometidas por la llegada de los lixiviados que son sustancias con cargas orgánicas muy elevadas, lo que junto con lo anterior conlleva a la pérdida irreparable del recurso.

La contaminación del agua seguirá siendo un problema mientras el crecimiento demográfico continúe ejerciendo presión sobre el medio ambiente. Es importante enfatizar que se debe trabajar mancomunadamente para darle al recurso hídrico un uso razonable en aras del desarrollo de la vida.

- **Aire.** La atmósfera terrestre está constituida principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). El 1% restante lo forman otros gases tales como el argón (0,9%), el dióxido de carbono (0,03%), distintas proporciones de vapor de agua, y trazas de hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio,

neón, kriptón y xenón. La atmósfera ha ido cambiando drásticamente en los últimos años debido a la contaminación producida por el hombre en busca de su desarrollo comercial, tecnológico e industrial.

Las actividades cotidianas del hombre han afectado drásticamente la composición de la atmósfera. Uno de los principales impactos es el generado por la descomposición de las basuras depositadas en periodos de tiempo generalmente largos; este proceso produce gases tales como metano, dióxido de Carbono, y en cantidades más pequeñas ácido sulfhídrico, cloro y flúor entre otros. Las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera han aumentado en un 30% desde 1750 debido al uso de combustibles fósiles, la destrucción de extensas cantidades de bosque tropical y la degradación de las basuras.

Este crecimiento viene influyendo en el clima del planeta, en un proceso que es conocido como el nombre de *efecto invernadero*. Los gases acumulados en la parte superior se convierten en una barrera que impide la circulación normal de la radiación solar, y como bien es sabido la atmósfera es transparente a esta radiación solar de onda corta emitida por la superficie terrestre. Gran parte de esta radiación vuelve a ser emitida al espacio exterior con longitudes de onda correspondiente a los rayos infrarrojos, pero esta energía es devuelta a la superficie por la acumulación de los gases trayendo como consecuencia un calentamiento en exceso del globo, alterando los ciclos climatológicos normales y poniendo en riesgo la población.

Otro gas importante producido en el proceso de degradación de las basuras es el metano, puede generar riesgos de explosión, incendio e intoxicación, dependiendo del grado de concentración y exposición, además la emisión de este gas representa una aportación muy significativa al efecto invernadero. “El metano es uno de los compuestos más contaminantes en el efecto de invernadero”, por lo tanto las estrategias para la reducción de las emisiones

de metano ofrecen uno de los más efectivos medios de mitigación del calentamiento global del planeta por las siguientes razones:

El metano es uno de los principales gases de efecto de invernadero, seguido del bióxido de carbono. En efecto el metano es responsable de alrededor del 18 % en la contribución total de gases de efecto invernadero (absorben la radiación infrarroja), y una forma de su manifestación es la elevación de la temperatura terrestre (retención de la temperatura). El metano es el gas más potente en el efecto de invernadero, alrededor de 21 veces mayor su efecto que el bióxido de carbono en 100 años. El metano tiene una vida media de 11 años en la atmósfera, mientras que el bióxido de carbono permanece más de 120 años en la misma (IPCC 1992), el metano por su alta potencia de absorber radiaciones y su corta vida hace que se tenga un impacto inmediato en el cambio climático, por tal razón uno de los principales objetivos en este y otros proyectos similares es el control del biogás.

La formulación de propuestas hechas por organismos internacionales ambientalistas con miras a generar soluciones a los problemas de calentamiento global, la lluvia ácida y otros factores que amenazan seriamente la supervivencia, han hecho especial énfasis en el control técnico de la emisión de los gases en los rellenos sanitarios a través de implementación de filtros y sistemas purificadores.

**Elementos Bióticos.** Está conformado por los seres vivos, que requieren para su supervivencia el uso de los recursos producidos por la naturaleza, e interactúan entre sí, estableciendo diversas relaciones que favorecen el equilibrio adecuado para el normal funcionamiento del planeta

- **Población humana.** Siendo la generadora de la problemática es afectada directamente. Durante la fase de habilitación de un relleno sanitario o un botadero de basura se puede apreciar el impacto que producen los residuos: Congestión vial, ruido, polvo, movimiento de maquinaria pesada,

entre otros factores que afectan el normal funcionamiento de las actividades cotidianas.

En la fase de construcción y ejecución se produce contaminación atmosférica y todo lo que ella implica: Contaminación visual y auditiva, contaminación de las aguas, impacto paisajístico (debido al cambio de la topografía del terreno), modificaciones de las actividades normales del área etc., entre otros factores. En los botaderos de basuras a cielo abierto se produce lo que es más relevante: La proliferación de moscas, puesto que la basura queda expuesta, lo cual les facilita la reproducción, y la de vectores de enfermedades que atacan constantemente a la población que habita cerca de los sitios de disposición final.

En el territorio colombiano, específicamente en el departamento de Santander, resulta preocupante la negligencia con que se manejan los vertederos de basuras, ya que en la mayor parte de sus municipios se hacen a cielo abierto sin ningún control.

En estudios realizados por la Procuraduría General de la Nación en 194 municipios de Colombia el 41.4%<sup>10</sup> de ellos opera sin licencia y manejo ambiental de los vertederos, agravando de manera seria la crisis ambiental y sanitaria que esta viviendo el país.

En países en vía de desarrollo la problemática es mucho mayor, debido a la explosión demográfica como consecuencia de diferentes factores: Tradiciones religiosas, morales y educativas que impiden un control de natalidad para mantener el equilibrio entre la población y el territorio disponible para vivir. Este constante crecimiento conlleva al aumento en la generación de residuos sólidos que no son tratados adecuadamente.

---

<sup>10</sup> Documento de la procuraduría publicado en el diario la República Junio 23 de 2.004 vía Internet

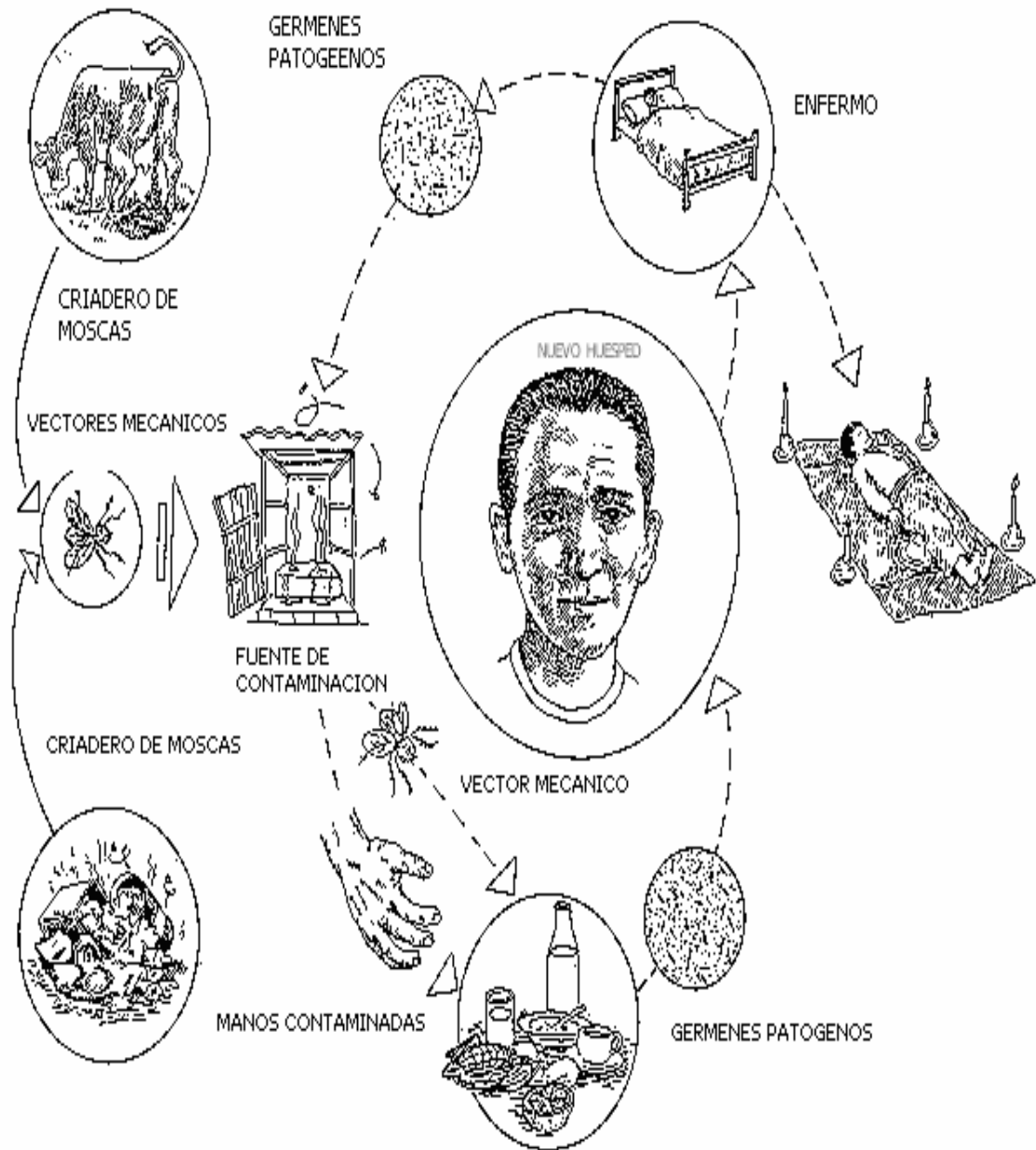
Las poblaciones más afectadas por el manejo inapropiado de residuos son las comunidades más pobres, especialmente los habitantes de las áreas periféricas de los cascos urbanos y rurales, los residuos son una fuente de enfermedades, ya sea por la contaminación de las aguas que son usadas para el consumo o por los alimentos contaminados por moscas y otros insectos. La Figura 5 presenta un esquema del papel que juegan los residuos sólidos en la transmisión de enfermedades.

Todos los gases producidos durante la biodegradación de los residuos resultan dañinos para la población; algunos son altamente cancerígenos, de ahí el gran número de enfermedades de origen químico y biológico. (Ver Cuadro 2). En periodos de verano los elementos de vidrio presentes en los basureros hacen la veces de lupa ocasionando incendios, donde el humo afecta el sistema respiratorio de las poblaciones expuestas, en adición a los problemas ecológicos y sociales que pueden acarrear el incendio en sí.

- **Fauna y flora.** Estos son afectados desde que se empiezan a depositar las basuras. Su territorio es invadido generando desequilibrio en su hábitat. La proliferación de especies más resistentes son favorecidas por el nuevo espacio generado por la descomposición de los residuos, e irrumpen en los terrenos aledaños, generando problemas para la población humana.

En los países como Colombia las cifras son aún más preocupantes, tomando en cuenta que las basuras no tienen un sitio adecuado para su disposición final y simplemente son tiradas en botaderos a cielo abierto con todas las consecuencias que esto implica. La acumulación de residuos sólidos favorece la aparición de vectores que ponen en riesgo la salud humana. En el Cuadro 3 se presenta un resumen de algunas de ellas.

**Figura 5. Papel que juegan los residuos sólidos en la transmisión de enfermedades<sup>11</sup>**



<sup>11</sup><http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/cursos/pequena/pequena.html>

**Cuadro 2. Algunas enfermedades debido al manejo inadecuado de los residuos sólidos<sup>12</sup>**

TIPO DE SUSTANCIA	SINTOMA/ENFERMEDAD
Bario	* Efectos tóxicos en el corazón
	* Efectos tóxicos en los vasos sanguíneos
	* Efectos tóxicos en los nervios
Cadmio	* Acumulación el hígado
	* Acumulación en los riñones
	* Acumulación en los huesos
Arsénico	* Toxicidad crónica o aguda (por acumulación)
	* Pérdida de energía, fatiga
	* Cirrosis
	* Dermatitis
	* Se acumula en los huesos, hígado y riñones
Compuestos Orgánicos, Bencenos, hidrocarburos, Insecticidas, Esteres fenólicos	*Cancerígenos
Cromo	* Tumores de Pulmón
Mercurio	* Vómito, Náuseas
	* Somnolencia
	* Diarrea sanguinolenta
	* Afecciones del riñón
Pesticidas órgano fosforados, órgano clorados, carbamatos, clorofenóxidos	* Afecciones al cerebro
	* Afecciones al sistema nervioso
Plomo	* Anemia
	* convulsiones
	* Inflamaciones

Para minimizar la devastación medioambiental, el mundo debe reconocer que los recursos naturales son finitos. La idea del crecimiento continuado debe abrir paso a un uso más racional de ellos, todos los esfuerzos de

<sup>12</sup> Estudios de la Estación Estatal del medio Ambiente 1.995

gobernantes y de la sociedad deben girar en torno a mantener un lugar propicio para el desarrollo de la vida y esto puede lograrse con un cambio de actitud por parte de la humanidad. El impacto de carácter antrópico sobre el medio ambiente ha sido comparado con las grandes catástrofes del pasado geológico de la Tierra; independientemente de la actitud de la sociedad respecto al crecimiento continuo, la humanidad debe reconocer que atacar el medio natural pone en peligro la supervivencia de su propia especie.

En países pobres la tarea es mayor, el esfuerzo va encaminado a la educación de sus gentes, a la concientización de la población para actuar todos mancomunadamente en busca de preservar el medio ambiente. El mundo está atento a los cambios que se están dando y busca a toda máquina formular mecanismos que le permitan controlar el deterioro medioambiental. Tal es la preocupación que en marzo de 2002, se puso en órbita el satélite ambiental europeo Envisat, con el fin de obtener información precisa sobre el medio ambiente. El Envisat dispone de 10 instrumentos científicos que recogerán datos sobre el nivel de los océanos, las emisiones de gases de efecto invernadero, las inundaciones, el tamaño de la capa de ozono, y la deforestación, entre otros. Los datos enviados por el satélite servirán, no sólo para conocer el estado de los ecosistemas, sino también para tomar decisiones políticas y controlar el cumplimiento por parte de los distintos países.

Las nuevas políticas mundiales giran en torno a generar un Desarrollo Sostenible, que hace referencia al desarrollo económico y social que permite hacer frente a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Hay dos conceptos fundamentales en lo que se refiere al uso y gestión sostenibles de los recursos naturales del planeta. En primer lugar, deben satisfacerse las necesidades básicas de la humanidad: comida, ropa, lugar donde vivir y trabajo. En segundo lugar, los límites para el desarrollo no son absolutos,

sino que vienen impuestos por el nivel tecnológico y de organización social, su impacto sobre los recursos del medio ambiente y la capacidad de la biosfera para absorber los efectos de la actividad humana. Es posible generar espacios para el desarrollo de tecnología y lograr una organización social de manera que lleve a un crecimiento económico sensible a las necesidades medioambientales.

**Cuadro 3. Cuadro resumen de las principales enfermedades provenientes de los residuos sólidos depositados<sup>13</sup>**

ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES RELACIONADOS CON RESIDUOS SÓLIDOS		
VECTORES	FORMA DE TRANSMISION	ENFERMEDADES
Ratas	* A través del mordisco, orina y heces	* Peste bubónica
	* A través de las pulgas que viven en su cuerpo	* Tifus murino
		* Leptospirosis
Moscas	* Por vía mecánicas ( a través de las alas, patas y el cuerpo)	* Fiebre tifoidea
		* Salmonelosis
	* A través de las heces y saliva	* Cólera
		* Amebiasis
		* Disentería
Mosquitos	* A través de la picazón del mosquito hembra	* Giardiasis
		* Malaria
		* Leishmaniosis
		* Fiebre amarilla
		* Dengue
Cucarachas	* Por vía mecánica ( a través de alas, patas y cuerpo	* Filariosis
		* Fiebre tifoidea
	* Por las heces	* Cólera
Cerdos y ganado	* Por ingestión de carne contaminada	Giardiasis
		* Cisticercosis
		* Toxoplasmosis
		* Triquinosis
Aves	A través de las heces	* Teniasis
		* Toxoplasmosis

<sup>13</sup> Estudios de la Estación Estatal del medio Ambiente 1.995

Los materiales de desechos que son tratados adecuadamente en Rellenos Sanitarios producen algunos efectos positivos que vale la pena mencionar:

- Generación de empleo, basados en las actividades de reciclaje.
  
- Desarrollo de economías que giran en función a la distribución y comercialización de los materiales reciclables y materiales de reuso.
  
- Control de vectores, empleando pesticidas y teniendo en cuenta los ciclos biológicos de los insectos, manteniendo aislado sanitariamente el sitio por medio de la formación de un cordón sanitario que impida la infestación del relleno por roedores y el paso de especies animales desde y hacia afuera del relleno.
  
- Después de la etapa de clausura y posclausura debidamente desarrolladas se recuperan los terrenos, el paisaje y la estética, adquiriendo un significativo aumento en los precios de estas áreas.
  
- Para evitar los malos olores, y los ruidos se colocan pantallas vegetales (árboles y arbustos), lo que conlleva a la recuperación de la fauna y la flora, evitan la erosión producida en la etapa de inicio, e impiden que las corrientes de aire diseminen el polvo, los olores, etc.,
  
- Con el biogás producido se pueden generar recursos económicos a través de la generación de energía o la producción de gas natural.

## **2.4 IMPACTOS GENERADOS POR OTROS PROCESOS APLICABLES A LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

En el capítulo anterior se mencionaron otros tipos de procesamientos que se utilizan a nivel mundial para el tratamiento final de los residuos sólidos, los cuales generan también un impacto considerable al medio ambiente, donde cabe mencionar los métodos de incineración, pirolisis y plantas de compostaje

**2.4.1 Incineración.** El proceso térmico es una técnica usada generalmente en grandes centros urbanos en donde la disponibilidad de extensas zonas de terrenos para rellenos sanitarios es poca. Este es un proceso altamente costoso. Los principales impactos de acuerdo al desarrollo de cada una de las etapas de implementación sobre el ecosistema se mencionan a continuación:

En la etapa de Selección del sitio e implementación se tiene:

- Ambiente físico: Contaminación ambiental, atmosférica e impactos paisajísticos.
- Ambiente biológico: Daños causados a las zonas verdes, ocasionados por la remoción de la cubierta vegetal para llevar a cabo el montaje de la planta.
- Ambiente antrópico: Generación de malos olores, la manipulación del material durante la separación de los desechos pone en riesgo la salud pública y la salud de los operarios, higiene industrial, manipulación de la maquinaria lo cual puede llevar a poner en riesgo la salud de los trabajadores.

Dentro de las medidas de mitigación cabe mencionar la realización de un estudio donde se formule una serie de alternativas de los posibles sitios para la construcción de la planta con base en los planes de ordenamiento territorial (POTs), dirección del viento, impacto ocasionado a la flora y la fauna entre otros factores, formular manuales de prevención y seguridad industrial, evitar incineraciones sin el debido tratamiento de gases y en zonas de concentración urbana.

En la etapa de operación:

- Al ambiente físico: Poca eficiencia del sistema, generación de humos y alto contenido de metales pesados, pero el impacto más importante que se produce es la contaminación atmosférica debido a la generación de gases y cenizas de la combustión causantes del calentamiento global y del efecto invernadero y la generación de olores indeseables debido a la mala combustión.
- Al ambiente antrópico: Ruidos de transporte, durante la combustión se generan una serie de gases tales como dioxinas y furanos que causan graves efectos a la salud pública, ya que son altamente cancerígenos.

Dentro de las posibles medidas para disminuir estos impactos se encuentran: la emisión de los gases puede ser llevada hasta límites permitidos si se diseñan elementos que lo impidan, tales como filtros electrostáticos y lavadores de gases. La formación de dioxinas se puede controlar manteniendo una temperatura de aproximadamente 800 °C. Por último se deben establecer límites de horario de recolección y transporte, y elaborar planes de evolución de riesgos.

En la etapa de mantenimiento:

- Al ambiente físico: Generación de residuos tales como cenizas.
- Al ambiente antrópico: Fallas humanas y mecánicas, accidentes laborales, y alta complejidad en la operación y mantenimiento de la planta.

Como medidas de mitigación se pueden mencionar algunas, tales como realizar auditorias periódicas y capacitación del personal encargado del manejo de la planta, implementar un plan de seguridad industrial y ocupacional y equipar con todos los elementos de seguridad industrial a todo el personal.

**2.4.2 Compostaje.** Es un proceso biológico que puede ser del tipo anaerobio o aerobio. Esta técnica está basada en el aprovechamiento de la materia orgánica presente en los residuos sólidos bajo condiciones controladas; se produce una estabilización biológica de las basuras y como resultado se obtiene abono con las características de un suelo vegetal que puede ser usado en terrenos agrícolas, bosques y jardines. Es recomendado para ciudades pequeñas.

En la etapa de selección del sitio e implementación se tiene:

- Daños ocasionados al ambiente físico: Disturbios generados por el transporte del material, ruido, polvo y generación de vectores transmisores de enfermedades.
- Al ambiente biológico: Deterioros causados a las zonas verdes, debido a la remoción de material para la implementación de las plantas.
- Al ambiente antrópico: Durante la manipulación de los residuos se pueden ocasionar accidentes. Debido a la exposición directa e indirecta con los residuos se puede presentar proliferación de enfermedades.

Como medidas para reducir estos impactos se deben implementar programas de educación y concientización de la comunidad, establecer planes de contingencia contra la proliferación de vectores, entre otras.

En la etapa de operación:

- Al ambiente físico: Olores debido al proceso de biodegradación cuando el proceso es anaerobio.
- Al ambiente biológico: Producción de abono orgánico.
- Al ambiente antrópico: Para llevar a cabo este proceso los materiales deben ser separados, lo que conlleva al contacto directo con los residuos provocando de esta manera contaminación a las personas encargadas de esta misión.

Dentro de las medidas que se pueden tomar para lograr mitigar estos efectos se pueden mencionar: Hacer un revolvimiento periódico de los residuos con la debida separación de pilas creando de esta manera condiciones aeróbicas, con el fin de evitar malos olores en el proceso de descomposición. Además se deben efectuar campañas de reciclaje que faciliten la separación de los desechos en la fuente. El abono orgánico producido puede ser aprovechado para recuperar parte de la inversión inicial.

En la etapa de mantenimiento:

- Al ambiente físico: Deterioro de las instalaciones.
- Al ambiente antrópico: Deterioro de la salud de los trabajadores, e higiene de las instalaciones.

Dentro de las medidas de mitigación se puede recomendar la elaboración de un plan de conservación de las instalaciones físicas para evitar su deterioro prematuro. Formular un plan de seguridad y de salud ocupacional que integre a todos los operarios de la planta, equipar a todo el personal con todos los elementos de seguridad industrial dentro de los que se puede mencionar guantes, botas, uniformes. Proveer al sitio de instalaciones hidráulicas y sanitarias.

La disposición final de basuras en Colombia es un problema de salubridad pública. Según informes de la procuraduría de un estudio sobre manejo de residuos sólidos coordinado por la Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios en 194 municipios, incluidas 28 ciudades capitales de departamento con una población aproximada de 29 millones de personas, se encontró falta de planeación, diseño y ejecución en el manejo de los desechos generados. Según la procuraduría la situación se agrava si se tiene en cuenta que el 64,9% de los municipios incluidos en el estudio manejan botaderos de basuras a cielo abierto ante la ausencia de licencia ambiental, no están dando un manejo técnico a la disposición final de los residuos. Este procedimiento irregular ha generado impactos negativos en los recursos naturales. El estudio también reveló que 104 de esos municipios tienen sus vertederos en proximidades a fuentes hídricas y a cascos urbanos. De ellos 10 las descargan directamente en los cuerpos de agua y 37 descargan los líquidos lixiviados sin ningún tratamiento.<sup>14</sup> En los municipios del departamento de Santander estos problemas no son menores. En el caso particular de estudio de este proyecto se requiere hacer la clausura y posclausura del botadero de basura del municipio de San Vicente de Chucurí, localizado a 270m del río chucurí.

---

<sup>14</sup> Documento de la procuraduría publicado en el diario la República Junio 23 de 2.004 vía Internet

### 3. MARCO LEGAL

Los procesos de contaminación ambiental generados a partir de un incremento incontrolado en la producción de residuos sólidos de todo tipo, procedencia y naturaleza; originados, recogidos sin ninguna forma de selección y dispuestos deficientemente, la mayoría de las veces en cuerpos de agua, a cielo abierto o parcialmente incinerados; procesos éstos que generan riesgos de contaminación e infección, cuyos alcances han sido motivo de preocupación y análisis por parte de los organismos encargados del manteniendo del ambiente sano, quienes han adoptado normas y leyes tendientes a establecer mecanismos de control en aras de brindar a los ciudadanos un lugar propicio para su desarrollo.

A continuación se mencionan algunas de las normas y reglamentaciones relacionadas con saneamiento ambiental:

- Constitución Política de 1.991: El medio ambiente desde el punto de vista constitucional, involucra aspectos relacionados con el manejo, uso, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, el equilibrio de los ecosistemas, la protección de la diversidad biológica y cultural, el desarrollo sostenible y la calidad de vida del hombre entendido como parte integrante de ese mundo natural, temas que entre otros, han sido reconocidos ampliamente por la constitución Política de Colombia en muchas normas que establecen claros mecanismos para proteger este derecho y exhortan a las autoridades a diseñar estrategias para su garantía y desarrollo. La protección del medio ambiente ha adquirido en la Constitución colombiana un carácter de objetivo social, que al estar relacionado adicionalmente con la prestación eficiente de los servicios públicos, la salubridad y los recursos naturales como garantía de la supervivencia de las

generaciones presentes y futuras, ha sido entendido como una prioridad dentro de los fines del Estado y como un reconocimiento al deber de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. En este sentido, el derecho de las personas a disfrutar de un ambiente sano está consagrado en el artículo 79 de la Carta. Con fundamento en el artículo 88 de la Constitución, el derecho al medio ambiente sano se ha consagrado en la Carta como un derecho de carácter colectivo.

- Decreto-ley 2811 de 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- Ley 9ª de 1979, Código Sanitario Nacional, es un compendio de normas sanitarias para la protección de la salud humana.
- Decreto 02 de 1982, decreto reglamentario del Código de recursos naturales en cuanto a calidad del aire.
- Decreto 2104 de 1.983: Ministerio de Salud. Define la terminología técnica relacionada con los residuos sólidos. Contiene normas sanitarias aplicables al almacenamiento, presentación, recolección, transporte, transferencia, transformación y disposición sanitaria de los residuos sólidos.
- Decreto 1594 de 1984, por medio del cual se reglamenta parcialmente la Ley 9ª de 1979 y el Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos de aguas y residuos líquidos.
- Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

- Resolución número 541 de 1994, expedida por el Ministerio de Medio Ambiente, por la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.
  
- Ley 80 de 1.993, por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública.
  
- Resolución 541 de 1.994 Ministerio Escombreras: expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.
  
- Decreto 948 de 1995, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto 2811 de 1974; los artículos 41, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9ª de 1979, y la Ley 99 de 1993 en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire.
  
- Decreto 605 de 1.996, reglamenta la ley 142 de 1.994, establece las disposiciones sanitarias de residuos sólidos y prestación de servicios de aseo
  
- Ley 253 de 1996, por medio del cual se aprueba en Colombia el Convenio de Basilea
  
- Ley 430 de 1998, por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos.

- Decreto 2676 de 2000, por la cual se reglamenta el manejo integral de residuos hospitalarios.
  
- Resolución Número 1096 17 de Noviembre de 2.000, por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico.
  
- Decreto 2676 de 2000: Por el cual se reglamenta el Manejo Integral de los Residuos Sólidos Hospitalarios. En el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Hospitalarios y Similares, determina el sistema de incineración como el mecanismo de disposición final de los RSH-S incinerables sean estos: biosanitarios, anatomopatológicos, corto punzantes, de animales; o químicos como: fármacos vencidos, citotóxicos y reactivos.
  
- Resolución 201 de 2001: Expedida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, por la cual se establece las condiciones para la elaboración, actualización y evaluación de los planes de gestión y resultados.
  
- Resolución 151 de 2001: Expedida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, por la cual se establece la regulación integral de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo
  
- Resolución 153, 156 y 162 de 2001: Expedida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, que modifica parcialmente la resolución 151 de 2001 de la CRA.
  
- Resolución número 058 de 2002, expedida por el Ministerio de Medio Ambiente, establece normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos.

- Decreto 1180 de 2003, por medio del cual se reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.
  
- Decreto 1140 de 2003: Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con el tema de las unidades de almacenamiento, y se dictan otras disposiciones.
  
- Decreto 1505 de 2003: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos y se dictan otras disposiciones.
  
- Resolución 233 de 2002 y 247 de 2003: Expedida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, establece una opción tarifaria para multiusuarios de servicio de aseo.
  
- Resolución 1045, 26 de Septiembre de 2.003. Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones. Ministerio Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos
  
- Decreto 1443 de 2.004, Por el cual se reglamenta parcialmente el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 253 de 1996, y la Ley 430 de 1998 en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental por el manejo de plaguicidas y desechos o residuos peligrosos provenientes de los mismos, y se toman otras determinaciones.
  
- Resolución 477 de 2.004 Por la cual se modifica la Resolución 1045 de 2003, en cuanto a los plazos para iniciar la ejecución de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones PGIRS Ministerio

#### **4. PROPUESTA METODOLOGICA PARA CLAUSURA Y POSCLAUSURA DE RELLENOS SANITARIOS Y/O BOTADEROS DE BASURAS**

Por ser Colombia un país en vía desarrollo tanto económico como social, la mayor parte de sus habitantes no tiene una verdadera cultura del manejo adecuado de los residuos sólidos. A pesar de existir la normativa y legislación que reglamenta el tratamiento de los desechos, es común encontrar en la mayoría de sus municipios y hasta ciudades capitales que los procedimientos para la disposición final de la basura son inadecuados, lo que ocasiona impactos negativos al medio ambiente y problemas de salubridad pública.

La formulación de esta propuesta metodológica pretende aportar a las autoridades municipales y demás entidades encargadas del manejo de residuos sólidos, una serie de herramientas para desarrollar las actividades propias en procesos de saneamiento y cierre definitivo de los sitios de disposición final de las basuras. Para formular la metodología se toma como base las recomendaciones hechas en diferentes estudios e investigaciones, donde se han establecido los procesos mas eficientes y efectivos en el manejo de basuras y el control de su impacto sobre el medio ambiente; la normativa y legislación vigentes emanadas por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial y la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

Se toma la decisión de clausurar un relleno sanitario cuando ha cumplido su vida útil, para un botadero de basura a cielo abierto (sistema inadecuado de

manejo de residuos sólidos) debe hacerse la clausura de forma inmediata, como una medida para detener los efectos dañinos sobre el ecosistema y dar cumplimiento a las reglamentaciones de las leyes colombianas vigentes, implementándose previamente un plan de contingencia que permita la disposición técnica adecuada de las basuras que no puedan ser llevadas al botadero.

La propuesta metodológica divide el proceso de cierre en 2 fases: la fase de reconocimiento que involucra la recopilación y análisis de la información con el objeto de diagnosticar la situación actual del sitio de disposición final de residuos sólidos y la fase de desarrollo que plantea la infraestructura necesaria para llevar a cabo el proceso de clausura y posclausura.

#### **4.1 FASE DE RECONOCIMIENTO**

En esta fase se recopila la información inherente al sitio de disposición final de basuras, para lo cual se requiere la colaboración de todos los entes relacionados directamente con el manejo de los residuos sólidos. Se deben programar visitas de reconocimiento, levantamiento topográfico, sondeos geotécnicos, estudios de parámetros fisicoquímicos del suelo, valoración de la infraestructura actual, volumen de basura depositada, estudios de composición química de lixiviados, estado de descomposición de las basuras, identificación de los animales atraídos por el botadero, etc. Una vez recopilada y analizada la información se procede a hacer el diagnóstico del sitio determinando el estado actual de la zona afectada.

**4.1.1 Recopilación de información.** Durante el desarrollo de esta etapa se debe obtener toda la información posible que sirva para valorar el sitio donde

se han depositado finalmente los residuos sólidos. Es indispensable conocer todos los parámetros y variables relacionados con la geología, geotecnia, hidrogeología, hidrología, meteorología, topografía, morfología, usos y tipos de suelo, etc., que faciliten la formulación de los mecanismos requeridos para corregir y evitar la contaminación del medio ambiente. (Ver Cuadro 4)

**4.1.2 Visita de reconocimiento.** La visita de reconocimiento ofrece una visión real de la zona afectada, permite obtener una cantidad importante de información, ofrece al diseñador argumentos para plantear y adecuar las obras de infraestructura necesarias en el proceso de cierre. Se sugiere portar en la visita cámara fotográfica o de video y llenar el siguiente formato con el fin de captar la máxima información posible. (Ver Cuadro 5)

**4.1.3 Análisis de la información.** Los problemas ambientales ocasionados por el manejo inadecuado de residuos sólidos varían de un sitio a otro según las condiciones geológicas, climáticas, topográficas, antrópicas, etc., propias de cada zona, por ejemplo, la pluviosidad puede generar una mayor producción de lixiviados, crear ambiente propicio para el desarrollo de vectores, etc.

El análisis de la información obtenida suministra una idea general de la situación de la zona afectada. Para lograr mejores resultados se debe desarrollar los siguientes pasos:

**Cuadro 4. Recopilación de la información.**

TIPO DE INFORMACIÓN	EXISTENCIA		OBSERVACIONES	ANEXOS
	SI	NO		
1 MAPAS Y PLANOS TOPOGRAFICOS				
1,1 Mapas anteriores				
1,2 Planos topográficos anteriores				
2 MAPAS GEOLOGICOS				
2,1 Descripción geológica				
2,2 Perfil del suelo				
2,3 Características físicas del suelo				
2,4 Características químicas del suelo				
2,5 Profundidad al lecho de roca				
2,6 Caracterización del suelo				
2,7 Fallas geológicas				
3 MAPAS HIDRGEOLÓGICOS				
3,1 Profundidad del nivel freático				
3,2 Localización de zonas de recarga				
3,4 Zonas propensas a contaminación				
3,5 Áreas de protección ambiental				
3,6 Comportamiento de aguas subterráneas				
3,7 Calidad de las aguas subterráneas				
4 HIDROLOGÍA				
4,1 Corrientes superficiales de agua				
5 MAPAS DE TIPOS DE SUELOS				
5,1 Tipos de suelo				
6 MAPAS DE USO DEL SUELO				
6,1 Usos del suelo				
7 DATOS DE INFRAESTRUCTURA DEL SITIO				
7,1 Vías de acceso				
7,2 Disponibilidad de energía eléctrica				
7,3 Disponibilidad de agua potable				

TIPO DE INFORMACIÓN	EXISTENCIA		OBSERVACIONES	ANEXOS
	SI	NO		
7,4 Disponibilidad de maquinaria				
7,5 Disponibilidad de mano de obra				
7,6 Disponibilidad de materiales				
8 DATOS SOCIOECONÓMICOS				
8,1 Valor de la tierra				
8,2 Uso y ocupación de los terrenos				
8,3 Distancia a centros urbanos				
8,4 Distancia a fuentes superficiales de agua				
8,5 Años de uso del botadero				
9 FOTOGRAFIAS				
9,1 Áreas				
9,2 Terrestres				
10 ESTUDIOS EXISTENTES DE IMPACTO				
10,1 Al suelo				
10,2 Al agua				
10,3 Al aire				
10,4 Al hombre				
11 VARIABLES HIDROCLIMATICAS				
11,1 Precipitación máxima				
11,2 Precipitación mínima				
11,3 Precipitación media anual				
11,4 Temperatura Máxima				
11,5 Temperatura mínima				
11,6 Evapotranspiración				
11,7 Altura sobre el nivel del mar				
11,8 Humedad Relativa Multianual				
11,10 Brillo Solar				
12 VOLUMENES APROXIMADOS DE MATERIAL DEPOSITADO				
12,1 Volúmenes				
13 ESPESORES APROXIMADOS DE MATERIAL DEPOSITADO				

TIPO DE INFORMACIÓN	EXISTENCIA		OBSERVACIONES	ANEXOS
	SI	NO		
13,1 Espesores				
14 CARACTERIZACION DEL MATERIAL DEPOSITADO				
14,1 Caracterización del material				

**Cuadro 5. Descripción general de las condiciones del sitio de disposición de residuos sólidos**

ELEMENTO	EXISTENCIA		ESTADO				OBSERVACIONES GENERALES
	Si	No	Exce lente	Bueno	Regular	Malo	
<b>Vallas</b>							
<b>Caseta de vigilancia</b>							
<b>Caseta de Control técnico</b>							
<b>Cerramiento</b>							
<b>Entrada Principal</b>							
<b>Manejo de celdas diarias</b>							
<b>Sistemas de desvío y control de aguas lluvias</b>							
Canales perimetrales							
Zanjas de Corona							
Otros							
<b>Sistemas de Mitigación, captación de gases</b>							
Chimeneas o tuberías de Ventilación							
Zanjas de Ventilación							
Otros							
<b>Sistemas de Control y tratamiento de gases</b>							
Barreras Impermeables							
Quema							
Procesamiento del biogás y generación de energía							
Otros							
<b>Sistemas de captación de lixiviados</b>							
Canales colectores							
Filtros colectores							
Tanque de almacenamiento							
Pozos de monitoreo							
Estructuras de medición de caudales							
Otros							

ELEMENTO	EXISTENCIA		ESTADO				OBSERVACIONES GENERALES
	Si	No	Excele nte	Bueno	Regular	Malo	
<b>Sistemas de tratamiento de lixiviados</b>							
Procesos naturales							
Procesos biológicos							
Procesos fisicoquímicos							
Otros							
<b>Sistemas de mitigación para la producción de lixiviados</b>							
Cubierta							
Barreras Impermeables							
Zanjas de interceptación							
Bombeo de aguas subterráneas							
Otros							
<b>Sistemas para impedir migración de lixiviados</b>							
Barreras Impermeables							
Drenajes Subsuperficiales							
Zanjas							
Bombeo de aguas subterráneas							
Otros							
<b>Sistemas de Control de erosión</b>							
Disipadores de energía							
Diques y acequias de intercepción							
Cerramiento con cerco vivo							
Drenaje de las pendientes							
Terrazas							
Otros							
<b>Condiciones sanitarias del sitio</b>							
Material disperso en la zona del botadero (icopor, papel, etc.)							
Recuperadores en la zona del botadero							
Cobertura							

ELEMENTO	EXISTENCIA		ESTADO				OBSERVACIONES GENERALES
	Si	No	Exce nte	Bueno	Regular	Malo	
Encharcamiento de aguas lluvias							
Empozamiento de lixiviados							
Emisión de malos olores							
Roedores							
Insectos							
Aves de carroña							
Vacunos							
Porcinos							
Gatos							
Perros							
<b>Bodega para material de reciclaje</b>							
<b>Disposición de Herramientas y maquinaria</b>							
<b>Disponibilidad de material de cobertura</b>							
<b>Condiciones del paisaje y la estética</b>							

➤ **Estudios de los mapas topográficos, geológicos, hidrogeológicos, agrícolas y de tipo y uso del suelo:**

- Planos topográficos: La mayoría de los planos topográficos presentan información de las condiciones generales del terreno, pendientes, accidentes, sistemas de drenaje y geomorfología.
- Mapas geológicos: Los mapas geológicos hacen referencia y representan los parámetros relacionados con el medio físico tales como permeabilidad, capacidad de carga y deformabilidad del suelo de fundación, susceptibilidad del suelo a procesos dinámicos superficiales tales como erosión, fenómenos de remoción en masa, etc.
- Mapas hidrogeológicos: Brindan información sobre hidrogeología, comportamiento de las aguas subterráneas, profundidad del nivel freático, calidad de las aguas subterráneas, localización de las zonas de recarga, principales manantiales y cuerpos de agua de interés para el abastecimiento de la población, riesgos de contaminación, áreas de protección etc.
- Mapas de tipo y uso de suelos: Presenta las características de la distribución de los suelos en la zona estudiada, sus aspectos más relevantes son: Caracterización de los tipos de suelo, identificación de materiales apropiados para préstamo.

**Datos de infraestructura del sitio.** Comprende toda la información sobre la localización, condiciones de acceso, disponibilidad de energía eléctrica, agua potable, maquinaria, mano de obra, materiales, etc., en el sitio o cerca de él.

**Factores socioeconómicos.** Es el conjunto de información de carácter social y económico que son condicionantes en las decisiones técnico-

políticas al momento de llevar a cabo las operaciones de clausura, algunos aspectos de interés a tener en cuenta son: El valor de la tierra, uso y ocupación de terrenos, distancia a centros urbanos, distancia a fuentes superficiales de agua, años de uso del botadero, entre otros.

**Fotografías aéreas.** Se puede obtener información topográfica, geomorfológica, geológica, hidrológica, historia del sitio, entre otros factores, además permite la clasificación del terreno en áreas homogéneas basadas en la pendiente, material geológico, erosión e inestabilidad.

El análisis de fotografías tomadas cinco, diez cincuenta años antes puede ofrecer información importante para el diagnóstico de los problemas actuales al compararlas con fotografías recientes, especialmente en lo relacionado con el deterioro paisajístico y estético del sitio. La escala juega un papel fundamental en la obtención de resultados. (Ver Cuadro 4)

- Lineamientos para el análisis de las fotografías aéreas:
  - Expresión topográfica: Analizar la topografía para obtener las diferentes formas del terreno y una idea de la naturaleza y estabilidad de los materiales que conforman una determinada región.
  - Sistemas de drenaje y erosión: Con la densidad y el sistema de los canales naturales de drenaje puede inferirse el tipo de suelo y la roca que conforma la superficie del terreno y con la forma de la sección de los canales se puede deducir el tipo de material.
  - Tonalidad del suelo: Los tonos grises son indicativo de humedad, en las fotografías aéreas se pueden determinar las zonas de concentración, de infiltración o de afloramiento de agua.

**Cuadro 6. Escalas de fotografías áreas para diferentes niveles de estudio**

<b>Escala</b>	<b>Utilización o uso</b>
1:40000 a 1:25000	Utilizadas para conocer la geología general regional del terreno y cambios topográficos globales
1:25000 a 1:10000	Utilizadas para entender los cambios topográficos y los efectos locales
Mejor a 1:10000	Se pueden determinar la topografía del botadero

**Variables hidroclimáticas.** Presentan información respecto al régimen de lluvias, temperatura y dirección y velocidad de los vientos. Debe determinarse la precipitación mensual media, la precipitación media diaria, correspondiente al mes más lluvioso registrado en todo el periodo de observación y la intensidad de lluvia máxima horaria media, a partir de registros que abarquen un periodo de 25 años como mínimo, es necesario determinar la dirección media de los vientos reinantes, la dirección media de los vientos dominantes y su posible variación en las diferentes épocas del año, obtener y analizar la temperatura media mensual; con estos resultados se facilita la formulación de los diferentes mecanismos de control que se deben diseñar para cada región en particular.

**Análisis de documentos y estudios anteriores.** Permite la contextualización del sitio dando una idea de la historia y la evolución de la zona, por ejemplo, los informes de estudios realizados a lixiviados, gases, etc., ayudan al diseñador a elegir los sistemas de tratamiento más adecuados y eficientes.

**Antecedentes del vertedero.** Con esta información se puede obtener una concepción general del estado del sitio, conocer las razones por las cuales funciona de determinada manera.

**4.1.4 Levantamiento topográfico y análisis de la topografía.** El levantamiento topográfico del área afectada tiene como función: Definir los perfiles topográficos para los análisis de estabilidad, pendientes del terreno, volumen de residuos sólidos depositados, distancia a fuentes hídricas superficiales, tamaño del sitio, cambios del relieve, etc. Es importante identificar los cambios que ha sufrido la topografía a través del tiempo, para lo cual se debe comparar los planos topográficos recientes con los antiguos o con las fotografías aéreas anteriores. Se recomienda levantar hasta un aislamiento no menor a 30 metros del perímetro de las basuras.

Las escalas utilizadas para presentar planos topográficos de Rellenos Sanitarios o botaderos de basuras están relacionadas con el tamaño del sitio, algunas de ellas son: 1:250, 1:500 o 1:1000

**4.1.5 Antecedentes del sitio.** Está relacionado con toda la información que se pueda recolectar sobre el sitio de disposición final de residuos sólidos.

**4.1.6 Estudio de las condiciones sanitarias del sitio.** Esta relacionado con la situación actual del sitio de disposición de residuos sólidos, presencia de recuperadores, roedores, insectos, aves carroñeras, vacunos, porcinos, perros y gatos, manejo y tratamiento de lixiviados y gases, sistemas de desvío y control de aguas lluvias, empozamientos de agua en la zona del botadero y todas las demás variables inherentes a esta clase de sitios. Se requiere la caracterización de los residuos sólidos predominantes teniendo en cuenta su origen físico, químico, biológico y contenido de humedad.

**4.1.7 Diagnóstico del sitio.** Esta es la etapa fundamental de la Fase de Reconocimiento, su fin es emitir un concepto sobre el estado actual del sitio, teniendo como base aspectos técnicos, sanitarios, ambientales, etc., es importante evaluar si el lugar es un relleno sanitario o un botadero de basura a cielo abierto, ya que de esta apreciación depende las medidas que se tomen con el fin de diseñar las obras de clausura necesarias para el saneamiento final. Es importante que el personal encargado del proceso de cierre tenga claridad en la diferenciación de cada una de estas formas de disposición final de los residuos.

**Rellenos sanitarios.** Es Una técnica para la disposición de la basura en el suelo, sin ocasionar perjuicio al medio ambiente, a la salud y seguridad pública; utiliza principios de ingeniería, para confinar las basuras en la menor área posible, reduciendo su volumen hasta la mínima cantidad, para luego cubrirlas diariamente con una capa de tierra al final de la jornada o tan frecuentemente como sea necesario.

**Botaderos de Basuras.** Un botadero de basura es una forma de disposición final inadecuada de desechos, generalmente se hace en depresiones naturales del terreno, se caracteriza por ser únicamente la descarga de los residuos sin medidas de protección del medio ambiente y de la salud pública.

Normalmente los rellenos sanitarios poseen en su diseño las obras necesarias para el proceso de clausura y posclausura. En los botaderos de basuras a cielo abierto se deben adelantar labores de saneamiento lo que conlleva al diseño de todas las obras de infraestructura necesarias para el adecuado funcionamiento o en su defecto al sellamiento del sitio de acuerdo a las reglamentaciones vigentes.

## 4.2 FASE DE DESARROLLO

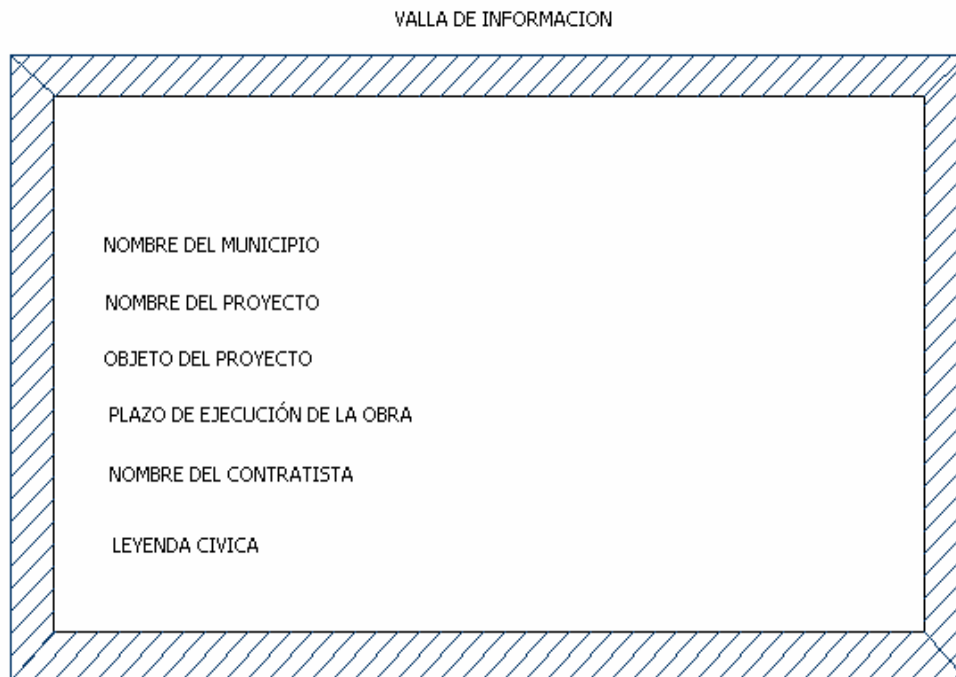
Una vez realizado el diagnóstico del sitio se procede al diseño y ejecución de las obras de infraestructura necesarias para el cierre, así como todas aquellas actividades propias del proceso; para rellenos sanitarios se recomienda que las actividades de clausura se inicien a los 30 días de recibida la última basura en cada unidad operacional o frente de trabajo y deben durar un máximo de 180 días. Para botaderos de basura deben iniciarse una vez acordada la fecha de cierre. Para el desarrollo de esta fase se sugiere llevar a cabo las siguientes etapas:

### 4.2.1 Diseño de obras de clausura

**Vallas informativas.** Antes de iniciar las labores de cierre del sitio, es necesario advertir a la comunidad que el botadero o relleno sanitario será clausurado, la fecha de inicio de labores de saneamiento, uso futuro de la zona, lugar donde está ubicado el nuevo sitio de disposición final de residuos sólidos, etc., para lo cual se pueden emplear señales de prevención, información y restricción.

Los señalamientos del tipo preventivo deben localizarse en sitios próximos a la caseta de vigilancia, los del tipo informativo ubicarse en el casco urbano y costados de vías principales y las restrictivas que indican la velocidad permitida, el sentido de circulación, etc., sobre las vías de acceso y en el área de control. La valla de la obra debe contar como mínimo con la siguiente información: Nombre del municipio, nombre del proyecto, objeto del proyecto, plazo de ejecución, nombre del contratista, multas y sanciones, leyendas cívicas, etc. (Ver Figura6)

**Figura 6. Valla de Información**



**Vías de acceso.** En un Relleno Sanitario existen 3 tipos de vías, principales, secundarios y temporales. Durante el proceso de cierre es fundamental mantener en buen estado las vías principales debido a que tienen como función permitir el ingreso rápido, fácil y seguro de los operarios, herramientas y maquinarias requeridas para las labores de saneamiento del botadero. Las características de estas vías son similares a las de una carretera de tráfico vehicular.

Deben mantenerse en óptimo funcionamiento, sus pendientes longitudinales máximas permitidas son del 10% en tramos cortos menores a 150m, los radios de las curvas deben ser superiores a 50m, deben permitir el tránsito en los dos carriles para lo cual se recomienda un ancho mínimo de banca de 7m<sup>15</sup>, no permite la existencia de tramos sobre basura.

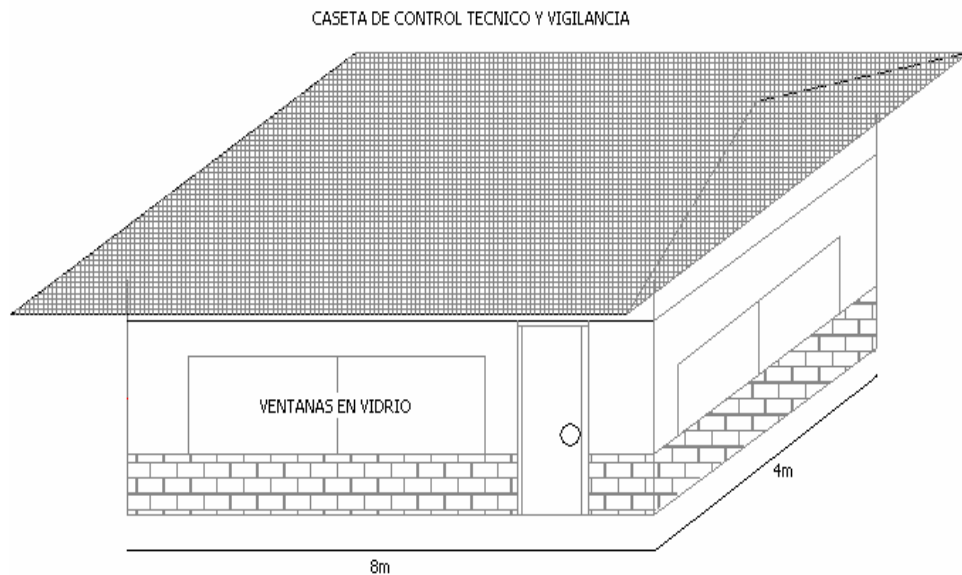
---

<sup>15</sup> Diseño de Rellenos Sanitarios, Héctor Collazos Peñaloza

**Caseta de Control Técnico y vigilancia.** La caseta de control técnico y vigilancia debe estar dispuesta de tal forma que permita a los profesionales hacer un seguimiento de las obras de saneamiento del lugar, al vigilante tener una visual completa y clara de la vía de acceso, alojar el personal que mantiene en buen funcionamiento las herramientas y dotación de implementos de protección de los trabajadores.

El personal de vigilancia tiene como función principal impedir el ingreso de residuos sólidos al botadero en clausura, controlar la entrada y salida de vehículos y personal ajenos al lugar, vigilar la salida de equipos y materiales propios del desarrollo de las actividades de cierre. Para el diseño se debe tomar en cuenta las condiciones económicas, meteorológicas de la zona, el paisaje, etc., se recomienda un área mínima de  $20\text{m}^2$ , debe estar dotada con los servicios sanitarios, hidráulicos y eléctricos básicos, además debe proveerse de una bodega para guardar las herramientas menores. Para su construcción se recomienda el empleo de materiales no inflamables ni corrosivos. (Ver Figura 7)

**Figura 7. Caseta de Control Técnico y Vigilancia**

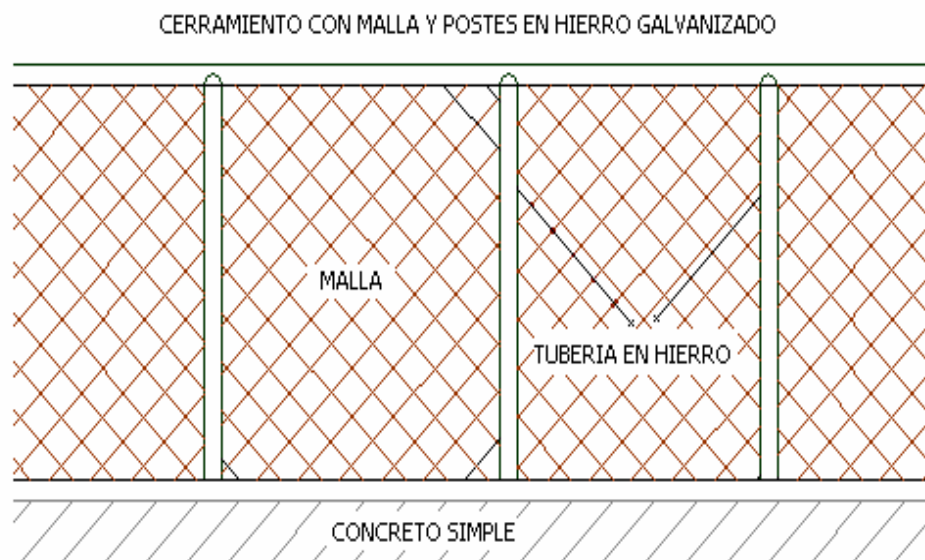


**Cerramiento del sitio.** El cerramiento del sitio es fundamental para el inicio de las obras de clausura, se establecen los límites de la propiedad, impide la entrada de animales, controla la entrada y salida de personal. Entre los principales tipos de cerramiento se tiene: Cerramiento con alambre de púas, con malla metálica o plástica, con cerca eléctrica, con muros de mampostería, entre otros.

La escogencia de un tipo de cerramiento varía entre otros factores con el presupuesto, presencia de animales y flujo de peatones, etc., ejemplo, en un sitio donde no existe presencia de animales y de personas puede ser suficiente un cerco con alambre de púas.

Para mayor eficiencia estos tipos de cercos pueden ser combinados con cerramientos vivos lo que conlleva a la recuperación edáfica y paisajística del lugar. El diseñador debe escoger la mejor opción que se adapte a las condiciones económicas del proyecto. (Ver Figura 8 y Fotografía 4)

**Figura 8. Cerramiento con malla y postes en hierro galvanizado**

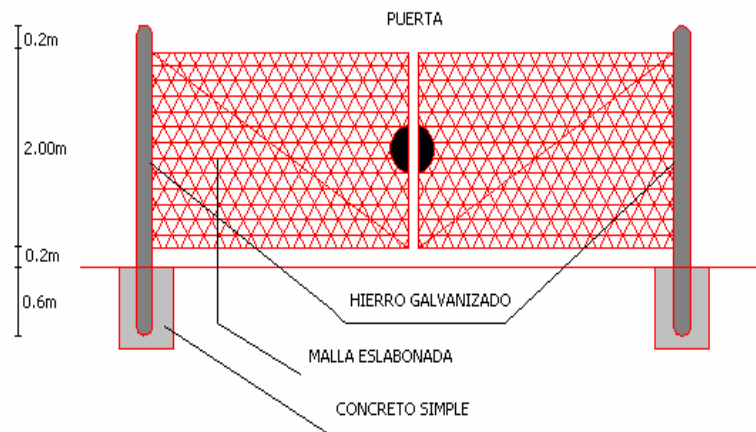


**Fotografía 4. Cerramiento con madera.**



**Entrada Principal.** La puerta es un símbolo que indica al personal que pasando este lugar se debe cumplir normas y requisitos en pro de mantener la seguridad y salubridad pública. Su construcción física debe ser acorde con las necesidades y situación económica del proyecto. (Ver Figura 9)

**Figura 9. Puerta en hierro galvanizado y malla.**



**Uso final del sitio.** El diseñador debe definir una vez saneado el sitio el uso que se le va a dar al lugar, de acuerdo a los esquemas de ordenamiento territorial propios de cada municipio y a los análisis de estabilidad de la zona teniendo en cuenta el tipo de suelo, geología, hidrogeología, etc. Entre los posibles usos se tiene: Reserva forestal, parque recreacional, parque natural, etc. (Ver fotografía 5)

**Fotografía 5. Parque Natural Curitiba Brasil<sup>16</sup>**



**Sistemas de desvío y control de aguas lluvias.** Los canales para el control de aguas de escorrentía son estructuras que no tienen características especiales, son construidas para desviar las aguas lluvias y evitar que pasen por las basuras, se infiltren y aumenten la producción de lixiviados.

Para su diseño se requiere de parámetros hidrogeológicos y variables climáticas como la intensidad de las lluvias, (normalmente con el aguacero de 20 años), el área aferente y las constantes correspondientes al tipo de

---

<sup>16</sup> <http://members.fortunecity.es/emacos2001/index2.htm>

suelo<sup>17</sup>, de los cuales depende la eficiencia de los sistemas de control y desviación de la escorrentía.

Se recomienda tener en cuenta la topografía de la zona, en regiones con pendientes suaves o planas se usan canales abiertos para el desvío de la escorrentía proveniente de las áreas aledañas, en terrenos con pendientes fuertes se deberá diseñar muros de contención, la velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0.6m/seg ni mayor de 2.0m/seg. Para dimensionar los canales se puede emplear la ecuación de Manning.

Para mantener en óptimo funcionamiento las estructuras se requiere de supervisión técnica constante para evitar taponamientos, desgastes, etc. A continuación se hace referencia a los sistemas más usados en el medio.

- Drenajes perimetrales: Deben ubicarse gradiente arriba del botadero de basura o relleno sanitario para evitar que el agua de escorrentía entre en el sistema, y gradiente abajo para recoger el agua de escorrentía de las partes bajas del complejo. (Ver Fotografía 6)
- Zanjas de corona: Son estructuras de intercepción o de desviación, empleadas para conducir adecuadamente la escorrentía, evitando así su paso por el talud y el posterior deterioro del mismo. Se deben construir en la parte superior del talud con un aislamiento mínimo de 3m<sup>18</sup> del borde de la corona con el fin de evitar que se convierta en una posible superficie de falla.

---

<sup>17</sup> Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios, Héctor Collazos Peñaloza

<sup>18</sup> Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz

## Fotografía 6. Excavación para canales perimetrales



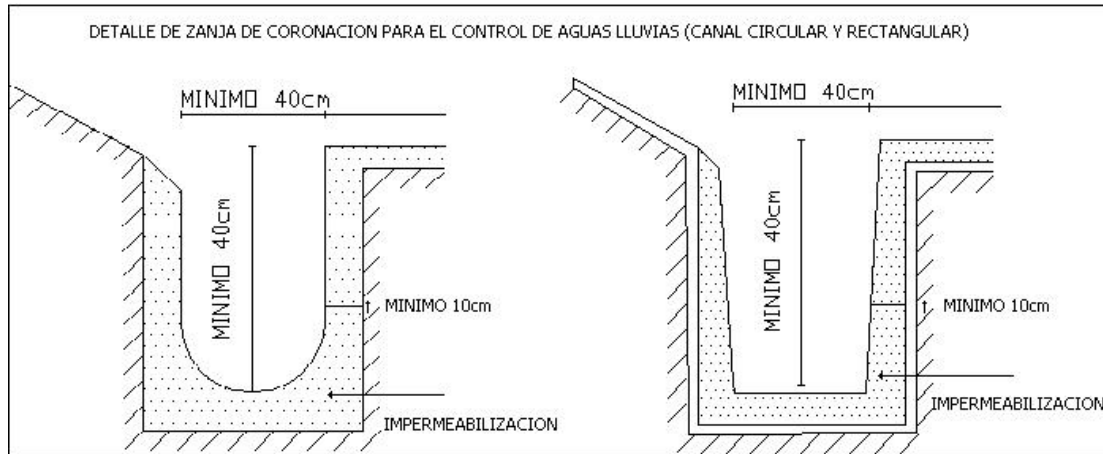
Para su buen funcionamiento, se recomienda que sean totalmente impermeabilizadas, diseñadas con suficiente pendiente para garantizar la rápida evacuación del agua captada, al igual que constantes labores de mantenimiento.

Para dimensionar y ubicar las zanjas se debe tener en cuenta la topografía y los caudales colectados, generalmente se recomienda que las zanjas rectangulares tengan una dimensión mínima de 0.4m de ancho por 0.5m de profundidad. (Ver Figura10)

En la mayoría de los botaderos de basura a cielo abierto la disposición de residuos ha generado taludes artificiales, el agua de lluvias que cae directamente sobre la superficie del talud, debe ser evacuada lo más rápidamente posible, evitando la infiltración la cual contribuye al aumento en la producción de lixiviado y la contaminación de aguas subterráneas y de

percolación, se recomienda los siguientes procedimientos para mitigar estos efectos: Alcantarillas superficiales y empedradización.

**Figura10. Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas lluvias (canal semicircular y rectangular)**



**Generación de gases.** Biogás es una mezcla de gases que se produce por la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos por efecto de dos procesos, el aerobio y el anaerobio. El proceso anaerobio es el de más importancia, ya que el aerobio requiere del consumo de oxígeno por parte de las bacterias degradantes, y el suministro de este elemento está limitado a la porción de aire atrapado en los intersticios de los desechos, por lo que la duración de la fase aerobia y su generación típica de agua y bióxido de carbono son más bien breves.

En cambio, una vez consumido el oxígeno disponible, las bacterias anaerobias pueden activar su metabolismo y permanecer activas mientras exista un sustrato del cual puedan extraer la energía necesaria para sus procesos vitales. Las sustancias que libera este proceso son básicamente metano y bióxido de carbono, y se estima que cerca de un 93% de los

residuos que se estabilizan lo hacen por esta vía. Las tasas de producción y duración de la misma para cada componente del biogás varían con el tiempo y las condiciones particulares de cada sitio.

- Fases en el proceso de degradación de los residuos:

- Fase aeróbica: La fase inicial de la descomposición microbiana de los residuos toma lugar en una atmósfera rica en oxígeno, por lo que solamente existe la actividad de microorganismos aeróbicos y facultativos. Bajo éstas condiciones, los residuos sólidos son oxidados a bióxido de carbono, amoníaco y agua, con liberación de energía (calor). La generación de calor se da por la elevación de la temperatura en el interior del sitio de disposición final.

El oxígeno es consumido durante el proceso de descomposición aeróbica, sin embargo dependiendo de las condiciones de la cobertura final, se tiene entrada de más aire ( $O_2$ ) hacia los estratos superiores de residuos sólidos en el interior del sitio de disposición final, el proceso de digestión aeróbica cesará eventualmente y la digestión anaeróbica iniciará. La transición de esta fase a la fase de digestión anaeróbica metanogénica inestable, en un sitio clausurado es gradual, y puede tomar desde unos cuantos meses a un año, dependiendo de las condiciones ambientales y físicas del sitio, sin embargo es relativamente rápida comparada con las diferentes fases anaeróbicas que se presentan posteriormente.

- Fase anaeróbica no metanogénica: Prevalecen condiciones anaeróbicas y el oxígeno no ha sido consumido en su totalidad, se produce bióxido de carbono e hidrógeno únicamente. La digestión anaeróbica es llevada a cabo

por muchas clases de bacterias. Asimismo, la materia orgánica insoluble con altos pesos moleculares, es convertida en materiales muy simples y solubles en agua.

- Fase anaeróbica metanogénica inestable: Se caracteriza por la presencia de metano y la disminución del bióxido de carbono, así como el consumo del hidrógeno. Esta fase toma lugar simultáneamente con la segunda fase, la producción de metano comienza después de que todo el oxígeno ha sido removido. Las bacterias que forman metano son necesariamente anaeróbicas. El oxígeno en cualquier cantidad inhibe su actividad, sin embargo, dichas bacterias forman esporas y cuando se restablecen las condiciones anaeróbicas iniciales, recuperan nuevamente su actividad.

En ausencia del oxígeno, las bacterias metanogénicas los ácidos orgánicos en bióxido de carbono y metano. También se presentan pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico y nitrógeno. Las bacterias metanogénicas también generan metano a partir de bióxido e hidrógeno, cuando ambos están presentes.

- Fase anaeróbica metanogénica estable: Las concentraciones de gas metano se estabilizan. También están presentes trazas de otros gases (por ejemplo ácido sulfhídrico, mercaptanos y algunos compuestos orgánicos volátiles etc.), los cuales son las principales fuentes de olor en los sitios de disposición final.

• **Estimación del Potencial de Generación.** Se han desarrollado modelos sofisticados basados en conceptos teóricos y pruebas de laboratorio que posiblemente pueden predecir la duración de la producción del biogás en un

sitio de disposición final; pero esto dependerá de la representatividad de la información utilizada con respecto a las condiciones reales.

Características del Biogás: Los principales componentes del biogás generado en los residuos sólidos son el metano y el bióxido de carbono, además en bajas concentraciones se tiene nitrógeno y ácido sulfhídrico; sin embargo existen otros componentes a nivel traza que son importantes por sus posibles efectos sobre la salud humana. (Ver Cuadro 5). Las características más importantes del biogás son:

- Arde con flama limpia y suave de color ligeramente azulosa o violáceo.

- Poder calorífico típico:  $3.560 - 4.900 \frac{Kcal}{m^3}$

- Explosividad en el aire:  $5 - 15\%(Vol)$

- Flamabilidad en el aire:  $> 15\%(Vol)$

- Eficiencia térmica en el quemador estándar:  $60\%$

- Densidad en condiciones estándar ( $0^{\circ}C, 1Atm$ ):  $1.02 - 1.3 \frac{g}{L}$  Dependiendo del contenido de  $CO_2$

- Temperatura normal:  $38 - 49^{\circ}C$

**Cuadro 7. Composición Típica del Biogás en un Relleno Sanitario<sup>19</sup>**

COMPONENTE	PORCENTAJE EN VOLUMEN ( base seca)
Metano.	45-60
Bióxido de carbono.	40-60
Nitrógeno.	2-5
Oxígeno.	0.1-1.0
Hidrocarburos parafínicos.	0.1
Hidrocarburos aromáticos y cíclicos.	0.2
Hidrógeno.	0-0.2
Ácido sulfhídrico.	0.01
Monóxido de carbono.	0-0.2
Compuestos trazas.	0.01-0.6
Contenido de humedad.	Saturado.

La densidad del biogás es un factor que incide en su peligrosidad. Con un 35% de contenido de  $CO_2$  su densidad es de 1.09 g/L (menor al valor normal del aire, de 1.293 g/L (ver Cuadro6), por lo que puede diluirse en él fácilmente.

Finalmente, cabe resaltar que la composición de los residuos sólidos es probablemente el factor de mayor importancia en la producción de biogás. La cantidad total de biogás que puede ser generada de una unidad de masa de residuo, depende de la cantidad y tipo de materia orgánica presente en el mismo, por lo antes expuesto se tiene la siguiente clasificación de degradabilidad de los residuos sólidos:

- Lentamente degradables: Hueso, hule, plástico rígido y de película, poliuretano, poliestireno expandido, fibra sintética.

---

<sup>19</sup> Manejo Integral de Residuos Sólidos, Tchobanoglous

- Moderadamente degradables: Algodón, cartón, cuero, residuos finos, envases de cartón encerado, fibra dura vegetal, madera, papel, trapo y pañal desechable.

- Rápidamente degradables: Residuos de jardinería y alimenticios.

**Cuadro 8. Densidad de Componentes del Biogás en Condiciones Estándar (0°C,1 atm).<sup>20</sup>**

COMPONENTE	FORMULA	DENSIDAD (g/L)
Aire.	—	1.2928
Bióxido de Carbono.	CO <sub>2</sub>	1.9768
Monóxido de Carbono.	CO	1.2501
Hidrógeno.	H <sub>2</sub>	0.0898
Ácido Sulhídrico.	H <sub>2</sub> S	1.5392
Metano.	CH <sub>4</sub>	0.7167

- Volumen de Biogás. Es posible determinar el volumen potencial de biogás a generarse por peso de unidad de residuos sólidos, usando para ello la estequiometría correspondiente a una digestión anaeróbica. Sin embargo, los resultados que se obtienen con esta técnica no son del todo precisos dado que se consideran productos finales, así como componentes en los mismos residuos tales como lignina, celulosa y grasa que no se biodegradan completamente.

En años recientes se han medido en numerosos rellenos sanitarios, el volumen de biogás generado por la degradación de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, sin embargo los valores obtenidos han

---

<sup>20</sup> Manejo Integral de Residuos Sólidos, Tchobanoglous

presentado un amplio rango de valores, debido a las múltiples condiciones en las que se encuentra el sistema durante las mediciones.

Los factores que afectan la producción de biogás son: tipo de residuos sólidos depositados (composición de los residuos), el tiempo desde que ocurrió la disposición, el grado de aislamiento de los residuos con respecto al aire atmosférico (calidad de la cobertura diaria y final), la disponibilidad de humedad, la temperatura, el pH y alcalinidad y la cantidad y calidad de nutrientes principalmente nitrógeno, fósforo y potasio contenidos en los residuos sólidos, y finalmente la presencia de algunos inhibidores dentro del relleno.

Es conocido que la tasa de producción varía con el tiempo por lo que el método estequiométrico requiere de la ayuda de la cinética de reacción, no obstante que la producción de éste continúa por varias décadas haciéndose difícil la predicción del mismo.

En un intento para predecir la generación de biogás, varios modelos se han programado usando cinética de orden cero, es decir que la tasa de generación de metano es independiente de la cantidad de sustrato que permanece, el modelo sería según Ham y Barlaz:

$$-\frac{d_c}{d_t} = k$$

El modelo de cinética de primer orden establece que la tasa de pérdida de material putrescible es proporcional a la cantidad de materia putrescible que permanece, y su modelo sería:

$$-\frac{d_c}{d_t} = kC$$

Y finalmente el modelo de cinética de segundo orden puede escribirse como:

$$-\frac{d_c}{d_t} = kC_2$$

Sin embargo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (US EPA), recomienda un modelo muy simple de aplicar y que predice con suficiente aproximación a la realidad la cantidad de biogás generado en los rellenos sanitarios. La generación total de metano del sitio toma en cuenta la masa de residuos recibidos anualmente aceptando la misma tasa anual en el tiempo de operación del relleno, sin embargo si se conocen las entradas de residuos con el tiempo puede establecerse un promedio anual y con estos valores, variando anualmente los tiempos de clausura y operación, correr el modelo.

El modelo que recomienda la Agencia de Protección al Ambiente (US EPA) para la proyección de la generación de biogás es el que a continuación se presenta:

$$Q = L_o * R * [e^{*(-kC)} - (e^{*(-kt)})]$$

Donde:

$Q$  = Tasa o volumen de producción de metano en el tiempo,  $\frac{m^3}{año}$

$L_0$  = Capacidad potencial de residuos sólidos para generar metano, en  $\frac{m^3}{ton}$

$R$  = Tasa de aceptación promedio de residuos sólidos durante la vida activa del sitio de disposición final, en  $\frac{ton}{año}$

$k$  = Tasa de generación de metano, se supone constante, en  $año^{-1}$

$c$  = Tiempo desde la clausura del sitio de disposición final, en  $años$

$t$  = Tiempo desde el inicio de disposición de residuos sólidos en el sitio, en  $años$

En la formulación no se ha incluido ningún término de vida media o porcentaje de residuos rápida, moderadamente o lentamente degradables, pero es evidente que los valores de  $L_0$  y  $k$  los toman en cuenta.

El parámetro  $L_0$  puede ser estimado mediante el método estequiométrico y/o basándose en las recomendaciones realizadas por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA), y en las cuales además se ofrecen los posibles valores para el parámetro  $k$

Los parámetros recomendados por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA), son los que se indican en el Cuadro 7.

**Cuadro 9. Valores correspondientes a  $L_0$  y  $k$ <sup>21</sup>**

PARAMETRO	CLIMA SEMIARIDO	OTROS CLIMAS
$L_0$	140-180 m <sup>3</sup> /ton	140-180 m <sup>3</sup> /ton
$k$	0.02-0.10 año <sup>-1</sup>	0.10-0.35 año <sup>-1</sup>

<sup>21</sup> Parámetros Recomendados por la Agencia de Protección al Ambiental ( EPA)

A continuación se presenta el análisis de la composición de los residuos para la determinación del potencial de generación de metano  $L_0$

Aún no se ha establecido un criterio lo suficientemente claro y preciso para estimar la cantidad de biogás que de forma real se podrá captar en un sitio de disposición final, entendiéndose por este como un tiradero a cielo abierto o bien un relleno sanitario. Es claro intuir que en un tiradero a cielo abierto que se clausura es menor la cantidad de biogás que se podrá captar que en un relleno sanitario donde se ha promovido desde su inicio de operación la construcción de los pozos para venteo, además de que no ha sufrido ventilación incontrolada y constante de las emisiones producidas que de alguna forma promueven la reducción en el potencial de generación del biogás por efecto del agua de lluvia y aireación constante de los residuos por no contar durante su vida útil con una cobertura que promoviera las reacciones anaeróbicas, además influyen otras consideraciones como la cantidad y composición de los residuos sólidos, la calidad en el material de cobertura intermedia y final, la profundidad del pozo (masa de influencia), así como de su diámetro, y en el caso de extracción forzada del valor de la presión negativa aplicada en el equipo de succión.

Criterios recomendados por expertos en la materia, así como diseñadores y constructores de sistemas de captación de biogás para un fin determinado ofrecen valores de eficiencia en la captación del orden del 50 al 60 % del valor de producción estimada mediante el modelo recomendado por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA). Estas recomendaciones son para sitios en donde se ha realizado una adecuada operación en cuanto a la cobertura final, aunado a un buen mantenimiento de la misma para evitar emigraciones de biogás a través de fracturas y grietas. Cabe decir que el modelo de la EPA ofrece resultados con un factor de incertidumbre cuyo rango fluctúa en el orden de  $\pm 50\%$ .

Se estima que la cantidad de biogás extraído por unidad de superficie está en función precisamente de la producción de biogás de la masa de residuos que se encuentra por debajo de la proyección horizontal de una superficie unitaria. Los pozos para el venteo de biogás generalmente se construyen de manera vertical a medida que avanza la operación del relleno, procurando una buena compactación a su alrededor. Para el caso específico de la etapa en cuestión es importante resaltar que con base en las inspecciones y visitas de campo realizadas en el sitio en estudio, en ocasiones se observa la conveniencia de sustituir algunos de los pozos existentes por otros nuevos, debido a su asolvamiento parcial y total por material de cubierta así como a su pérdida de verticalidad por maniobras de operación, lo que obstruye el libre flujo del biogás, y afecta significativamente su eficiencia de captación y/o venteo según sea el caso. Estos pozos, deberán ser perforados con una profundidad de aproximadamente el 75% del espesor de los residuos confinados de la zona donde se localicen.

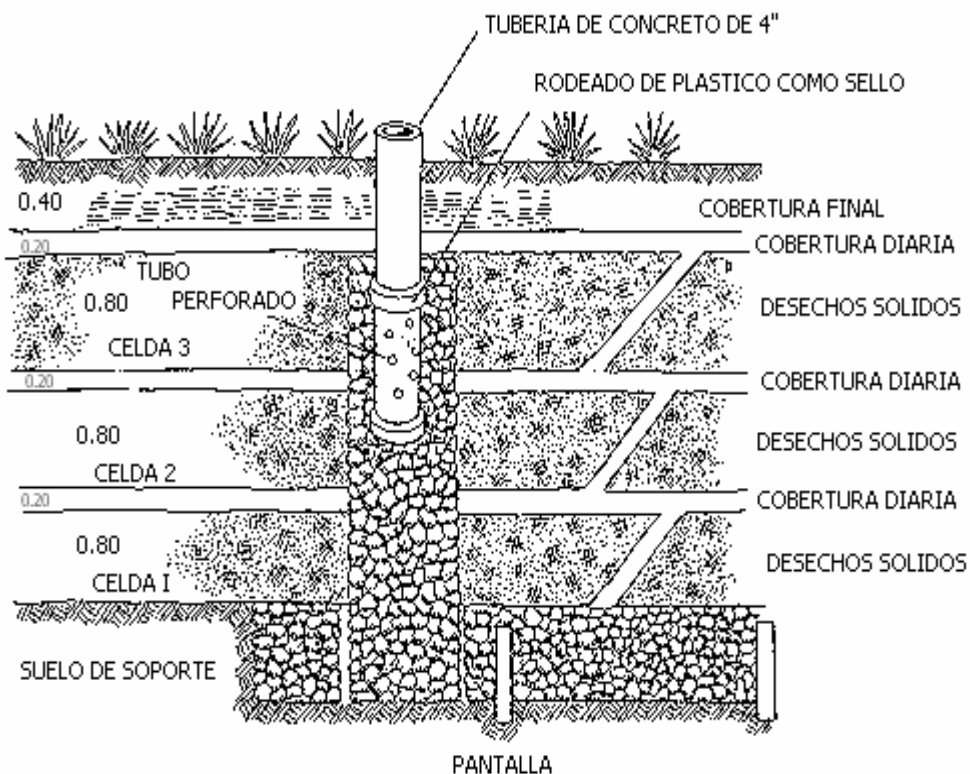
**Sistemas de mitigación, captación, tratamiento y control de gases.** Para controlar las emisiones y la migración del biogás se pueden utilizar varios tipos de sistemas (sistemas activos y pasivos), dependiendo de la cantidad que se genere. Dicho control puede consistir en: venteo a la atmósfera, combustión en pebeteros, incineración y recuperación como fuente alterna de energía. Para la adecuación e instalación de los mecanismos de tratamiento y captación de los gases en los vertederos es necesario la abertura de zanjas en la masa de basura con maquinaria y equipo adecuados como retroexcavadoras, retrocargadores, etc. Dentro de los sistemas más comunes se tienen:

- Sistema activos: Son pozos construidos a diferentes profundidades, equipados con un ducto y equipo mecánico, como sopladores y bombas de extracción. Estos sistemas incluyen: Pozos de extracción y/o trincheras (captación) y pozos de inyección de aire o trincheras (barreras).

La selección, el diseño y los costos de los sistemas son específicos para cada sitio y están determinados basándose en investigaciones de campo, requerimientos de desempeño y planes de desarrollo del sitio.

- Sistemas perimetrales de pozos de extracción de biogás (chimeneas o tuberías de ventilación): Estos sistemas pueden ser de extracción natural y consisten de una serie de pozos verticales instalados en el perímetro del sitio. Son usados para coleccionar los gases generados por la descomposición de los residuos proporcionándole una ruta para que salgan a la atmósfera o a la cabeza de la tubería de quema o recuperación, se usan tuberías perforadas verticales en zanjas rellenas con grava. (Ver Figura 11)

**Figura 11. Detalle constructivo de chimeneas de evacuación de gases<sup>22</sup>**

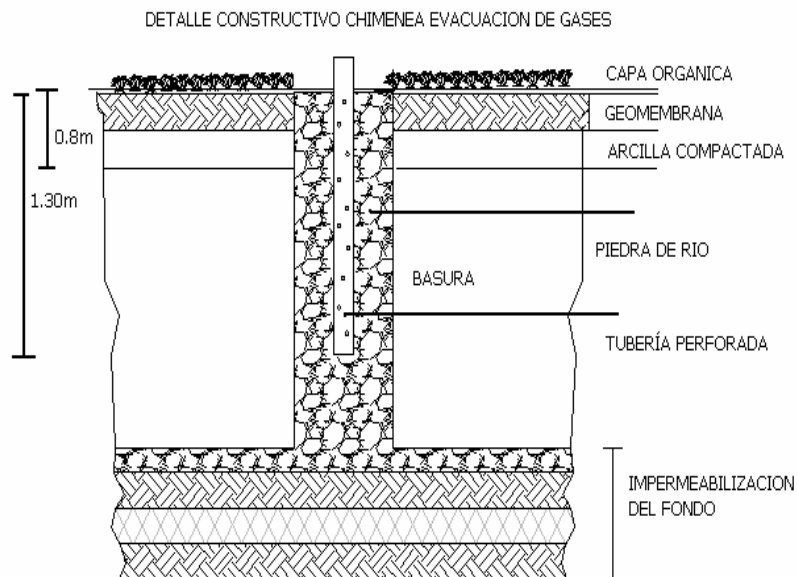


<sup>22</sup> <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/curso/pequena/pequena.html>

Se construyen sobre los vértices de una retícula de 40m x 40m, con una sección que puede ser cuadrada de 1.0 metro x 1.0 metro o circular de 1.0 metro de diámetro, normalmente los materiales empleados para su construcción son: Malla triple torsión calibre 12 (malla de gallinero), piedra de río con diámetro entre  $0.1\text{m} < \Phi < 0.2\text{m}$ , la altura esta determinada por la altura del material depositado. (Ver Figura 12)

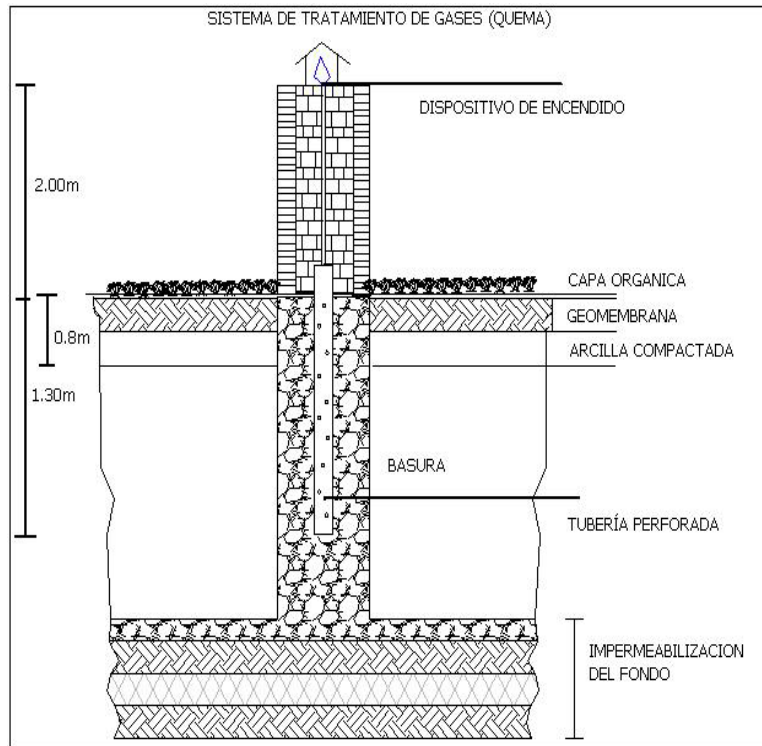
- Sistemas perimetrales de zanjas de extracción de biogás: Consiste en una línea de zanjas interceptoras equipadas con grava y tubos de PVC perforados o ranurados. Brindan una ruta de flujo para que el gas del botadero o relleno sanitario salga a la atmósfera o al sistema de colección de gases, se usan zanjas angostas rellenas con grava, se deben localizar en o alrededor del perímetro del vertedero, puede tratarse de una ventilación libre o parte de un sistema de recolección, la profundidad debe ser de 60cm por encima del nivel freático, de la capa de baja permeabilidad, o de la base del relleno sanitario o botadero, la que fuera más superficial.

**Figura 12. Detalle construcción chimenea de ventilación.**

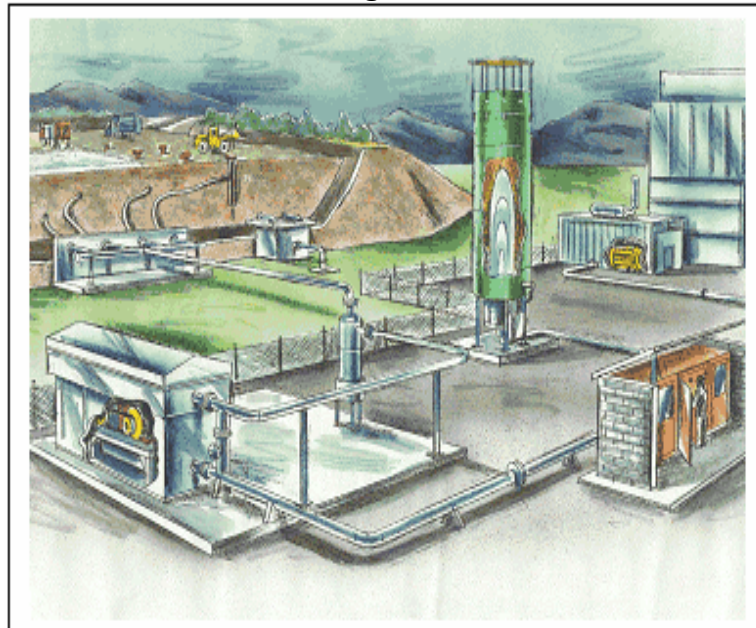


- Sistemas perimetrales de pozos de inyección de aire: Similar al de trinchera de extracción descrita anteriormente.
- Sistema Pasivos: Su construcción es semejante a la de los sistemas activos, excepto su forma de extracción, ya que ésta se realiza de manera natural. Dichos sistemas incluyen:
  - Sistemas de trincheras de venteo (barrera): Consiste en una trinchera interceptora rellena de grava que contiene un tubo horizontal perforado o ranurado. El tubo se conecta a ductos verticales que permiten la acumulación del biogás para ventearlo a la atmósfera.
  - Quemadores y venteos (captación): Son instalaciones sencillas de tubo colocado dentro del estrato de residuos sólidos para permitir el venteo del biogás a la atmósfera. Un sistema de quemadores pasivos es muy similar a un sistema de venteo, excepto que el gas se quema y es necesaria cierta infraestructura adicional para mantener la combustión. Es un sistema para el tratamiento de gases, este método de combustión controlada se recomienda cuando existen cantidades suficientes de gas metano, consiste en la oxidación de gases volátiles olorosos convirtiéndolos a compuestos no olorosos. (Ver figura 13)
  - Procesamiento del gas: Si el gas cumple con las condiciones necesarias para ser utilizado como gas natural se puede conducir directamente a una tubería para utilizarlo como tal. (ver figura No 14). Algunos de los fines a que se ha destinado el biogás en diferentes países del mundo son básicamente: Combustible para uso industrial, para generación de electricidad, para uso doméstico (gas natural), combustible para vehículos y producción de metanol.

**Figura13. Sistema de tratamiento de gases (Quema)**



**Figura14 Sistema de tratamiento de gases<sup>23</sup>**



<sup>23</sup> Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales Programa de Salud Ambiental. Serie Técnica No. 28, Enero de 1997

- Identificación de posibles rutas de migración de biogás. En un relleno sanitario, los asentamientos se presentan a través del tiempo y los problemas que crean van desde la acumulación del agua pluvial, hasta la fuga fuera de la vecindad del relleno tanto de lixiviados como de biogás, además de generar grietas superficiales a través de las cuales pueden penetrar vectores biológicos tales como fauna nociva y pueden también ser una vía para la salida del biogás que se genera.

En algunas ocasiones sobre la capa del relleno sanitario, se llegan a presentar ciertos problemas provocados por la acción de las lluvias, del viento y de la compactación natural que sufren los residuos sólidos al paso del tiempo, como por ejemplo depresiones, grietas, erosión y deslizamiento, fenómenos que en un momento dado pueden ser los causantes de la emisión incontrolada de biogás en el relleno sanitario. Estos problemas anteriores crean una especie de canal o vía que favorece o permite el flujo directo del biogás a la atmósfera. Para realizar las reparaciones correspondientes a estos acontecimientos, se deberá seguir el procedimiento que a continuación se presenta:

- Depresiones: Escarificar con pala, rastrillo o zapapico en el área afectada de 0.10 metros de espesor, en caso de que sea un área extensa se puede usar la escarificadora de la motoniveladora. Colocar material de cubierta en capas de 0.40 metros de espesor como máximo y compactar cada capa con material húmedo hasta lograr la superficie original.

**Lixiviados.** Antes de mencionar los sistemas que se deben diseñar para la recolección, conducción, tratamiento, mitigación de la producción, migración a áreas laterales y control de lixiviados, se hará una breve exposición de los principales factores que contribuyen a la generación del líquido con el fin de

facilitar la escogencia de los mecanismos que se deben implementar para lograr estos objetivos.

Como es conocido, el lixiviado se produce como resultado de la percolación de agua a través de los residuos sólidos y la compactación que sufren éstos al verse sometidos a la acción de una fuerza externa, como puede ser el paso de un tractor o el propio peso de los residuos sólidos depositados en capas superiores. Asimismo, se produce por efecto del metabolismo ocasionado por los microorganismos presentes en los residuos. El lixiviado contiene gran cantidad de sólidos suspendidos o en dilución.

Cuando el agua de lluvia se infiltra en la capa de cobertura del relleno sanitario, entra en contacto con los residuos, favoreciendo de este modo las reacciones químicas y bioquímicas que se realizan en el estrato de residuos. Durante estos procesos, que ocurren conforme se verifica la percolación del agua, se disuelven diversos componentes o elementos químicos de los residuos. Además, en el agua se disuelven (e incluso llegan a reaccionar con ella) los gases que se desprenden como producto de la degradación de los residuos, tales como el metano, bióxido de carbono y amoníaco, convirtiendo el agua en un agente de gran capacidad de dilución (por ejemplo, cuando el agua reacciona con el se obtiene como producto el ácido carbónico, el cual es capaz de disolver los minerales contenidos en los residuos sólidos). Aún y cuando la entrada de agua al relleno sanitario se limitara totalmente, podría esperarse la generación de un cierto volumen de lixiviado debido a la liberación del agua contenida en los residuos y a la actividad microbiana. Dependiendo de la estratigrafía del terreno, suele presentarse migración lateral de lixiviado, aflorando en zonas más bajas, con el consecuente deterioro de la calidad del suelo y la vegetación. Asimismo, el lixiviado puede alcanzar cuerpos superficiales de agua tales como ríos o lagos, contaminándolos y provocado procesos de eutrofización acelerada.

Con el fin de minimizar la influencia de los lixiviados y prever medidas de control adecuadas es necesario conocer los factores que intervienen en la generación de lixiviados:

- **Infiltración de agua.** Es sin duda el factor más importante, ya que la mayor parte del lixiviado que se produce en un relleno sanitario debe su origen al agua que penetra al mismo. La infiltración del agua en el estrato de residuos es función de al menos tres variables importantes:

- Precipitación: En general, la precipitación depende de la temporada del año y la ubicación geográfica del sitio. La situación más crítica de infiltración de agua de lluvia en un relleno sanitario ocurre durante periodos prolongados de lluvia ligera. En el caso de lluvia intensa durante periodos cortos de tiempo, se presenta una rápida saturación del material de cubierta, teniéndose que el remanente de agua escurre en gran medida fuera del terreno, esto es, la infiltración de agua es mínima.

- Cubiertas intermedia y final: El objetivo fundamental de la cubierta final de un relleno sanitario es la minimización de la infiltración de agua a los estratos de residuos. En primer término, retiene al agua de lluvia durante el tiempo suficiente para que los procesos de evaporación disminuyan la entrada de agua al relleno. El almacenamiento de agua se reduce con un efectivo escurrimiento por la pendiente de la cubierta final; tanto el almacenamiento como el escurrimiento y la evaporación son aspectos importantes para minimizar el lixiviado y se complementan entre sí. En segundo término, una gran capacidad de almacenamiento del material de cubierta provoca una infiltración más uniforme del agua de lluvia, reduciéndose de forma significativa los picos de infiltración (y en consecuencia, de generación de lixiviado).

- Pendiente: Una adecuada pendiente asegura una mínima infiltración y un máximo escurrimiento de agua pluvial hacia las laderas del relleno sanitario.
  
- Evaporación-evapotranspiración: El parámetro de evaporación es importante, ya que significa la transferencia de agua (en este caso del suelo) a la atmósfera, disminuyendo en consecuencia la cantidad de agua que pueda infiltrarse a través de la capa de residuos. Depende de muchos factores, entre ellos: temperatura, ubicación geográfica del sitio, temporada del año, humedad y velocidad del viento, etc.

El factor de evaporación es aplicable cuando se está operando el relleno sanitario (esto es, la evaporación de agua pluvial retenida por la cubierta intermedia o por los residuos sólidos) o durante todo el tiempo que transcurra después del cierre del relleno hasta antes de la aparición de una cubierta vegetal significativa. De no existir una vegetación inducida, puede considerarse que, al tercer año después del cierre de un relleno sanitario, la vegetación que se adapte naturalmente al sitio será significativa, por lo que entonces el parámetro evapotranspiración deberá sustituir al de evaporación. Por lo anterior, es evidente que la producción de lixiviado durante la etapa de operación de un relleno sanitario no es despreciable, sobre todo si dicha fase dura varios años, o si el relleno está ubicado en una zona de alta precipitación pluvial, o bien si en el sitio se depositan lodos de cualquier tipo no espesados.

- **Características de los residuos sólidos.** La generación de lixiviado depende también del tipo de residuos confinados en un relleno sanitario. Las variables más importantes al respecto son las siguientes:

- Tipo: Los residuos con mayor contenido de agua, tales como los alimenticios, propician la generación de lixiviado aportando igualmente una

gran carga orgánica al mismo. Sin embargo, los residuos como los metales, pilas eléctricas, sustancias químicas, etc., sufren lixiviación y contribuyen con DQO, dureza, metales pesados y otros parámetros a la carga contaminante del lixiviado.

- **Porcentaje de Humedad y Capacidad de Absorción de Agua:** La gran mayoría de los residuos tienen una cierta capacidad de absorción de agua; en tanto no se rebase este valor, teóricamente no podrá generarse lixiviado. Materiales tales como la tela, el algodón, la madera y el cartón tienen elevada capacidad de absorción.

- **Tamaño y grado de compactación:** Cuando los residuos son desmenuzados a tamaño pequeño y se compactan adecuadamente, se reduce sensiblemente la generación de lixiviado.

- **Desarrollo de canalizaciones en el estrato de residuos:** Este es un parámetro del cual no puede tenerse control de no ser por la eficiente compactación de los residuos y las cubiertas final e intermedia. La presencia de canalizaciones significa que ciertos materiales sufrirán mayor lixiviación que otros, lo cual puede o no ser conveniente, en función del tipo de residuos en contacto con el agua.

- **Actividades microbianas:** Los microorganismos presentes en los residuos sólidos consumen y generan agua durante sus procesos metabólicos, lo cual debe considerarse para un cálculo más completo del lixiviado. La actividad microbiana es función de una gran cantidad de factores, entre los que se encuentran:

- **Tiempo de retención:** Conforme transcurre el tiempo, el aire contenido en los intersticios de los residuos se agota, pasando la actividad microbiana de

la fase aerobia a la anaerobia. En la fase aerobia hay producción de agua, mientras que en la anaerobia se presenta un consumo real de ese líquido.

- Naturaleza de los materiales: Los materiales orgánicos degradables son la única fracción de los residuos sólidos que sirve de sustento para el metabolismo microbiano, de ahí que la mayor o menor presencia de estos materiales, incide directamente en el balance hídrico de un relleno sanitario.

- Temperatura: Dos diferentes tipos de microorganismos se desarrollan a intervalos de temperatura distintos: los mesófilos, entre 30°C y 40°C, y los termófilos, entre 55°C y 60°C. Cualquier cambio brusco en estas condiciones de temperatura afecta los procesos microbiológicos y desde luego, el consumo o la generación de agua por la actividad metabólica.

- Relación Carbono/Nitrógeno: Estos elementos son la principal fuente de alimentación de bacterias y otros microorganismos.

- Potencial de Hidrógeno (pH): El intervalo ideal va de 6.5 a 7.5. Si, por ejemplo, el pH fuese demasiado ácido, se inhibiría la actividad de las bacterias metanogénicas, lo que sería reflejado en un bajo consumo de agua durante el desarrollo de sus procesos metabólicos.

- Sustancias Tóxicas: Existe un gran número de sustancias que pueden producir efectos tóxicos o inhibitorios en los sistemas de digestión aerobios o anaerobios. La magnitud de tales efectos depende tanto del tipo de sustancias como de sus concentraciones, ya que ciertas sustancias producen efectos estimulantes a los microorganismos (acelerando su metabolismo) hasta llegar a un máximo, después del cual el efecto estimulante empieza a decrecer hasta inhibir o detener completamente la actividad biológica del sistema.

- **Etapa del relleno sanitario y eficiencia en su operación.** Es obvio que durante la etapa de operación de un relleno sanitario la infiltración de agua pluvial será mucho mayor que cuando el sitio complete su vida útil y se coloque la cubierta final. Asimismo, si se omite cubrir los residuos durante uno o varios días de la época de lluvias, se alcanzará mas rápidamente la capacidad de almacenamiento de agua de los residuos y la aparición de lixiviado ocurrirá antes de lo previsto.

- **Intrusión de Agua Subterránea.** El lixiviado se produce por el contacto de los residuos sólidos con el agua, no importando de dónde provenga ésta. En consecuencia, la probabilidad de intrusión de agua subterránea en el estrato de residuos debe tenerse en cuenta como un factor de producción de lixiviado. Esta probabilidad depende, obviamente, de ciertas condiciones como son la presencia del nivel freático o el manto acuífero a escasa profundidad, la permeabilidad del estrato ubicado debajo de los residuos y la carga de éstos sobre el terreno, entre otros. La colocación de geomembrana en el fondo de un relleno sanitario reduce al mínimo la posibilidad de intrusión del agua subterránea.

**Sistemas de conducción y almacenamiento de lixiviados.** Para la adecuación e instalación de los mecanismos captación de la producción de lixiviados en los botaderos de basura es necesario la abertura de zanjas en la masa de basura con maquinaria y equipo adecuados como retroexcavadoras, retrocargadores, etc.

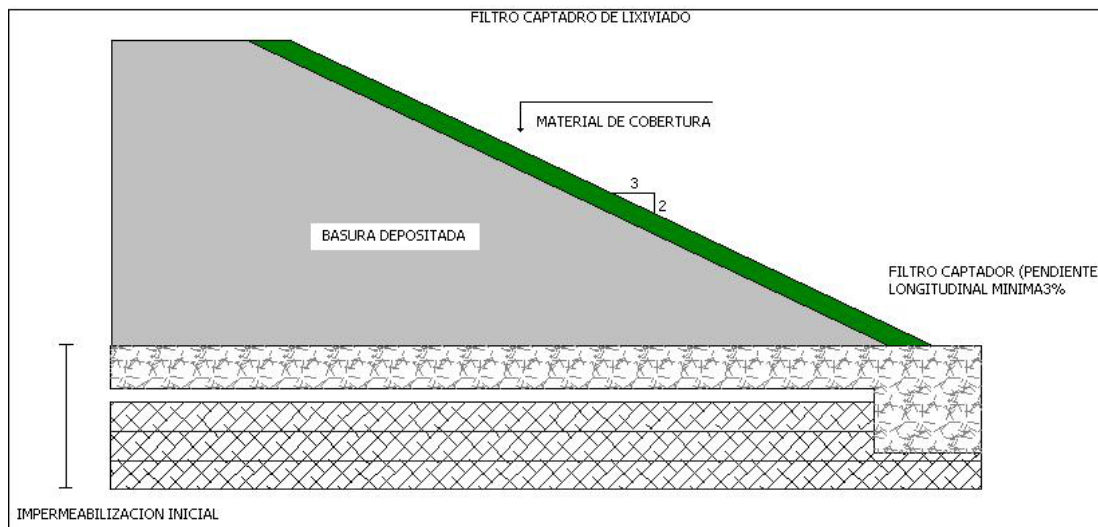
En el sistema de captación todos los drenes recolectores de lixiviados deben ir al tanque de tratamiento.

El procedimiento para la adecuación de los sistemas de captación de lixiviados es el siguiente:

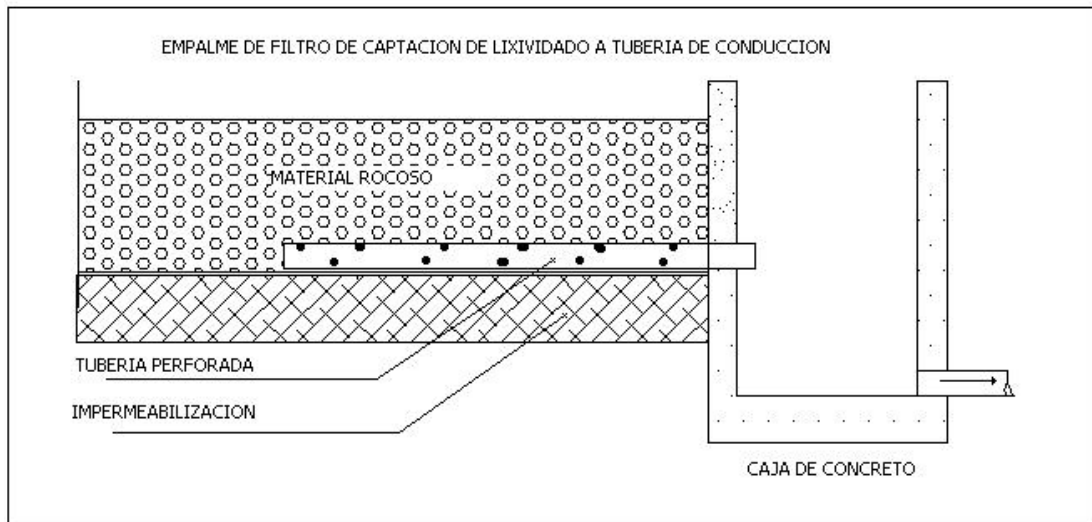
- Ubicar sobre un plano topográfico los sitios por donde salen o se empozan los líquidos lixiviados.
- Diseñar y construir los canales o filtros: Se requiere del diseño y construcción de canales del orden de 0.4m de alto por 0.4m de ancho para transportar los lixiviados que se evacuan por gravedad hacia las partes bajas del talud conduciéndolos hacia la planta de tratamiento, estos canales deben estar debidamente impermeabilizados con materiales altamente resistentes al desgaste y degradación provocados por los componentes químicos de los lixiviados. Los canales en tierra son recomendados con el fin de disminuir costos.

Los filtros captadores de lixiviado deben ir por el pie del talud, de manera que los líquidos recolectados puedan ser extraídos del área del botadero y conducidos a un sistema de tratamiento, la pendiente longitudinal debe ser siempre mayor que 3%. (Ver figura 15). Una vez afuera del relleno sanitario, estos filtros se podrán cambiar por tubería de diámetro mínimo 15 centímetros, conduciéndolos al sistema de almacenamiento y luego al sistema de tratamiento. (Ver Figura 16)

**Figura 15. Filtro Captador de Lixiviado**



**Figura16. Empalme de filtro de captación de lixiviado a tubería de conducción**



- Diseñar estructuras de medición de caudales: Los dispositivos para la medición de caudales más comunes son: Canaleta Parshall, vertederos, aforadores, etc. Son empleados para medir el caudal en los canales colectores, esta medición debe hacerse diariamente para que pueda ser relacionada con el régimen de lluvias de la región y con las acciones posteriores de cierre.

La red de conducción de lixiviados estará compuesta de subcolector, colector, tanque de almacenamiento y pozos de monitoreo los cuales deben estar dotados de un sistema para la extracción del líquido, todos los subcolectores deberán conducir los lixiviados hacia el colector, el cual a su vez descargará en el tanque de almacenamiento. Para el diseño de los colectores y subcolectores se recomienda un diámetro mínimo de 15 y 10cm respectivamente de acuerdo al volumen que se genere, una pendiente de escurrimiento mayor del 2% en dirección al tanque de almacenamiento.

- Diseño del tanque de almacenamiento: Para su diseño se requiere de variables tales como el volumen de producción de lixiviado, la eficiencia y del tipo de tratamiento a seguir.

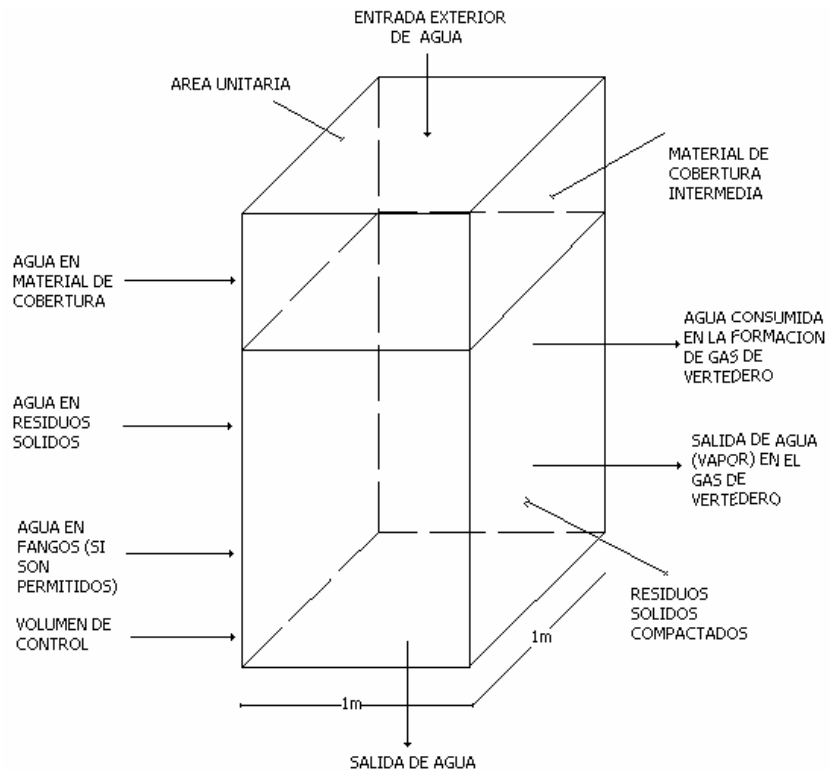
Los parámetros necesarios para el diseño de los sistemas de conducción, almacenamiento y tratamiento de lixiviados, están relacionados con el volumen de lixiviados generado y las variables fisicoquímicas. A continuación se desglosan los métodos más conocidos para el cálculo del volumen de lixiviado:

- Volumen de lixiviados: Para la estimación de la generación de lixiviado, se toma como base el análisis de los factores que propician su formación; se han desarrollado diversos modelos matemáticos para su estimación. Los modelos parten de un balance hídrico en un volumen de control que corresponde al propio vertedero. A continuación se describirán los métodos más empleados.

- Método alternativo de balance de agua: Es una metodología desarrollada por G. Tchobanoglous, H. Theisen Y S. Vigil en el texto “Manejo Integral de Residuos Sólidos”; donde se simplifica algunos conceptos desarrollados en otros métodos, como por ejemplo la cantidad de agua que penetra en el vertedero, la cual depende de los valores de precipitación, evaporación y escurrimiento. Sin embargo, toma en cuenta aspectos muy importantes no considerados en los otros métodos, tales como la cantidad de agua inherente a los residuos, así como el agua generada en los procesos microbianos. La metodología consiste en estimar el lixiviado a generar en un relleno sanitario efectuando un balance de agua en un volumen de control similar al que se presenta en la figura 17. El balance hidrológico implica la suma de todas las cantidades de agua que entran y la resta de las cantidades de agua consumidas en las reacciones químicas, así como la que sale en forma de

vapor de agua. La cantidad potencial del lixiviado es la cantidad de agua en exceso sobre la capacidad de retención de humedad del material del vertedero.

**Figura 17. Esquema de definición para un balance de aguas utilizando para valorar la formación de lixiviado en un vertedero.**



A continuación se desglosan los parámetros involucrados en el balance hidrológico del vertedero:

**Agua filtrada superiormente:** Es el agua que procede de la precipitación y que se ha percolado a través del material de cobertura y de los estratos internos del relleno. Es una variable que presenta grandes inconvenientes para su cálculo, debido a que se debe determinar la cantidad de lluvia que realmente se filtra a través de la capa de cubierta del vertedero.

Agua aportada por los residuos sólidos: Es tanto el agua inherente a los residuos sólidos como la humedad que se ha absorbido de la atmósfera o de la lluvia cuando los contenedores no han sido debidamente cerrados. El contenido de humedad de los residuos sólidos varía dependiendo de la localidad de que se trate, estas variaciones están ampliamente relacionadas con la climatología.

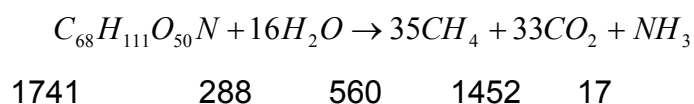
Agua aportada por el material de cobertura: Depende del tipo y el origen del material de cubierta y de la climatología.

La capacidad máxima de humedad que el material de cubierta puede contener se define como capacidad de campo (CC) del material, es decir, el líquido que queda en el espacio entre partículas sujeto a la acción de la gravedad. Los valores de CC para suelos varían del 6 a 12% para arenas y del 23 al 31% para marga arcillosa.

Agua perdida inferiormente: Es el agua que sale desde el fondo del vertedero, la cual es denominada lixiviado.

Agua consumida en la formación del gas: Se refiere a la cantidad de agua consumida durante la fase de descomposición anaerobia de la materia orgánica. La cantidad de agua consumida en las reacciones de descomposición se puede estimar de la siguiente forma:

La masa de agua absorbida por kilogramo de residuos orgánicos secos consumidos se puede estimar de la siguiente forma:



Considerando los pesos moleculares de los anteriores compuestos, se tiene que la masa de agua consumida por kilogramo de residuos sólidos volátiles rápidamente biodegradables (SVRB) secos y transformado es:

$$AguaConsumida = \frac{288}{1741} = 0,165 \frac{KgH_2O}{KgSVRBtransformado}$$

Si se considera un valor práctico de producción de biogás por unidad de masa de residuo de “ $150 \frac{L}{kg.residuo}$ ”, se tiene entonces que:

$$H_2O_{consumidaenformaciondegas} = \frac{0.165 H_2O / kgresiduo}{150 Lbiogás / kgresiduo} = 0.0011 \frac{kgH_2O_{consumida}}{Lbiogás}$$

Agua en forma de vapor que sale del relleno junto con el biogás: La cantidad de vapor de agua que se escapa del vertedero se determina suponiendo que el gas del vertedero está saturado en vapor de agua y aplicando la ley de los gases perfectos:

$$P_v * V = n * R * T$$

Donde,

$P_v$  = Presión de vapor del  $H_2O$  a una temperatura T, en atm.

$V$  = Volumen, l

$n$  = Número de moles

$R$  = Constante Universal de los gases =  $0,082 \frac{atm * l}{°K}$

$T$  = Temperatura, °K

La cantidad de vapor de agua contenida por litro de biogás a 32.2° centígrado (temperatura común a la que se encuentra el biogás generado en un relleno sanitario) se obtiene de la siguiente manera:

$$P = 0.70 \frac{lb}{pu\lg^2} \text{ (Presión de vapor de agua a } 32.2^\circ \text{ centígrados; que se puede}$$

obtener de cualquier libro de termodinámica; referencia consultada Manejo Integral de Residuos Sólidos; Principios Ingeniería y Manejo de Problemas, G. Tchobanoglous et. All

$$P = 0.70 \frac{lb}{pu\lg^2} = 0.0476atm$$

$$T = 32.2^\circ C = 305.2^\circ K \text{ y } ^\circ K = ^\circ C + 273$$

Entonces, despejando de la ecuación de los gases, se obtiene:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{0.0476atm * 1L}{(0.082atm * L/mol * ^\circ K) * 305.2^\circ K} = 0.0019molesdeH_2O$$

Multiplicando por el peso molecular del agua (PM = 18), se obtiene:

$$0.0019mol * (18 \frac{g}{mol}) = 0.0342 \frac{gvaporH_2O}{Lbiogás}$$

Otras pérdidas: Hay pérdida de humedad por evaporación durante el vertido de los residuos. Las cantidades son mínimas por lo tanto no se toman en cuenta en la mayoría de los casos.

Capacidad de campo del vertedero: El agua que entra en el vertedero, que no se consume y que no sale como vapor de agua, puede mantenerse en el vertedero o puede aparecer como lixiviado. Tanto el material residual como el de cobertura pueden retener agua. La cantidad de agua que se puede retener, en contra de la gravedad, se denomina capacidad de campo. La

cantidad potencial del lixiviado es la cantidad de humedad dentro del vertedero por encima de la capacidad de campo del vertedero. La capacidad de campo varía con el peso de sobrecarga y se puede estimar por medio de la siguiente expresión:

$$CC = 0,6 - 0,55 \frac{(W)}{(10.000 + W)}$$

Donde,

$CC$  = Capacidad de campo o fracción de agua en los residuos basándose en el peso seco de los mismos.

$W$  = Peso de sobrecarga calculado en la mitad de la altura de los residuos dentro del nivel en cuestión.

Una vez definidas las variables que participan en la generación de lixiviado en un relleno sanitario, la relación matemática que permite calcular la cantidad de líquido percolado es conocida como balance de aguas del vertedero y esta dada por:

$$\Delta S_{RS} = (W_{RS} + W_{FT} + W_{MC} + W_{A(U)}) - (W_{GV} - W_E + W_{F(L)})$$

Donde,

$\Delta S_{RS}$  = Variación en la cantidad de agua almacenada en los residuos sólidos en el vertedero en  $Kg$  ó  $m^3$ .

$W_{RS}$  = Agua (humedad) en los residuos sólidos entrantes en  $Kg$  ó  $m^3$ .

$W_{FT}$  = Agua (humedad) en los lodos de plantas de tratamiento entrantes,  $Kg$  ó  $m^3$ .

$W_{MC}$  = Agua (humedad) en el material de cobertura,  $Kg$  ó  $m^3$ .

$W_{A(U)}$  = Agua filtrada superiormente (para la capa superior del vertedero el agua desde arriba procede de la lluvia),  $Kg$  ó  $m^3$ .

$W_{GV}$  = Agua perdida en la formación del gas del vertedero,  $Kg$  ó  $m^3$ .

$W_{VA}$  = Agua perdida como vapor de agua saturado con el gas de vertedero,  $Kg$  ó  $m^3$ .

$W_E$  = Agua perdida debido a la evaporación superficial,  $Kg$  ó  $m^3$ .

$W_{F(L)}$  = Agua que sale inferiormente (en la celda localizada directamente por encima de un sistema para la recogida del lixiviado),  $Kg$  ó  $m^3$ .

Para determinar si se forma lixiviado se debe comparar la capacidad de campo del vertedero con la cantidad de agua presente. Si la capacidad de campo es menor que la cantidad de agua presente, se formará lixiviado.

- Método de Thornthwaite (1.957): Es un método que ha sido perfeccionado a partir de observaciones empíricas. Una de las aportaciones más interesantes es el enfoque que toma en cuenta diferentes periodos de tiempo para generación de lixiviado; el primero, durante la etapa de operación del rellenos hasta el cierre definitivo, el segundo, a partir del cierre, cuando se minimiza la entrada de agua al sitio de vertedero. Este fue mencionado por Bagchi (1.989), y define las siguientes ecuaciones:

$$L_v = P + S - E - CA \longrightarrow \text{Antes del cierre del relleno.}$$

Donde,

$L_v$  = Volumen de lixiviado producido antes del cierre

$P$  = Volumen de precipitación

$S$  = Volumen de agua obtenida de la compresión de lodos

$E$  = Volumen de agua perdida por evaporación

$CA$  = Capacidad de absorción de los residuos

$L_v' = P + \Delta S - ET - R$   $\longrightarrow$  Después del cierre del relleno.

Donde,

$L_v'$  = Volumen de lixiviado producido después del cierre

$P$  = Volumen de precipitación

$ET$  = Volumen de agua perdida por evapotranspiración

$R$  = Volumen de agua perdida por escurrimiento

$\Delta S$  = Volumen de agua retenida por la cubierta final

En términos generales, la metodología consiste en obtener de fuentes de información, algunos datos de las relaciones anteriores (evaporación y precipitación pluvial), así como calcular otros por medio de fórmulas desarrolladas después de intensos trabajos de investigación (escurrimiento, evapotranspiración, capacidad de absorción de los residuos, etc.), estos datos obtenidos para los diferentes periodos del año se suman de manera algebraica por medio de tabulaciones, con el fin de obtener el lixiviado producido.

- Método de la evaluación hidrológica del comportamiento de un relleno sanitario (Hydrological Evaluation of Landfill Performance-HELP): Es un modelo determinístico cuasibidimensional fue adaptado, a su vez, del modelo de la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos llamado "Modelo de simulación hidrológica para estimar la percolación en sitios de disposición final (HSSWDS – Hydrologic Simulation Model for Estimating Percolation at Solid Wasted Disposal Sites; Terrier y Gibson 1980, Schoroeder y Gibson, 1.982), así como de los modelos de escurrimiento y

erosión química de los sistemas de manejo agrícola y el “simulador para recursos de agua en cuencas rurales”, ambos del servicio de investigación agrícola de los Estados Unidos.

A partir de datos diarios de climatología, características del suelo (porosidad, capacidad de campo, punto de marchitamiento, conductividad hidráulica, coeficientes de evaporación y coeficientes de escurrimiento), y especificaciones de diseño, el modelo HELP calcula el escurrimiento diario, la evapotranspiración, la percolación y el drenaje lateral del relleno sanitario. Los resultados están expresados en términos de exceso de agua diario, mensual, anual y a largo plazo.

El modelo esta basado en un balance hídrico del relleno sanitario, considerando una configuración de capas de residuos, geomembrana y coberturas. Toma en cuenta tanto el flujo de aguas verticales como laterales. Simula el movimiento de agua hacia adentro, a través y hacia fuera del relleno sanitario. Divide el proceso hidrológico en procesos superficiales y subterráneos, en el primero, se modelan el derretimiento de la nieve, la interceptación de la lluvia por la vegetación, el escurrimiento superficial y la evaporación. El segundo, la evaporación del suelo, la transpiración de las plantas, el drenaje vertical no saturado, la percolación a través de capas de material de cobertura, así como el drenaje lateral saturado. Los cálculos se hacen de manera iterativa así:

La infiltración diaria hacia dentro del relleno sanitario se determina indirectamente por medio de un balance de agua. Se supone que cada día la infiltración es igual a la suma de la precipitación pluvial más el derretimiento de nieve, menos la suma del escurrimiento y la evaporación superficial. No se acumula agua en la superficie de un día para otro. Cabe señalar que no se permite que la evaporación superficial exceda a la cantidad de agua

captada del derretimiento de nieve y la precipitación pluvial (lo cual es una diferencia positiva y notable con relación al método de balance de agua desarrollado por Thornthwaite y Fenn). De esta manera, el agua que no escurre o se evapora, se infiltra al relleno sanitario.

Posteriormente, el modelo pasa a los procesos subterráneos, en los que se considera la evaporación del suelo y la evapotranspiración (perfil superior). En la sección subsiguiente, se calcula la suma del drenaje lateral y la percolación vertical, si es que dicha sección cuenta con una capa de material arcilloso de cobertura. De esta manera, se llevan a cabo posteriores cálculos de los flujos lateral y vertical del agua, en un sentido descendente respecto a los perfiles del relleno sanitario. La suma de valores del drenaje lateral y la percolación debe ser lo más congruente posible con el estimado inicial, pues de lo contrario se hace una nueva iteración hasta que se logra un punto de convergencia aceptable. En caso de que el subperfil no contenga una capa de material de cubierta, entonces tanto el drenaje lateral como la percolación adquieren un valor de cero, por lo que no se necesita iterar.

Este modelo requiere de una gran cantidad de información, mucha de la cual debe obtenerse mediante un extenso conjunto de cálculos. Entre la más importante se tienen: datos climatológicos, características del suelo, escurrimiento, intercepción de agua pluvial por la vegetación, evapotranspiración potencial, evaporación superficial, evapotranspiración superficial, crecimiento vegetal, drenaje vertical y lateral, flujo subterráneo de agua, y percolación a través de capas de material de cobertura.

**Sistemas de tratamiento de lixiviados.** La composición química de los lixiviados variará mucho según la antigüedad del vertedero y la historia previa de muestreo. Por ejemplo, si se recoge una muestra de los lixiviados durante la fase ácida de la descomposición, el pH será bajo y las

concentraciones DBO<sub>5</sub>, DQO, COT, nutrientes y metales pesados serán altas. Si se recogen durante la fase de fermentación del metano, el pH estará en el rango de 6.5 a 7.5, y los valores de concentración de DBO<sub>5</sub>, COT, DQO y de los nutrientes serán significativamente bajos. Igualmente las concentraciones de metales pesados serán bajas debido a que la mayoría de los metales son menos solubles para valores de pH neutro. El pH del lixiviado dependerá no solamente de la concentración de los ácidos presentes, sino también de la presión parcial del CO<sub>2</sub> en el gas del vertedero que está en contacto con el lixiviado.

El Cuadro 10 presenta datos representativos sobre las características de los lixiviados en vertederos nuevos y antiguos. Como se puede observar el rango de valores de concentración para varios componentes es bastante amplio, fenómeno observado especialmente en vertederos nuevos, por lo cual se debe tener especial cuidado en la manipulación de los diversos valores que se presentan. Para supervisar los cambios ocasionados por el tiempo en la biodegradabilidad del lixiviado se usa la relación DBO<sub>5</sub>/DQO. En los primeros años del vertedero, las relaciones estarán en el rango de 0.5 o más. Para valores en un rango de 0.4 a 0.6 indican que la materia orgánica en los lixiviados es fácilmente biodegradable. En los vertederos más antiguos, la relación DBO<sub>5</sub>/DQO se encuentra a menudo en el rango de 0.05 a 0.2. Esta relación cae debido a que los lixiviados procedentes de estos vertederos normalmente contienen ácidos húmicos y fúlvicos, que no son fácilmente biodegradables.

El Cuadro 11 Resume algunos de los parámetros, físicos, químicos y biológicos que se deben supervisar en los vertederos. Como resultado de las variaciones de caudal y la diversidad en las características del lixiviado el diseño de los sistemas de tratamiento es complicado, lo que obliga la implementación de plantas de tratamiento con una gran flexibilidad de

funcionamiento. El problema ocasionado por la interpretación de los resultados analíticos de los lixiviados es aún más complejo, por el hecho de que el lixiviado que está generándose en un momento dado es una mezcla del lixiviado derivado de residuos sólidos de distintas edades.

Entre los posibles sistemas de tratamiento se encuentran el biológico, el fisicoquímico y/o una combinación de ambos. Para la implementación de estos se debe tener cuenta la relación DBO<sub>5</sub>/DQO, en lixiviados con carga orgánica alta el sistema más usado es el tratamiento biológico, el cual permite la eliminación del nitrógeno en forma amoniacal y reduce la carga de DBO<sub>5</sub>, en lixiviados con altas concentraciones de metales pesados y DQO el sistema más indicado es el tratamiento fisicoquímico. En los cuadros 10 y 11 se resumen los procesos biológicos, naturales, físicos y químicos que pueden ser implementados para el tratamiento de lixiviados.

**Cuadro 10. Composición típica de las características de los lixiviados en vertederos nuevos y antiguos<sup>24</sup>**

CONSTITUYENTES	VALOR (mg/l)		
	Vertedero nuevo (< de 2 años)		Vertedero maduro > de 10 años
	Rango	Típico	
DBO <sub>5</sub> (Demanda bioquímica de Oxígeno de 5 días)	2,000-30,000	10000	100-200
COT (Carbono Orgánico Total)	1,500-20,000	6	80-160
DQC (Demanda de Oxígeno Químico)	3,000-60,000	18	100-500
Total de Sólidos en Suspensión	200-2,000	500	100-400
Nitrógeno Orgánico	10-800	200	80-120
Nitrógeno Amoniacal	10-800	200	20-40
Nitrato	5-100	25	5-10
Total Fósforo	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	1000-10000	3000	200-1000
pH	4,5-7,5	6	6,6-7,5
Dureza Total como CaCO <sub>3</sub>	300-10000	3500	200-500
Calcio	200-,3000	1000	100-400

<sup>24</sup> Manejo Integral de Residuos Sólidos, Tchobanoglous

CONSTITUYENTES	VALOR (mg/l)		
	Vertedero nuevo (< de 2 años)		Vertedero maduro > de 10 años
	Rango	Típico	
Magnesio	50-1500	250	50-200
Potasio	200-1000	300	50-400
Sodio	200-2500	500	100-20
Cloro	200-3000	500	100-400
Sulfatos	50-1000	300	20-50
Total hierro	50-1200	60	20-200

**Cuadro 11. Resumen de los parámetros físicos, químicos y biológicos que se deben supervisar en los vertederos<sup>25</sup>**

FISICOS	CONSTITUYENTES ORGÁNICOS	CONSTITUYENTES INORGÁNICOS	BIOLOGICOS
Aspecto	Químicos Orgánicos	Sólidos en Suspensión (SS), Sólidos Total Disueltos (STD)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
pH	Fenoles	Sólidos Volátiles en Suspensión (SVS), sólidos Volátiles Disueltos (SVD)	Bacterias coliformes (total, fecal estreptococo)
Potencial de reducción oxidación	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Cloruros	Recuento sobre placas estándar
Conductividad	Carbono Orgánico Total (COT)	Sulfatos	
Color	Ácidos Volátiles	Fosfatos	
Turbiedad	Taninos, ligninas	Alcalinidad y acidez	
Temperatura	N-Orgánico	N-Nitrato	
Olor	Solubles en éter (aceite y grasa)	N-Nitrito	
	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	N-Amoníaco	
	Grupos funcionales orgánicos según sean requeridos	Sodio	
	Hidrocarburos clorados	Potasio	
		Calcio, Magnesio, Dureza, metales pesados, (Pb, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd, Fe, Mn, Hg, Ba, Ag), Arsenio, Cianuro, Flúor, Selenio	

<sup>25</sup> Manejo Integral de Residuos Sólidos, Tchobanoglous

**Cuadro12. Procesos y operaciones químicas y físicas**

<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>APLICACIONES</b>	<b>DESCRIPCION DEL PROCESO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>BIOLOGICO</b>	<b>Lodos Activados</b>	Separación de Materia Orgánica y Nitrificación	El procedimiento esta fundamentado en la circulación del líquido dentro de un tanque de aireación, en el cual previamente se han aclimatado y desarrollado culturas bacterianas, protozoarios y rotíferos, quienes utilizan la materia orgánica como fuente de alimento. En este procedimiento se da un proceso de purificación, el cual tiene lugar en dos etapas, en la primera se produce una absorción y almacenamiento de la materia orgánica en la pared celular de las bacterias, en la segunda las bacterias metabolizan las sustancias disueltas, formando material celular (biomasa), CO <sub>2</sub> , otros compuestos.	Pueden ser necesarios aditivos de desespumamiento, requiere de sedimentador primario.
	<b>Lagunas de Maduración (Fotografía 7)</b>	Separación de Materia orgánica y Nitrificación	Es un sistema diseñado con el fin de eliminar bacterias patógenas, remoción de coliformes, nitrificación del nitrógeno amoniacal, eliminación de nutrientes, clarificación y oxigenación del efluente.	Necesita de tratamiento primario, demanda menor oxígeno disuelto que las lagunas facultativas, requiere de pH alto, es recomendable para climas cálidos
	<b>Laguna aireadas de estabilización (Fotografía 8)</b>	Separación de Materia Orgánica y Nitrificación	Son usadas cuando no existen áreas suficientes para lagunas facultativas, requieren un sistema de aireación mecánica.	Se requiere una gran superficie de terreno

	<b>Laguna facultativa</b>	Separación de Materia Orgánica	Cuentan con tres zonas delimitadas, la capa inferior, exenta de oxígeno libre (anaerobia), la capa intermedia, no tiene oxígeno libre pero lo tiene disponible en las moléculas de nitrato (facultativa o anóxica) y la capa superficial, tiene oxígeno libre (aerobia). Su funcionamiento está basado en la simbiosis entre las bacterias y las algas, las primeras requieren el oxígeno disuelto que es producido por las algas en procesos fotosintético, las algas a su vez toman el CO <sub>2</sub> que producen las bacterias en su metabolismo aeróbico.	Requiere de la presencia de algas quienes suministran el oxígeno disuelto, áreas superficiales amplias y profundidades de 1,8 a 2,0 metros. Este sistema es recomendable en climas cálidos.
	<b>Filtros percoladores Convencionales</b>	Separación de Materia Orgánica y Nitrificación	Son depósitos rellenos de piedra o grava u otro tipo de material de un determinado tamaño que garantice: una aireación suficiente, la formación de colonias de microorganismos o biomasa, un flujo de líquidos y sólidos sin taponamientos y en general una buena remoción de carga orgánica. Se deben diseñar de tal manera que puedan cumplir una función natural de descomposición de la materia orgánica para retornar al ambiente en forma de minerales, alimento de especies autotróficas.	Frecuentemente utilizados con efluentes industriales similares a los lixiviados, pero no ensayado con lixiviados de vertederos.

	<b>Lagunas anaerobias</b>	Separación de Materia Orgánica Biodegradable	Consiste en la fermentación de la materia orgánica, la depuración es realizada por bacterias anaerobias. El fin de este sistema es retener la mayor parte posible de los sólidos en suspensión que se incorporan a la capa de lodos acumulados en el fondo y la eliminación de la carga orgánica, para evitar la producción de malos olores se debe evitar la acidificación. El proceso de degradación de materia orgánica se lleva a cabo en tres etapas, la primera llamada hidrólisis se da una conversión de los compuestos orgánicos complejos e insolubles a otros compuestos mas sencillos y solubles en agua, la segunda llamada etapa de autólisis y fermentación ácida, es la transformación de los compuestos orgánicos por bacterias acidogénicas a ácidos orgánicos volátiles, la tercera llamada metanogénesis que es la etapa de descomposición de los ácidos orgánicos volátiles a metano y ácido sulfúrico, está a cargo de bacterias metanogénicas.	Requisitos de energía y producción de lodos menores que en los sistemas aerobios, el sistema es más lento que los sistemas aeróbicos. Requiere de carga volumétrica alta, área superficial pequeña con relación al volumen, se deben mantener el pH y la temperatura estables
	<b>Nitrificación/desnitrificación</b>	Separación de nitrógeno	El proceso de Nitrificación consiste en la conversión del Nitrógeno Amoniacal en Nitrito a cargo de bacterias autótrofas; el proceso de Desnitrificación es la eliminación de Nitrógeno en forma de Nitrito por medio de bacterias heterotróficas convirtiéndolo en Nitrógeno gaseoso, este proceso se realiza en condiciones anóxicas	La nitrificación/desnitrificación puede llevarse a cabo simultáneamente con la separación de orgánicos

	<b>Baja Carga</b>	Eliminación de : Materia Orgánica (remoción completa), Sólidos Suspendidos, Nitrógeno (amoniaco, orgánico y en forma de nitritos), Fósforo, Metales Pesados, Trazas de compuestos orgánicos	Consiste en la aplicación de los líquidos sobre un terreno con vegetación con el fin de conseguir el tratamiento de los líquidos así como el crecimiento de la vegetación existente. El líquido puede consumirse por evapotranspiración como o percolar vertical y horizontalmente en el terreno. Se deben mantener en los terrenos condiciones aerobias, para lo cual se emplean ciclos intermitentes de aplicación. Son tratamientos altamente eficientes debido a la presencia de vegetación y al ecosistema del suelo. La permeabilidad, altura de la columna de suelo al nivel freático y la presencia de un estrato impermeable o de roca, son las variables más importantes al momento de escoger un terreno para la aplicación de este sistema de tratamiento. Los cultivos recomendados son aquellos que poseen una capacidad elevada de asimilación de nutrientes, alto consumo de agua, elevada tolerancia a la humedad del suelo, baja sensibilidad a los constituyentes del líquido y mínimas necesidades de control. Las especies más usadas y con estas características son: césped de grama, pinos y coníferas, sauce, eucalipto, maíz, sorgo, cebada, cítricos, manzanos, entre otros.	Requiere instalaciones de almacenamiento para épocas de lluvia, la pendiente debe ser inferior al 15% en terrenos cultivados e inferior al 40% en terrenos no cultivados; la permeabilidad del suelo debe ser de moderadamente baja a moderadamente alta; se puede aplicar por aspersión o dispersión; requiere vegetación para su funcionamiento; la profundidad al nivel freático debe ser de 0,6-0,9m mínimo; la DBO de la materia orgánica aplicada debe ser menor a la velocidad estimada de transferencia de oxígeno.
	<b>De infiltración rápida</b>	Eliminación de Materia Orgánica (remoción completa), Sólidos Suspendidos, Desnitrificación Biológica (zonas anóxicas y relación carbono/nitrógeno mayor a 2:1),	El líquido se aplica de forma intermitente, normalmente por medio de balsas de infiltración o de distribución de poca profundidad. Los factores que influyen en la escogencia del terreno son: Los tipos de suelos aptos son: arenas, margas arenosas, arenas margosas y gravas, la topografía, la calidad y movimiento de las aguas subterráneas, las formaciones geológicas adyacentes y altura de la columna de	Profundidad al nivel freático de 3m; requiere permeabilidades de suelos relativamente altas (arenas, arenas margosas), se aplica generalmente superficialmente. La DBO de la materia orgánica aplicada debe ser menor a

		Nitrógeno (amoniacal, orgánico y en forma de nitritos), fósforo, Metales Pesados, Trazas de compuestos orgánicos, organismos patógenos	terreno hasta el nivel de aguas subterráneas. Es necesario conocer las características del subsuelo y acuíferos adyacentes. Para un óptimo funcionamiento requiere de cargas bajas de DBO (45-299kg/ha*d).	la velocidad estimada de transferencia de oxígeno.
	<b>Riego superficial</b>	Eliminación de: Materia Orgánica (eliminación parcial), Sólidos Suspendidos, Desnitrificación Biológica (zonas anóxicas y relación carbono/nitrógeno mayor a 2:1), Nitrógeno (amoniacal, orgánico y en forma de nitritos), fósforo (eliminación limitada), Metales Pesados, Trazas de compuestos orgánicos y organismos patógenos	El funcionamiento del sistema esta basado en la actividad microbiológica. El líquido se distribuye en la zona superior de terrenos vegetados con pendientes cuidadosamente seleccionadas, de modo que pueda fluir en la superficie hasta unas zanjas de recogida de la escorrentía superficial situadas en el extremo de la pendiente. Para la elección del terreno se debe tener en cuenta la topografía, el clima (medios a cálidos para remoción de nitrógeno) y las características del suelo (baja permeabilidad). Entre los parámetros de diseño más importantes están la carga de aplicación (volumen de líquido aplicado por unidad de tiempo y por metro lineal de zona de aplicación), longitud de la superficie de aplicación, pendiente, ciclo operativo y la carga de DBO5	Requiere de la adecuación de instalaciones para almacenamiento durante épocas de lluvia; la pendiente debe ser de 1-8%, el sistema se aplica en terrenos con suelos o estratos subsuperficiales relativamente impermeables (arcillas, limos y suelos con barreras impermeables); necesita de vegetación para su funcionamiento; el terreno tiende a impermeabilizarse con el paso del tiempo., la distribución del lixiviado se puede llevar a cabo por medio de aspersores de alta carga. La DBO de la materia orgánica aplicada debe ser menor a la velocidad estimada de transferencia de oxígeno.

	<b>Humedales</b>	Eliminación de: Materia Orgánica, Sólidos Suspendidos, Desnitrificación Biológica, Nitrógeno (amoniaco, orgánico y en forma de nitritos), fósforo (eliminación limitada), Metales Pesados (bajo rendimiento), Trazas de compuestos orgánicos y organismos patógenos	Son terrenos inundados con profundidades de agua normalmente inferiores a 0,6m, con plantas emergentes como espadañas, juncos y aneas. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la absorción de los constituyentes del lixiviado, permite la transferencia de oxígeno a la columna de líquido y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar. El sistema puede ser natural (no recomendado) y artificial, utilizado por no estar sujeto a las limitaciones de vertidos en ecosistemas naturales. El artificial puede ser flujo libre o de flujo subsuperficial; los sistemas de flujo libre se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y la flora. La elección de terrenos incluye la topografía, las características del suelo, el uso actual del terreno, el riesgo de inundación y el clima. La vegetación desempeña un papel integral en los sistemas de tratamiento con humedales, ya que transfiere oxígeno a la parte inferior de los depósitos de tratamiento por medio de las raíces y rizomas, proporcionando un medio situado por debajo de la superficie libre del agua para el soporte de los microorganismos responsables del tratamiento biológico.	En climas fríos requiere de almacenamiento del agua; pendientes inferiores al 5%; permeabilidades del suelo de baja a moderada; la vegetación facilita la filtración y la absorción de los constituyentes de los lixiviados. La DBO de la materia orgánica aplicada debe ser menor a la velocidad estimada de transferencia de oxígeno.
--	------------------	---	---	---

	<b>Plantas acuáticas flotantes</b>	Eliminación de: Materia Orgánica, Sólidos Suspendidos, Desnitrificación Biológica, Nitrógeno (amoniaco, orgánico y en forma de nitritos), fósforo (eliminación limitada), Metales Pesados (bajo rendimiento), Trazas de compuestos orgánicos y organismos patógenos	Es un sistema similar a los humedales de flujo libre, utiliza especies de plantas flotantes como los jacintos y lentejas de agua. La profundidad del agua varía entre 0,5 y 1,8m. Para un buen funcionamiento y asegurar el mantenimiento de condiciones aerobias se emplean sistemas adicionales de aireación. Para la elección del terreno incluye la topografía, el clima, el riesgo de inundación y las características del suelo.	En clima frío se puede necesitar almacenar el agua; pendientes inferiores al 5%; la permeabilidad del suelo debe ser de baja a moderada Necesitan sistemas complementarios de aireación. La DBO de la materia orgánica aplicada debe ser menor a la velocidad estimada de transferencia de oxígeno.
--	------------------------------------	---	--	---

**Cuadro 13. Procesos y operaciones biológicos y naturales**

<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>	<b>APLICACIONES</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>PROCESOS QUIMICOS</b>	<b>Neutralización</b>	Control de pH	De aplicación limitada para la mayoría de los lixiviados
	<b>Precipitación</b>	Separación de metales y algunos aniones	Produce un lodo que posiblemente requiera la evacuación como residuo peligroso
	<b>Oxidación</b>	Separación de orgánicos; detoxificación de algunas especies inorgánicas	Funciona mejor con flujo de residuos diluidos; el uso de Cloro puede provocar la formación de hidrocarburos clorados.
	<b>Oxidación por aire húmedo</b>	Separación de Materia Orgánica	Es un proceso costoso; funciona bien orgánicos refractarios
<b>OPERACIONES FISICAS</b>	<b>Sedimentación/flotación</b>	Separación de materia en suspensión	Solo tiene una aplicación limitada; puede usarse conjuntamente con otros procesos de tratamiento
	<b>Filtración</b>	Separación de materia en suspensión	Solo es útil como proceso primario.
	<b>Arrastre por aire</b>	Separación de amoníaco u orgánicos volátiles	Puede requerir equipamiento de control de la contaminación atmosférica
	<b>Separación de vapor</b>	Separación de Materia Orgánicos Volátiles	Altos costos energéticos; El vapor de condensado tiene un tratamiento adicional.
	<b>Absorción</b>	Separación de Materia en Suspensión	Tecnología probada; costos variables según tipo de lixiviado
	<b>Intercambio iónico</b>	Separación de Materia Inorgánica disuelta	Útil solamente como tratamiento final
	<b>Ultrafiltración</b>	Separación de bacterias y de organismos con alto peso molecular	Propenso al atascamiento, de aplicación limitada para los lixiviados.
	<b>Osmosis Inversa</b>	Disoluciones diluidas de Materia Inorgánica	Proceso costoso y necesita de un tratamiento primario extensivo
	<b>Evaporación</b>	Cuando no se permite la descarga de lixiviados	Los lodos resultantes puede ser peligrosos, puede ser costoso excepto en zonas áridas.

**Fotografía 7. Laguna de estabilización de lixiviados Madrid<sup>26</sup>**



**Fotografía 8. Laguna para tratamiento de lixiviado, Curitiba (Brasil)<sup>27</sup>**



<sup>26</sup> [http://www.mambiente.munimadrid.es/nuevo\\_residuos/3.10LasDehesas.htm](http://www.mambiente.munimadrid.es/nuevo_residuos/3.10LasDehesas.htm)

<sup>27</sup> <http://members.fortunecity.es/emacos2001/index2.htm>

### **Sistemas de mitigación de producción de lixiviados:**

- Cobertura: Reduce la cantidad de lluvia que se infiltra en los residuos sólidos evitando el aumento en la producción de lixiviados y la contaminación del subsuelo.
- Barreras impermeables: Son mecanismos localizados en las pendientes ascendentes o alrededor del perímetro del vertedero, empleados para prevenir el movimiento de agua subterránea hacia el sistema. Son recomendadas para las zonas con niveles freáticos poco profundos y deben construirse sobre suelos de baja permeabilidad.
- Zanjas de intercepción: Son dispositivos localizados en las pendientes ascendentes del talud para capturar el agua subterránea y desviarla alrededor del perímetro del basurero, su fin es la reducción del nivel freático. Para un óptimo funcionamiento deben ser suficientemente profundas para que efectivamente baje el nivel de las aguas. No se recomiendan en suelos de baja permeabilidad y en zonas de descarga de aguas subterráneas.
- Bombeo de aguas subterráneas: Es un sistema de mitigación localizado pendiente arriba del botadero, tiene como función reducir el nivel freático previniendo el aumento en la producción de lixiviados y la contaminación de las aguas subterráneas. Es un mecanismo poco efectivo en suelos de baja permeabilidad y poco recomendable debido a sus elevados costos en los sistemas de bombeo.

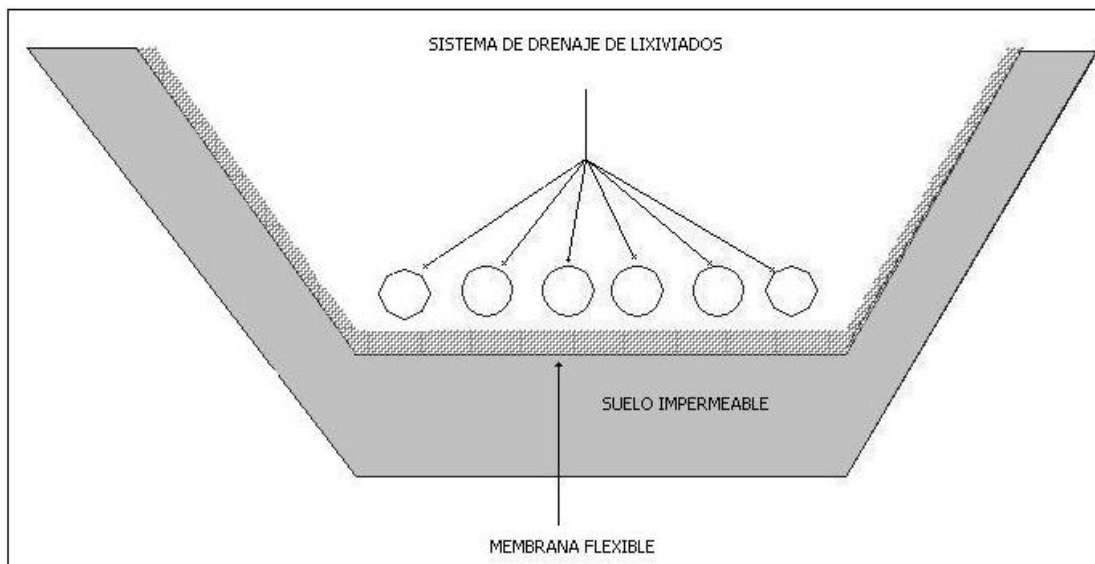
### **Sistemas para impedir migración lateral de lixiviados :**

- Barreras impermeables: Son elementos localizados alrededor del perímetro del botadero. Diseñados para controlar el flujo subsuperficial del

lixiviado, el líquido debe ser recolectado y transportado hacia la planta de tratamiento.

- Drenajes subsuperficiales: Son zanjas excavadas a mano o con retroexcavadora instaladas alrededor del perímetro del botadero o en el pie del talud, su función es recolectar el lixiviado que migra por debajo de la superficie o a través de filtraciones. Generalmente el sistema consta de un conjunto de canales dispuestos con tuberías perforadas rellenas con grava. El lixiviado recolectado debe transportarse hasta la planta de tratamiento. (Ver figura 18)

**Figura 18. Sistema de Drenaje de Lixiviado.**

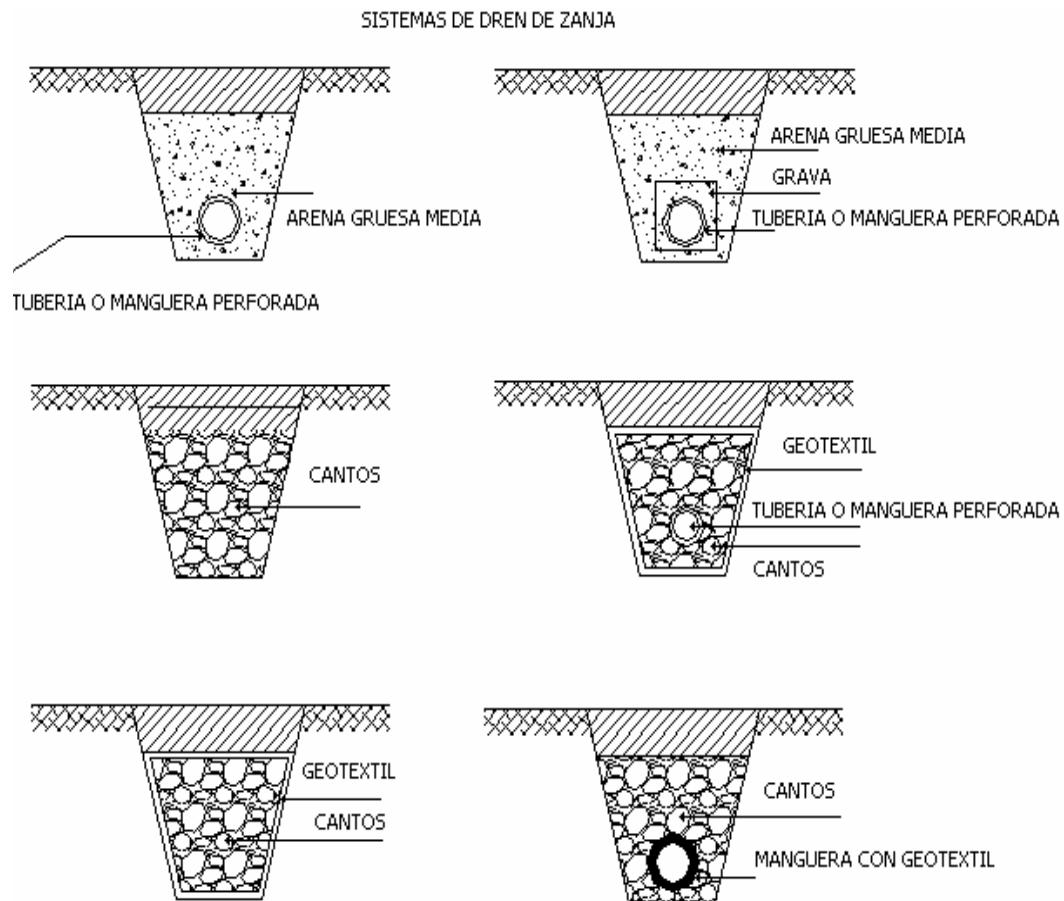


Para el diseño de drenajes subsuperficiales se sugiere la determinación de los siguientes elementos: Profundidad y ancho de la zanja, espaciamiento entre zanjas, localización en planta de los subdrenes, material filtrante y especificaciones, cálculo de caudales colectados, sistemas de recolección y entrega.

El tipo de dren interceptor a utilizar varía de acuerdo con: La disponibilidad de materiales en la región, condiciones económicas, necesidades de captación y caudal del lixiviado. La función del material filtrante es evitar el paso de las partículas mas finas del suelo protegido y permitir la filtración rápida del agua. Para evitar la migración de finos del filtro hacia las tuberías de drenaje se recomienda que el material filtrante no posea más del 5% de finos que pase la malla 200.

Existe una variedad de subdrenes interceptores en la Figura 19 se presentan algunos de ellos.

**Figura 19. Sistemas de subdrenes de Zanja.**



- Zanjas: Son mecanismos localizados en el pie del talud su función es recolectar los flujos superficiales de lixiviado. Estos sistemas se recomiendan solo como control temporal debido a que también recolectan la escorrentía superficial contaminándola, lo que produce un incremento en el caudal de lixiviado y por ende un aumento en los costos de tratamiento, solo es útil como control temporal.

- Bombeo de aguas subterráneas: Su funcionamiento esta basado en la creación de un cono de depresión debajo del botadero para prevenir que el lixiviado migre con el agua subterránea fuera del límite del sitio, usando pozos profundos de extracción localizados por debajo del botadero o sobre el gradiente descendente del agua subterránea. Es aplicable para el saneamiento de rellenos sanitarios y botaderos de basuras a cielo abierto que experimentan migración subsuperficial de lixiviado en el sistema de flujo de agua subterránea, conduciendo los lixiviados a un sistema de tratamiento. Debido a que los costos de bombeo son muy elevados es un sistema poco usado.

**Sistemas de control de erosión.** Los problemas de erosión son muy comunes en los sitios de disposición final de residuos sólidos, la erosión puede degradar la cobertura como consecuencia aumenta la infiltración lo que conlleva a un incremento en la generación de lixiviados. Algunas medidas para prevenir la erosión son:

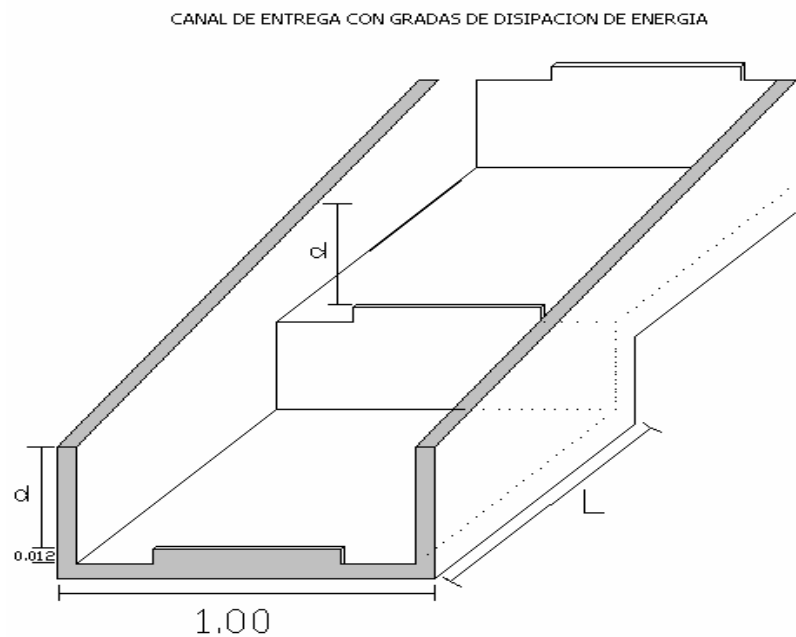
- Revestimiento de los canales: Es una técnica utilizada para prevenir la erosión excesiva, se puede emplear roca, suelo, pasto, asfalto etc.

- Control de nivelación del canal: Reduce la velocidad del flujo a niveles no erosivos, usados para canales artificiales o naturales que experimentan

velocidades de flujo muy elevadas debido a la presencia de pendientes abruptas.

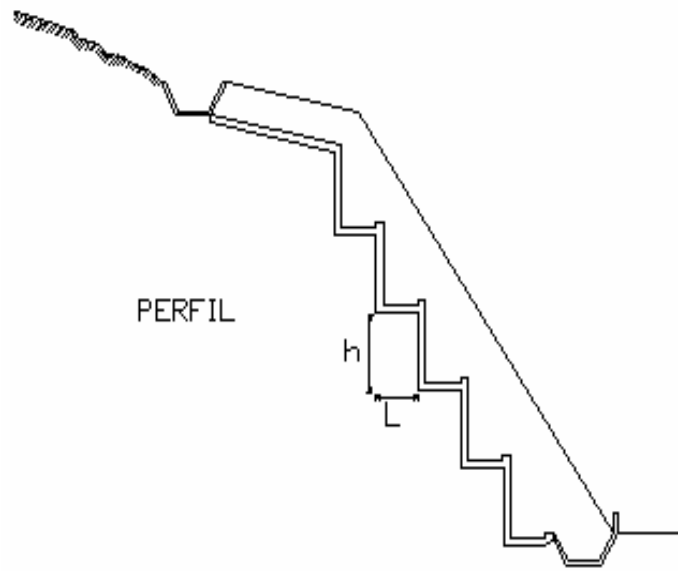
- Realineación del canal: Altera la alineación del canal para mejorar la estabilidad de la base y los taludes del canal, es aplicable a los canales naturales que experimentan erosión por cambios del lecho o por otras causas.
- Disipadores de energía: Reducen la velocidad del flujo y la energía de las descargas de los canales, alcantarillas etc., su uso es recomendado para los sitios sujetos a erosión. (Ver Figuras 20 y 21)

**Figura 20. Canal de descarga con gradas de disipación de energía.**



**Figura 21. Perfil Canal de entrega con gradas de disipación de energía.**

PERFIL CANAL DE ENTREGA CON GRADAS DE DISIPACION DE ENERGIA



- Diques y acequias de intercepción: Son estructuras usadas para desviar el flujo de los sitios de altas pendientes y ejercer control sobre las vías de drenaje.
- Cerramiento con cerco vivo: Consiste en diseñar contravientos que impidan la erosión de los taludes. A nivel mundial la vegetación es un mecanismo aceptado para evitar la erosión, los sitios con mayor área de follaje amortigua más eficientemente el golpe de las gotas de lluvia produciendo una reducción en los procesos erosivos. En el Cuadro 14 se presenta un listado de árboles que se reproducen por estaca y que son utilizados para cercas vivas y estabilización de taludes en Santander.

- Preparación de la tierra: Se recomienda una modificación en las propiedades físicas de la tierra por medio de la adición de materiales tales como paja, restos de madera, aserrín, etc., proporcionando una cobertura de protección para disipar la fuerza erosiva de la lluvia y de la escorrentía superficial, para un mejor rendimiento de este sistema se sugiere una combinación con vegetación.
- Terrazas: En las zonas con pendientes abruptas sujetas a escorrentía superficial la inestabilidad producida por los procesos erosivos aumenta, haciéndose necesario el diseño de mecanismos que permitan en gran medida la disminución de estos efectos. La conformación de terrazas permiten la reducción de la escorrentía superficial y forman una superficie plana para sembrar y evitar así el lavado de la tierra. Recomendable solo en suelos cohesivos.
- Cobertura vegetal: Es un mecanismo empleado para proteger la superficie. El conjunto de raíces ayuda a unir las partículas del suelo previniendo así el lavado, refuerzan su estructura y actúan como un sistema de anclaje en las discontinuidades. El golpeteo de las gotas de lluvia ocasionan desprendimiento de las partículas del suelo desprotegido ocasionando procesos erosivos, con la vegetación las gotas de lluvia son detenidas por el follaje y son soltadas lentamente, retardando la acumulación de agua disponible de escorrentía, retrasando varias horas la formación de avenidas y reduciendo la intensidad, con lo que se refleja la importancia de mantener un suelo debidamente protegido y forestado.

**Cuadro14. Árboles utilizados para cercas vivas y estabilización de taludes<sup>28</sup>**

Nombre Común	Nombre Científico	Distancia de Plantación
Aliso	<i>Alnus jorullensis</i>	2 a 3m
Anaco	<i>Erythrina poeppigiana</i>	2 a 3m
Aro	<i>Trichantera gigante</i>	1,5 a 3m
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	1,5 a 3m
Balso	<i>Ochroma pyramidale</i>	2 a 3m
Búcaro	<i>Erythrina fusca</i>	2 a 3m
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	2 a 3m
Chachafruto	<i>Erythrina edulis</i>	1,5 a 3m
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	2 a 3m
Eucalipto globulus	<i>Eucalyptus globulus</i>	2 a 3m
Eucalipto grandis	<i>Eucalyptus grandis</i>	2 a 3m
Guacimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2 a 3m
Gualanday	<i>Jacaranda caucana</i>	2 a 3m
Guamo Macheto	<i>Inga densiflora</i>	1,5 a 3m
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	1,5 a 3m
Matarratón	<i>Gliricida sepium</i>	1,5 a 3m
melina	<i>Gimelina arborea</i>	2 a 3m
Nauno	<i>pseudosamanea guachapele</i>	2 a 3m
Pino Oocarpa	<i>Pinus oocarpa</i>	2 a 3m
Pino Pátula	<i>Pinus patula</i>	2 a 3m
Roble	<i>Quercus humboldtii</i>	2 a 3m
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	2 a 3m
Urapán	<i>Fraxinus chinensis</i>	2 a 3m

El sistema es aplicado a pendientes expuestas, canales y otras áreas donde el suelo es susceptible a sufrir procesos erosivos, el clima juega un papel fundamental en la recuperación de las zonas revegetalizadas, durante el proceso de selección de las plantas se debe tener en cuenta que algunas especies pueden ser sensibles al gas que emite el botadero y que se acumula en las raíces, la compatibilidad debe demostrarse antes de sembrar todo el área.

<sup>28</sup> CDMB 1.989

**Control de papeles y plásticos.** En los lugares donde el sistema de disposición final de residuos sólidos sea un botadero de basuras a cielo abierto se debe llevar a cabo previamente a los procesos de compactación, cobertura e impermeabilización la recolección de los papeles y plásticos con el fin de facilitar las actividades relacionadas con el cierre.

**Compactación de residuos sólidos.** La compactación de los residuos tiene como fin reducir el volumen y aumentar la densidad a través de procesos físicos tales como aplanamiento o aplastamiento. El caso con mayores problemas debido a su inestabilidad es el relacionado con los botaderos de basuras a cielo abierto, el proceso se debe llevar a cabo haciéndose una distribución uniforme de los desechos sobre la zona, la superficie superior debe nivelarse y compactarse con rodillo y las superficies laterales con pisonos de mano.

**Impermeabilización y Cobertura.** Tienen como fin aislar la basura de su entorno, impidiendo la salida indiscriminada de gases hacia el exterior, imposibilitando la infiltración de aguas de escorrentía hacia los cuerpos de basura o actuando de barrera protectora ante la acción de animales. El espesor de la cubierta depende en gran medida de las condiciones climáticas de la zona, el espesor aumenta si existe alta pluviosidad y disminuye en caso contrario. El perfil de la cobertura debe contar con los siguientes sistemas:

- Sistemas de recolección de gas: Pueden usarse pozos verticales de gravas, colchones recolectores, drenes de grava en trinchera, los gases deben ser dirigidos a la cubierta a través de tubos de venteo. Esta capa debe localizarse bajo el estrato impermeable y sobre el residuo compactado.
- Capa de arcilla o barrera de control de infiltración: Colocar una capa de suelo con un espesor mínimo de 0.45m preferiblemente de material arcilloso

que tenga una permeabilidad máxima de  $10^{-5}$ cm/seg, debe compactarse hasta lograr como mínimo el 95% de la densidad máxima del Proctor Estándar y el 90% de la densidad máxima del Proctor Modificado, como medida de control se deben revisar los asentamientos producidos al cabo de un mes.

- Capa de geomembrana para control de infiltración: En los sistemas en los que la capa de arcilla compactada presentan deficiencia se recomienda el uso de geomembranas sintéticas las cuales deben tener excelente resistencia química y juntas confiables. El diseñador debe asegurarse que el material seleccionado para la geomembrana cumpla con los requisitos de compatibilidad química entre el lixiviado y la geomembrana en el corto y largo plazo, de tal forma que no sufra deterioro en sus características mecánicas por reacciones con el líquido que la inhabiliten para cumplir su función. La superficie de la zona donde se va a instalar debe ser plana, fuerte y lisa para que proporcione un soporte continuo a la geomembrana. Para la instalación de la geomembrana se requieren buenas condiciones climáticas y superficies completamente limpias, en el momento de llevar a cabo las juntas se debe asegurar que la temperatura ambiente oscile entre 5 °C y 40 °C y que no exista polvo.<sup>29</sup> La evaluación de los parámetros físicos, mecánicos y resistencia química de las geomembranas pueden verificarse en las normas ASTM, en el Cuadro15 se presenta un resumen de las principales propiedades. En el Cuadro16 se presenta los valores de los parámetros físicos y mecánicos realizados a geomembranas sintéticas de polietileno de alta densidad.

---

<sup>29</sup> RAS-2000, Sistemas de Aseo urbano

**Cuadro 15. Normas ASTM para geomembranas<sup>30</sup>**

Propiedades	Norma ASTM
<b>FISICAS</b>	
Espesor	ASTM D5 199-95
<b>MECANICAS</b>	
Resistencia	ASTM D4885-88
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833-88 ó D 5494-93
Fricción en la interfase entre la geomembrana y otro geosintético o suelo	ASTM D5321-92
Agrietamiento	ASTM D5397-95
<b>RESISTENCIA QUIMICA</b>	
Resistencia a los líquidos	ASTM D5747-95a
Resistencia al lixiviado	EPA Método 9090 ó ASTM D5747-95a

**Cuadro 16. Especificaciones técnicas de geomembrana con polietileno de alta densidad<sup>31</sup>**

Propiedades		Unidad	Valor
Densidad	DIN 53479 ASTM D 792	g/cm <sup>3</sup>	0,940-0,964
Resistencia a la tensión (Punto de rotura)	DIN 53515	N/mm <sup>2</sup>	> 24
Elongación (Punto de rotura)	DIN 53515	%	> 600
Resistencia (Deformación plástica)	ASTM D 638 DIN 53455	N/mm <sup>2</sup>	> 17
Elongación (Deformación plástica)	ASTM D 751	%	> 19
Resistencia (Propagación de Rasgado)	ASTM D 1004 DIN 53515	N/mm <sup>2</sup>	> 130
Coefficiente de Dilatación Lineal	UNI 8202-20 DIN 53328	Mn/°C	2,2 X 10

- Capa de drenaje: Debe localizarse en algunas partes del sistema de cubierta con pendientes mayores que la relación 5H:1V. Esta capa debe retener la humedad que se infiltra de la capa de control de erosión y que se

<sup>30</sup> RAS-2000, Sistemas de Aseo urbano

<sup>31</sup> Diseño de Rellenos Sanitarios, Héctor Collazos Peñalosa

acumula sobre la capa de infiltración, evitando el deslizamiento de la capa de control de erosión por presiones excesivas de poros. El material de esta capa debe ser un agregado limpio de tamaño uniforme y debe cumplir con los siguientes requisitos:  $D_{85} < 4 * D_{15}$  y  $D_2 < 0.25cm$  . Debe diseñarse de manera que la descarga del flujo vaya en dirección lateral.

- Capa de control de erosión o capa orgánica: Sobre la base del suelo se colocará una capa con un espesor mínimo de 0.15m de material limoso que sirva como sostén de la vegetación típica local, el espesor de esta capa debe ser evaluado usando un análisis de balance hídrico que proporcione la humedad necesaria para las plantas durante el periodo de sequía, las pendientes máximas permitidas son 4H:1V
- Capa de vegetación: Se debe instalar una capa de vegetación típica de la zona, esta capa tiene como funciones: Interceptar la lluvia, aumentar la capacidad de infiltración del suelo, extraer la humedad del suelo, evitar grietas por desecación, brindar estabilidad por medio de las raíces que refuerzan, anclan y retienen las partículas del suelo, restaurar el medio edáfico, recuperar el paisaje y la estética, entre otros factores.

**Estabilización física del sitio.** Después de ejecutadas las obras de delimitación, impermeabilización, cobertura y control del botadero se procede a realizar las actividades concernientes a la estabilización física del sitio, para lo cual se debe llevar a cabo los siguientes procedimientos:

- Caracterización de los residuos: Es necesario determinar el comportamiento mecánico de los residuos, estableciendo los parámetros de fricción y cohesión, definidos mediante pruebas de laboratorio o de campo

asumiendo un factor de seguridad mínimo de 1.5<sup>32</sup>, la composición del residuo por medio del cálculo del peso específico teniendo en cuenta factores tales como: compatibilidad, contribución de la cubierta y humedad de absorción del residuo. La resistencia la corte del residuo puede calcularse utilizando el criterio de falla modificado de Coloumb. Para una mayor homogeneidad se recomienda el ensayo de varias muestras de tamaño representativo de manera que las pruebas no varíen en un rango amplio debido al contenido de suelo.

- Cortante a lo largo de las interfases: La estabilidad debe estar expresada en términos del factor de seguridad contra deslizamiento a lo largo de la interfase, de las capas y cubiertas formadas por geomembranas, geotextiles y drenajes usados en conjunto en materiales térreos. Si la fricción en la interfase no es adecuada para asegurar la estabilidad, la cubierta de suelos debe ser reforzada con geotextiles de alta resistencia.
- Métodos de análisis de estabilidad: La estabilidad en un relleno sanitario o botadero de basura debe definirse en términos del factor de seguridad, expresado como:

$$FS = \frac{\text{Resistencia Disponible en la Superficie de Falla}}{\text{Fuerzas Motoras en la Superficie de Falla}},^{33}$$

Para evaluar el factor de seguridad pueden emplearse software para estabilidad de taludes. El análisis de estabilidad debe involucrar la evaluación de las propiedades del residuo y del suelo, los niveles de lixiviado, la generación de gases, además debe involucrar las variables sísmicas teniendo en cuenta la aceleración máxima presentada en el sitio según la NSR-98.

---

<sup>32</sup> RAS-2000, Sistemas de Aseo Urbano

<sup>33</sup> RAS-2000, Sistemas de Aseo Urbano

**Sistemas de control de propagación de enfermedades (control de roedores, insectos y vectores).** Con la compactación y posterior cobertura de los residuos sólidos se elimina en gran parte el problema de propagación de enfermedades. Sin embargo es necesario mencionar que cuando se comienzan las obras de saneamiento se puede presentar migración de roedores e insectos a los terrenos aledaños buscando un hábitat similar, para el manejo de estos desplazamientos se deben efectuar programas de eliminación de roedores con raticidas y venenos especiales.

**Sistemas de control de olores.** Los procesos de compactación y cobertura solucionan en gran medida la producción de olores. Se recomienda para mitigar los malos olores durante los procesos de ejecución de obras de cierre el adiconamiento de cal viva sobre la basura seca, zonas húmedas con lixiviados y sobre las corrientes de lixiviados

**Medidas de erradicación y control de incendios.** La erradicación de incendios es la primera medida que se debe llevar a cabo en el proceso de cierre de un botadero de basura, para apagar un gran incendio se deben tener en cuenta los siguientes procedimientos:

- Ubicar en un plano los sitios vulnerables
- Identificar la dirección de los vientos
- Cortar la alimentación de oxígeno que contribuye a la formación de fuego
- Proteger la infraestructura existente

- Aislar el incendio por medio de la colocación de material de cobertura suficiente entre el material que se está quemando y el que aún no se ha incendiado.
- Utilización de tierra: Es una medida recomendada por su economía, consiste en traer tierra al sitio del incendio y regarla en capas que varían entre 0.2m a 0.6m las cuales deben ser compactadas de inmediato con el objetivo de quitar terreno al incendio, el éxito de esta técnica consiste en mantener compactada y controlada la zona apagada.
- Utilización de basuras antiguas: Para erradicar incendios se permite el uso de basuras antiguas, se recomienda el uso de capas con espesores mínimos de 0.6m y compactadas con unas 7 pasadas de buldózer.
- Utilización de agua para enfriar la basura: Es un sistema basado en el uso de agua para humedecer los residuos y evitar la propagación del fuego. Una vez controlado el incendio se debe compactar la basura para evitar que se propague el fuego nuevamente.

**Control de animales grandes.** Una vez construido el cerco perimetral se impide el ingreso de animales grandes a las áreas que se encuentran en saneamiento, estas restricciones están sustentadas en la erradicación de toda fuente que perturbe el normal desarrollo de las actividades concernientes al proceso de clausura.

**Selección del equipo mecánico para la ejecución de las obras.** Teniendo en cuenta la complejidad de las obras a ejecutar en el proceso de clausura se hace la selección de la maquinaria y herramientas como retroexcavadoras, pisonos, volquetas, rodillos de compactación y demás

herramientas menores necesarias para llevar a cabo el saneamiento y cierre del lugar.

**Recuperación paisajística.** Es la etapa final del diseño de obras para clausura, esta relacionada con el retorno de la región afectada a su estado natural, entre otros factores a mejorar se tienen: Suavización de las pendientes, relleno de las depresiones y revegetalización en donde se ha encontrado que generalmente se usan pastos dejando a un lado los arbustos, árboles etc., por regla general nunca debe plantarse una sola especie sino una sucesión de variedades de tal forma que se recupere el sistema vegetativo original. Para la selección de las plantas se debe recurrir a expertos forestales con el fin de escoger la especie de pasto, hierba, arbusto o árbol que se debe utilizar para cada caso específico. Las especies vegetales deben seleccionarse tomando en cuenta las condiciones del suelo, disponibilidad de agua, nutrientes, PH, clima, regulaciones gubernamentales, etc.

A continuación se presenta un breve procedimiento de la forma como se debe llevar a cabo las labores de revegetalización. Las estacas deben ser generalmente, de uno a tres centímetros de diámetro y de 60 centímetros a un metro de longitud, la parte superior de la estaca debe cortarse normal al eje y la parte inferior en forma de punta para facilitar su inserción. Se recomienda las siguientes instrucciones para su instalación: Clavar la estaca normal a la superficie utilizando martillos de caucho, para garantizar un cubrimiento adecuado en corto tiempo se recomienda la instalación de tres a cuatro estacas por metro cuadrado, las dos terceras partes de la estaca deben estar enterradas<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, Jaime Suárez Díaz

**Seguimiento y monitoreo.** Los planes de monitoreo tienen por objeto detectar algunos parámetros ambientales que pueden ocasionar daños a la salud o al medio ambiente. Estos parámetros son: ruido, radiactividad, biogás, partículas suspendidas totales, partículas viables o aerotransportadas y lixiviados, dentro y fuera del vertedero. El programa de seguimiento y monitoreo, permite la revisión del correcto funcionamiento del sistema de saneamiento y clausura. Los resultados obtenidos con el monitoreo facilitan el planteamiento de programas de mantenimiento preventivo y correctivo.

En primer lugar se debe hacer la selección de sitios de monitoreo, donde para cada variable a monitorear (agua subterránea, lixiviado y biogás, etc.), se define el número y sitio preciso de puntos de monitoreo ambiental, igualmente se deben detallar los requerimientos de infraestructura para los puntos seleccionados (dimensiones, materiales, calidad de acabado, soportes, etc.). Se recomienda como mínimo la adecuación de los siguientes sistemas de monitoreo:

- **Monitoreo de lixiviados:** Debe tenerse registros semanales de medición de caudales, aumentos y disminuciones excesivas en la producción de lixiviado con respecto a la tendencia observada deben investigarse para determinar su causa. En caso de tratarse de una obstrucción del sistema de drenaje y conducción, deben tomarse las acciones necesarias para evitar la acumulación del líquido dentro del relleno, si se trata de aumento, la posible causa es la infiltración de agua lluvia, lo que obliga a una revisión en el sistema de impermeabilización o los drenajes superficiales. El programa de monitoreo de lixiviados debe extenderse hasta un periodo en el cual se garantice que los residuos sólidos depositados se han estabilizado, asegurando que todos los contaminantes generados en este tiempo son controlados.

En condiciones normales el lixiviado se encuentra en el fondo del vertedero. Normalmente el movimiento del líquido es vertical a través del estrato inferior, especialmente en vertederos sin impermeabilización del fondo, aunque también puede producirse dispersión lateral, según las características del material circundante. La filtración vertical es la situación más delicada debido a la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a sufrir contaminación.

Para calcular la velocidad de filtración de los lixiviados del fondo del vertedero se emplea la ecuación de Darcy:

$$Q = -K * A * \frac{dh}{dl}$$

Donde,

$Q$  = Descarga de lixiviado por unidad de tiempo.  $\frac{m^3}{año}$ .

$K$  = Coeficiente de permeabilidad,  $\frac{m^3}{m^2 * año}$

$A$  = Área en perfil a través de la cual corre el lixiviado,  $m^2$

$\frac{dh}{dl}$  = Gradiente hidráulico,  $\frac{m}{m}$

$l$  = Longitud del camino de flujo,  $m$

$h$  = Pérdida de carga,  $m$

El Cuadro17 presenta valores típicos del coeficiente de permeabilidad para varios tipos de suelos.

**Cuadro 17. Coeficientes típicos de permeabilidad para varios tipos de suelos<sup>35</sup>**

MATERIAL	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD, K	
	m/d	l/m*d
Arena gruesa uniforme	406	405779
Arena mediana uniforme	100	101343
Arena y grava bien graduadas y limpias	100	101343
Arena fina uniforme	4	4074
Arena de lodo y grava bien graduadas	0,4	392
Arena de lodo	0,1	89,54
Lodo uniforme	0,04	48,84
Arcilla arenosa	0,004	4,8
Arcilla de lodo	10	8,9
arcilla (tamaños de arcilla del 30 al 50%)	10	8,9
Arcilla coloidal	0	8,9

En la estimación de la filtración vertical de lixiviado se pueden presentar dos problemas: El análisis se basa en el supuesto de tener una celda de vertedero dentro de un acuífero superficial formado por un material de una permeabilidad moderada, el cual yace sobre un acuífero de lecho de roca, en esta situación es posible tener dos niveles piezométricos de agua si se colocan dos pozos dentro del acuífero superficial y el de lecho de roca. Con respecto al movimiento del lixiviado se pueden dar dos situaciones interesantes, la primera es la velocidad con que el lixiviado se filtra desde el fondo del vertedero hasta el agua subterránea en el acuífero superficial, la segunda es la velocidad con que las aguas subterráneas provenientes del acuífero superficial entran en el acuífero sobre lecho de roca. Para el cálculo de estas velocidades se utilizan las siguientes expresiones:

<sup>35</sup> Manejo Integral de Residuos Sólidos, Tchobanoglous

Para la primera situación, la tasa de flujo de lixiviación del vertedero al agua subterránea superior se calcula suponiendo que el material que se encuentra entre el fondo del vertedero y la cima del nivel freático esta saturada, y que existe una pequeña capa de lixiviado en el fondo del vertedero. Bajo estas condiciones la ecuación de Darcy quedaría:

$$Q\left(\frac{m^3}{año}\right) = -K\left(\frac{m^3}{m^2 * año}\right) * A(m^2) * \frac{h_i(m)}{L_i(m)}$$

Pero como  $h_i = L_i$  entonces

$$Q\left(\frac{m^3}{año}\right) = -K\left(\frac{m^3}{m^2 * año}\right) * A(m^2)$$

Suponiendo que el flujo se produce a través de  $1,0m^2$ , entonces:

$$Q\left(\frac{m^3}{año}\right) = -K\left(\frac{m^3}{m^2 * año}\right) * (m^2)$$

Por lo que la descarga de lixiviado por unidad de área es igual al valor de  $K$  multiplicado por la unidad de superficie en metros cuadrados.

Para la segunda situación, la tasa de movimiento del agua desde el acuífero superior hasta el acuífero inferior se daría por la siguiente ecuación:

$$Q\left(\frac{m^3}{año}\right) = -K\left(\frac{m^3}{m^2 * año}\right) * A(m^2) * \frac{h_i(m)}{L_i(m)}$$

En este caso, el espesor de la capa confinadora se utiliza para determinar el gradiente hidráulico.

Los valores obtenidos representan la cantidad máxima de filtración que podría presentarse en cada caso, pudiéndose usar para el diseño.

Para el monitoreo de los lixiviados se deberán tomar muestras para análisis de laboratorio de los siguientes componentes: pH, color, olor, temperatura, turbiedad, DBO<sub>5</sub>, DQO, COT, alcalinidad total, dureza total, sólidos

suspendidos, sólidos disueltos, sólidos totales, cloruros, sodio, potasio, nitratos, nitritos, amonio, cianuro, fosfatos, metales pesados, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, coliformes totales y fecales, entre otros.

El número y ubicación de los puntos de muestreo, frecuencia y forma de muestreo, las técnicas para conservación de las muestras para su transporte al laboratorio, el procesamiento estadístico de la información obtenida y presentación de reportes deben definirse acorde al tamaño de cada proyecto.

- **Monitoreo del biogás:** El programa de monitoreo y control del biogás debe extenderse hasta un período en el cual se garantice que los residuos sólidos depositados en el relleno se han estabilizado. Para el monitoreo de biogás, se debe instalar un dispositivo dentro del perímetro clausurado y otro a una distancia radial de 50, 100 y 150 metros del sitio en donde se deberán tomar muestras de aire para determinar la calidad y posible contaminación por biogás.

Los parámetros a analizar para tomas de biogás en el sitio serán: Metano, bióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno y partículas suspendidas y los parámetros a analizar para tomas fuera del sitio son: Metano y nivel de explosividad. De los resultados obtenidos se analizará si conviene determinar otros parámetros que puedan estar en condiciones elevadas y presentar peligro para los sectores aledaños habitados.

La frecuencia de monitoreo, número de muestras a tomar en cada ocasión y procedimientos para realizar esta acción (incluyendo el material y los reactivos que fuere necesarios), número de puntos de muestreo, forma de procesamiento estadístico de la información obtenida y presentación de reportes deben definirse de acuerdo al tamaño del proyecto.

- Monitoreo de aguas superficiales y subterráneas: Debe establecerse un programa de monitoreo de la calidad del recurso hídrico, para lo cual se debe considerar los siguientes aspectos: Calidad del recurso hídrico en la zona antes del inicio de los trabajos, estudios hidrogeológicos, diseño de la red de monitoreo de aguas subterráneas, estaciones de muestreo en los cursos de aguas superficiales aledañas, determinación de la frecuencia del muestreo, control del líquido percolado (composición y cantidad), recopilación y análisis de los datos obtenidos<sup>36</sup>. El procedimiento para realizar el monitoreo debe estar basado según la guía Técnica GTC 30 y las Normas NTC-ISO 5667-6 y NTC 5667-11, del Instituto Técnico Colombiano de Normas Técnicas, INCONTEC. El monitoreo sobre la calidad de las aguas subterráneas es una medida indirecta de la eficacia de los sistemas de impermeabilización lograda con una buena cobertura final, la cual minimiza o impide (en caso de usar geomembrana) la entrada de agua al vertedero saneado, reduciendo la posibilidad de contaminación de acuíferos por lixiviados.

Los parámetros mínimos a analizar son: pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, alcalinidad, sólidos suspendidos y disueltos, metales pesados, oxígeno disuelto, materia orgánica, amoníaco, nitritos y nitratos. En caso de que alguno o varios de estos parámetros alcancen valores por arriba de las normas aceptadas para fuentes de agua potable, se procederá a hacer un análisis más completo de parámetros, similar al recomendado para lixiviados.

Se ubicarán dos sitios como mínimo para la toma de muestras de agua subterránea, el primero, aguas arriba del vertedero, el segundo aguas abajo (los dos dentro de la zona saturada); así mismo se definirá un sitio de monitoreo de la zona no saturada, dentro de la zona que comprende el vertedero. Se diseñará la frecuencia y toma de muestreo, preservación de muestras para llevarlas a laboratorio, el procedimiento estadístico de información y la entrega de los reportes.

---

<sup>36</sup> RAS-2000, Sistemas de Aseo Urbano

- Sistemas de monitoreo de contaminación del suelo: Los lixiviados producidos en un relleno sanitario pueden llegar a comprometer seriamente las propiedades fisicoquímicas de los suelos; en el transcurso de los lixiviados hacia los cuerpos de agua subterránea, afectan negativamente la calidad del suelo de la zona. Por esto, se debe poner especial cuidado en el aspecto de monitoreo de la calidad de los suelos en el vertedero y su zona de influencia. Los parámetros a estudiar son: Color, olor, temperatura, pH, alcalinidad, nitritos, nitratos, amonio, fosfatos, cianuro y metales pesados (Ni, Pb, Cd, Hg, Cr).

Se definirán, al igual que en los casos anteriores, la frecuencia de monitoreo, la ubicación y el número de sitios donde se tomarán las muestras, los procedimientos a efectuar y las medidas de prevención a implementar. De acuerdo al costo de los monitoreos de las variables anteriores (lixiviado, biogás, agua subterránea, suelo), o luego del primera etapa de monitoreo, se podrán eliminar o cambiar algunos análisis y parámetros listados, en virtud de que no hayan estado presentes en las muestras tomadas o que simplemente están por debajo de los límites permitidos y no causan amenaza para la salud humana ni para el equilibrio del ecosistema aledaño al vertedero saneado.

- Monitoreo de las áreas reforestadas: Para el monitoreo y control de las condiciones sanitarias y fitosanitarias de las áreas reforestadas, se deben llevar a cabo los siguientes procedimientos: Verificación constante del desarrollo de las zonas reforestadas, prevención y control de plagas.
- Monitoreo de vectores: Un vector es toda aquella fauna nociva para la salud humana, por ser el medio (vector) para la transmisión de enfermedades. Con el fin de asegurar que el vertedero ha sido adecuadamente clausurado, se deberá llevar a cabo un monitoreo y control de vectores, en el que se especificará la periodicidad de los muestreos para detección y estimación cuantitativa de las especies. Igualmente, se deberá incluir los métodos de

control a emplear; en el caso de roedores, los métodos mas usados incluyen trampas mecánicas, uso de enemigos naturales, eliminación de las áreas descubiertas de residuos sólidos y limpieza del sitio. En caso extremos se recomienda el uso de venenos, ya que requieren de estrictas medidas de seguridad; en el caso de insectos, las medidas más comunes son el mantenimiento y limpieza del sitio, el uso de insecticidas (teniendo en cuenta el ciclo reproductivo), y trampas físicas (papel engomado). El uso de insecticidas esta restringido por medidas de seguridad.

- Monitoreo de los asentamientos: Debido a que los residuos sólidos sufren procesos de descomposición biológica aerobia o anaerobia, así como compresión física por la carga que soporta de los estratos superiores de residuos (incluyendo también la cubierta final), se tiene que la topografía final de un vertedero sufre modificaciones con el paso del tiempo, lo cual se manifiesta con la formación de hundimientos, desniveles, depresiones, y otros.

Los casos de mayor atención están relacionados con aquellos vertederos en los que su uso final requiere de la construcción de obras de infraestructura, como ejemplo, cuando un terreno se destina para canchas deportivas, pueden sufrir desniveles o hundimientos que imposibiliten la práctica del deporte. Igualmente las construcciones civiles (caseta de vigilancia, portones, sanitarios, etc.), pueden correr riesgos en su cimentación o sufrir hundimientos.

Para evitar estos problemas y poder tomar las medidas pertinentes con la debida anticipación, se elaborará un plan de monitoreo de los asentamientos diferenciales en la zona comprendida por el vertedero. Para ello se recomienda la colocación de monumentos de control en un número específico de puntos dentro del relleno saneado. El monitoreo especificará cómo llevar el registro periódico de lecturas de los asentamientos y su

interpretación, así mismo, indicará los principales lineamientos a seguir en caso de asentamientos importantes.

**4.2.2 Programa de ejecución de obras de clausura y presupuesto.** El cuadro 18 muestra el programa de ejecución de obras de clausura y presupuesto.

**4.2.3 Programa de posclausura.** Este periodo tiene una duración aproximadamente de 30 años y para ello se debe como mínimo cumplir con las siguientes etapas:

- Mantener la integridad de la cobertura y control de erosión: El control de erosión incluye el mantenimiento rutinario de la vegetación, control de las aguas de infiltración y de escorrentía, reparación de los efectos de subsidencia.
- Mantener y operar los sistemas de monitoreo de la producción de lixiviado. Mantener en buen funcionamiento los mecanismos para la medición de caudales de lixiviados, llevando informes sobre el aumento o disminución en su producción, en botaderos de basura a cielo abierto debe hacerse con una frecuencia semanal; en botaderos de basura a cielo abierto se debe realizar ensayos de laboratorio de los siguientes parámetros: pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, alcalinidad, sólidos suspendidos y disueltos, metales pesados, oxígeno disuelto, materia orgánica, amoníaco, nitritos y nitratos, con el fin de determinar la carga contaminante real, una vez ejecutadas las labores de saneamiento y clausura.
- Monitorear las aguas subterráneas: Los parámetros a determinar y su frecuencia de muestreo en el programa de monitoreo aparece en el Cuadro 19.

**Cuadro 18. Cuadro resumen de actividades de obra.**

ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
CAMPAMENTO	■																			
CERRAMIENTO	■	■	■	■																
VALLA	■																			
VÍAS DE ACCESO	■	■	■																	
CASETA DE VIGILANCIA	■	■																		
CASETA DE CONTROL TECNICO	■	■																		
DESVÍO Y CONTROL DE AGUAS LLUVIAS	■	■	■	■																
SISTEMA DE MITIGACION, CAPTACION, TRATAMIENTO Y CONTROL DE GASES					■	■	■	■	■	■										
SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE LIXIVIADOS					■	■	■	■	■											
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS					■	■	■	■	■											
SISTEMAS DE MITIGACIÓN DE PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS					■	■	■	■												
SISTEMAS PARA IMPEDIR MIGRACIÓN DE LIXIVIADOS					■	■	■	■												
SISTEMAS DE CONTROL DE EROSIÓN										■	■	■								
CONTROL DE PAPELES Y PLASTICOS	■	■																		
IMPERMEABILIZACION Y COBERTURA													■	■	■	■				
ESTABILIZACION FISICA													■	■	■	■				
SISTEMAS DE CONTROL DE OLORES	■	■																		
SISTEMAS DE CONTROL Y PROPAGACIÓN DE ENFERMEDADES	■	■																		
SISTEMAS PARA RECUPERACION EDAFICA Y PAISAJISTICA															■	■	■	■		
SISTEMAS DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO															■	■	■	■		
INTEGRACION DEL AREA CON LA COMUNIDAD																			■	■

**Cuadro 19. Parámetros y frecuencia de muestreo del monitoreo de acuíferos<sup>37</sup>**

<b>Parámetros</b>	<b>Frecuencia</b>
PH	Semestral
Conductividad Eléctrica	Semestral
Oxígeno Disuelto	Semestral
Metales Pesados	Semestral
DQO	Semestral
DBO	Semestral
Materia Orgánica	Semestral
Amoníaco	Semestral
Nitritos	Semestral

- Mantener vigilancia sobre el funcionamiento de los sistemas de control de emisión de gases: Los parámetros a determinar y su frecuencia de muestreo en el monitoreo de biogás aparece en el Cuadro 18

**Cuadro 20. Parámetros y frecuencia del monitoreo de biogás<sup>38</sup>**

<b>Parámetros</b>	<b>Frecuencia</b>
Composición de biogás CH <sub>4</sub> CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Bimestral
Explosividad	Bimestral
Caudal	Mensual

- Monitoreo de las partículas aerotransportadas: El programa de monitoreo de las partículas aerotransportadas deben tomar en cuenta las especificaciones que aparecen en el Cuadro 21.

<sup>37</sup>RAS-2000. Sistema de Aseo Urbano

<sup>38</sup> RAS-2000 Sistema de Aseo Urbano

**Cuadro 21. Parámetros y frecuencia de muestreo de partículas aerotransportadas<sup>39</sup>**

<b>Parámetros</b>	<b>Frecuencia</b>
Partículas Suspendidas Totales	Mensual
Partículas respirables	Mensual

La información obtenida a partir del monitoreo de los impactantes ambientales generados en el vertedero, debe almacenarse en un banco de datos con el fin de analizarla y tomar las medidas adecuadas para su control.

**4.2.4 Asignación de recursos.** Los recursos para la ejecución de las obras son presupuestados por los municipios en los planes de desarrollo.

**4.2.5 Diseño, construcción, control de calidad e interventoría.** El diseño, construcción, control de calidad e interventoría se deben regir por la Resolución No. 1096 de Noviembre 17 de 2000, por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, capítulos X y XI

- **Interventoría:** De conformidad con lo dispuesto por los artículos 334, 365 y 366 de la Constitución Política, que le asignan al Estado la dirección general de la economía y la intervención, por mandato de la Ley, en los servicios públicos, los cuales son inherentes a la finalidad social del Estado, siendo objetivo fundamental el bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población, entre los que se encuentran la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de saneamiento ambiental y de agua potable, para la ejecución de obras y/o diseños propios del sector, será

---

<sup>39</sup> RAS-2000 Sistema de Aseo Urbano

obligatoria la interventoría permanente o transitoria. En este caso, la interventoría deberá ser adelantada por funcionarios dependientes laboralmente de la entidad contratante o ejecutora de la obra y/o diseño, o por personas naturales y/o jurídicas independientes laboralmente de la entidad contratante o ejecutora. De todas maneras estas personas deberán reunir la idoneidad, experiencia y calidades exigidas en el presente Reglamento Técnico. La interventoría tendrá las funciones técnicas y administrativas previstas en el presente Reglamento y será responsable civilmente por la omisión o deficiencia en el desempeño de las mismas, así como por los hechos y omisiones que le fueren imputables y que causen daño o perjuicio a las entidades prestadoras y/o a los usuarios del servicio. La interventoría o revisión de los diseños debe realizarse en los niveles de complejidad medio, medio alto y alto.

- Calidades y requisitos de los diseñadores y de los interventores o revisores de diseño: El diseñador y el interventor o revisor de diseño, deben ser ingenieros civiles, sanitarios o ambientales cuando se trate de diseños hidráulicos sanitarios y ambientales, ingenieros civiles cuando se trate de diseños estructurales o geotécnicos, arquitectos o ingenieros civiles en el caso de diseños de elementos no estructurales, ingenieros mecánicos para las instalaciones mecánicas, ingenieros electricistas para las instalaciones eléctricas o ingenieros electrónicos para los equipos electrónicos. Las personas naturales o jurídicas que elaboren proyectos deben contar con profesionales con las calidades antes mencionadas. En todos los casos deben tener matrícula profesional vigente y los requisitos de experiencia que se señalan en el Artículo a continuación.

- La experiencia de los diseñadores y de los interventores o revisores de diseño: Los diseñadores y los interventores o revisores de diseño deben poseer una experiencia mayor o igual a la especificada en el Cuadro 22 en el

ejercicio de la actividad correspondiente al diseño en cuestión, demostrable por trabajos ejecutados directamente o bajo la dirección de un profesional facultado para tal fin, contada a partir de la expedición de la Matricula Profesional.

**Cuadro 22. Experiencia mínima de los diseñadores, interventores y revisores de diseño**

Nivel de complejidad	Diseños hidráulicos y sanitarios	Diseños estructurales	Diseños geotécnicos	Diseños eléctricos, electrónicos y mecánicos
Bajo	1 año	1 año	1 año	1 año
Medio	1 año	1 año	2 años	1 año
Medio Alto	2 años	3 años	4 años	3 años
Alto	4 años	6 años	6 años	4 años

- Directores de construcción. El director de construcción debe ser un ingeniero civil en el caso de la ejecución de obras civiles, un ingeniero civil o sanitario en el caso de obras sanitarias, un ingeniero ambiental para labores ambientales, un ingeniero mecánico para las instalaciones de equipos mecánicos o un ingeniero electricista para las instalaciones eléctricas.
- Experiencia de los directores de construcción: El director de construcción debe acreditar una experiencia mayor a la especificada en el Cuadro 23 en el ejercicio profesional correspondiente a la construcción en cuestión, contados a partir de la expedición de la matrícula profesional, bajo la dirección de un profesional facultado para tal fin.

**Cuadro 23. Experiencia de los directores de la construcción**

Nivel de complejidad	Experiencia mínima
Bajo	2 años
Medio	3 años
Medio Alto	5 años
Alto	6 años

- Interventoría de construcción u operación: Los trabajos de interventoría incluyen las actividades relacionadas con el control administrativo y la revisión técnica de construcción de proyectos, montaje de equipos, suministros llave en mano o interventoría a la operación de sistemas de agua potable y saneamiento básico, según sea el caso.

En los aspectos administrativos el interventor debe supervisar y controlar entre otros: el cronograma de ejecución de la obra y el desarrollo de las actividades programadas, las cantidades de obra contratadas, los costos unitarios, alcance de los proyectos, y el cumplimiento de las condiciones y obligaciones contractuales de los trabajos de construcción u operación.

En los aspectos técnicos el interventor deberá ejercer la supervisión y control que garanticen el correcto cumplimiento de los procedimientos y Normas Técnicas establecidos en el presente Reglamento ya sea para la construcción de proyectos, el montaje de equipos, suministros llave en mano y/o a la operación de los sistemas de agua potable y saneamiento básico cuando esta es contratada por el municipio con un tercero.

- Calidades del interventor: Los interventores deben ser ingenieros civiles, ambientales o sanitarios con matrícula profesional vigente.

Podrán ser personas jurídicas siempre y cuando cuenten con profesionales con las calidades exigidas en esta sección.

- Experiencia del interventor: El interventor debe poseer una experiencia mayor o igual a la indicada en el Cuadro 24, contada a partir de la expedición de la matrícula profesional, demostrable con trabajos de interventoría ejecutados directamente o bajo la dirección de un profesional con experiencia en el área de construcción, en una o varias actividades, como obras civiles,

hidráulicas, ambientales, sanitarias, estructurales, geotécnicas, o en la operación de sistemas de agua potable y saneamiento básico, según el caso.

**Cuadro 24. Experiencia de los interventores**

Nivel de complejidad	Experiencia mínima
Bajo	2 años
Medio	3 años
Medio Alto	5 años
Alto	6 años

- Grados de supervisión de la interventoría técnica: En la construcción de proyectos de acueductos, recolección y disposición de aguas residuales, potabilización, tratamiento de aguas residuales y aseo, se establecen dos grados de Supervisión: Supervisión técnica continua y Supervisión técnica itinerante. El grado de supervisión técnica que se debe emplear está determinado por el Nivel de Complejidad del Sistema y se especifica en el Cuadro 25.

**Cuadro 25. Grado de supervisión técnica según el Nivel de Complejidad del Sistema**

Grado de Supervisión Técnica a Emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
A – Continua			Obligatorio	Obligatorio
B – Itinerante	Obligatorio	Obligatorio		

Adicionalmente, el diseñador hidráulico, sanitario, estructural, o el ingeniero geotecnista, pueden exigir cualquier grado de supervisión técnica según el grado de innovación, complejidad, procedimientos constructivos y materiales especiales empleados, o condiciones en las que la obra la hagan necesaria.

- Alcance de la supervisión de la interventoría técnica: La supervisión técnica debe, como mínimo, cubrir los siguientes aspectos:
  - Control permanente y supervisión técnica de todos los trabajos realizados de manera que se garantice que éstos se llevan a cabo siguiendo los requisitos del presente Reglamento. La supervisión técnica incluye trabajos de construcción, trabajos geotécnicos, trabajos estructurales y en general todos los trabajos técnicos relacionados con el alcance del presente Reglamento.
  - Aprobación del plan de calidad de la construcción de los elementos estructurales y no estructurales cuando su grado de desempeño así lo requiera. Este plan de calidad debe ser propuesto por el constructor.
  - Aprobación del laboratorio, o laboratorios, que realicen los ensayos de control de calidad.
  - Realización de los controles exigidos por el presente Reglamento.
  - Aprobación de los procedimientos constructivos propuestos por el constructor.
  - Exigir a los diseñadores el complemento o corrección de los planos cuando estos estén incompletos, indefinidos, o tengan omisiones.
  - Solicitar al ingeniero estructural o no estructural, hidráulico, geotécnico, sanitario, mecánico o eléctrico, las recomendaciones complementarias a su diseño o estudio cuando se encuentren situaciones no previstas.

- Mantener actualizado un registro escrito de todas las labores realizadas en un libro diario de obra.
  
- Velar en todo momento por la obtención de la mejor calidad de la obra.
  
- Prevenir por escrito al constructor sobre posibles deficiencias en la mano de obra, equipos, procedimientos constructivos, materiales inadecuados, y vigilar para que se tomen los correctivos necesarios.
  
- Recomendar la suspensión de labores de construcción de la obra cuando el constructor no cumpla o se niegue a cumplir con los planos, especificaciones y controles exigidos, informando, por escrito, a las autoridades municipales o distritales que expidieron la licencia de construcción.
  
- Rechazar los elementos estructurales o no estructurales, que no cumplan con los planos y especificaciones previstas por este Reglamento o por las normas referenciadas por este, salvo cuando existan estudios profundos que soporten condiciones aceptables diferentes a las estipuladas en esta propuesta.
  
- Ordenar los estudios necesarios para evaluar la seguridad de la parte o partes afectadas y ordenar las medidas correctivas correspondientes, supervisando los trabajos de reparación.
  
- En caso de no ser posible la reparación, recomendar la remoción o demolición de los elementos de la obra a las autoridades municipales o distritales que expidieron la licencia de construcción.
  
- Expedir la constancia en el artículo siguiente.

- Documentación a emplear por parte de la interventoría técnica: El interventor debe llevar un registro histórico en donde se incluyan todos los controles realizados. El registro escrito comprende, como mínimo, los siguientes documentos:

- Las especificaciones de construcción

- El programa de control de calidad exigido por el supervisor técnico debidamente confirmado en su alcance por las oficinas o dependencias distritales o municipales, o entidades de servicios públicos contratantes y por la compañía o profesional constructor.

- Resultados e interpretación de los ensayos de materiales exigidos por este Reglamento.

- Toda correspondencia derivada de las labores de supervisión técnica incluyendo: las notificaciones del constructor acerca de las posibles deficiencias en los materiales, procedimientos constructivos, equipos, mano de obra, los correctivos ordenados, las contestaciones, informes acerca de las medidas correctivas o tomadas, o descargos del constructor a las notificaciones emanadas por el interventor.

- Los conceptos emitidos por los diseñadores a las notificaciones del supervisor técnico o del constructor.

- Todos los demás documentos que por su contenido permitan establecer que la construcción de los elementos estructurales o no estructurales se realizó de acuerdo con los requisitos referenciados y especificados en este Reglamento.

- Una constancia expedida por el supervisor técnico en la cual manifieste inequívocamente que la construcción de los elementos estructurales y no estructurales fue efectuada de acuerdo con las normas y calidad de los materiales especificados o referenciados por este Título, y que las medidas correctivas tomadas durante la construcción, si las hubiere, llevaron a la obra construida al nivel de calidad y seguridad requerido por este Reglamento. Esta constancia debe ser suscrita además por el constructor y por las oficinas o dependencias distritales o municipales, o entidades de servicios públicos contratantes.

- El supervisor técnico debe entregar como culminación de sus labores una copia del registro escrito a la entidad contratante y a las oficinas o dependencias distritales o municipales, o entidades de servicios públicos contratantes.

- El supervisor técnico debe conservar este registro escrito al menos por 5 años contados a partir de la terminación de la construcción y de su entrega a las oficinas o dependencias distritales o municipales, o entidades de servicios públicos contratantes y al constructor.

- Controles exigidos en la interventoría técnica: El interventor debe realizar dentro del alcance de sus trabajos los que se establecen a continuación:

- Control de planos. El control de planos para los dos grados de supervisión técnica debe consistir, como mínimo, en la constatación de la existencia de todas las indicaciones necesarias para poder realizar la construcción de una forma adecuada con los planos del proyecto. Control de especificaciones.

- El control de las especificaciones de la construcción de la obra debe llevarse a cabo cumpliendo, como mínimo, las especificaciones técnicas

contenidas dentro de la presente norma, y las particularidades contenidas en los planos y especificaciones producidas por los diseñadores, las cuales en ningún caso podrían ser contrarias a lo dispuesto en este Reglamento.

- Control de materiales. El interventor debe exigir que la construcción de la obra se realice utilizando materiales que cumplan con los requisitos generales y con las normas técnicas de calidad establecida y referenciada por este documento. El interventor debe solicitar los certificados de conformidad con las normas correspondientes cuando el Reglamento lo exija. Ensayos de control de calidad durante la construcción. El interventor aprobará al constructor la frecuencia de toma de muestras y el número de ensayos prescritos por esta normativa, que deben realizarse en un laboratorio o laboratorios previamente aprobados por el interventor. El interventor debe realizar una interpretación de los resultados de los ensayos ejecutados definiendo explícitamente la conformidad de los materiales con las normas técnicas exigidas.

- Control de la ejecución. El interventor debe inspeccionar y vigilar todo lo relacionado con cada una de las etapas de ejecución o procedimientos en la construcción, en concordancia con los requisitos de los planos y especificaciones del diseño de la obra, con la ayuda del personal auxiliar, y según el grado de supervisión recomendado. Procedimientos adicionales de control.

- Control de calidad: Se recomienda implantar un programa de aseguramiento de la calidad para la supervisión técnica continua. El interventor debe verificar que el constructor disponga para la obra los medios adecuados de dirección, mano de obra, maquinaria y equipos, suministro de materiales, y en especial de un programa de aseguramiento de calidad que sea llevado a cabo con el fin de:

- Definir la calidad que debe ser alcanzada.
  - Obtener dicha calidad.
  - Verificar que la calidad ha sido alcanzada.
  - Demostrar que la calidad ha sido definida, obtenida y verificada.
- 
- Supervisión geotécnica y estructural: La supervisión geotécnica y estructural debe ejecutarse para todas las actividades de construcción, con todos los requisitos y funciones de la supervisión técnica. Adicionalmente, el supervisor técnico estructural debe cumplir con los requerimientos establecidos por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente; NSR-98, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998 o los decretos que lo reemplacen o complementen. Todos los trabajos relacionados con la supervisión técnica hacen parte integral de los trabajos de interventoría.
  
  - Personal auxiliar profesional y no profesional: Las calificaciones y experiencia requeridas del personal profesional y no profesional, como los inspectores, controladores y técnicos, se dejan a juicio del supervisor técnico, pero deben ser conmensurables con las labores que se le encomienden y el tamaño, importancia y dificultad de la obra.
  
  - La contratación de las obras están regidas por la Ley 80 de 1.993 por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública.

## **5. APLICACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLOGIA**

La propuesta metodológica será aplicada al saneamiento y cierre del botadero de basura del municipio de San Vicente de Chucurí, ubicado en la finca Filadelfia, Vereda la Esmeralda. El vertedero ha funcionado desde hace aproximadamente 12 años, fue concebido inicialmente como relleno sanitario, pero con el paso del tiempo se ha ido convirtiendo en un botadero de basura a cielo abierto, con la consecuente contaminación del ecosistema. Debido a todos los impactos generados a raíz de la inadecuada disposición de los residuos el municipio ha sido sancionado en innumerables ocasiones por la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS), organismo encargado de ejercer el control ambiental en el departamento.

El municipio de San Vicente de Chucurí fue fundado el 7 de septiembre de 1876 por el señor Sacramento Trisancho. Tiene una población censada según el SISBEN de 42.143 habitantes de los cuales 15.233 habitan en el casco urbano, los restantes 26.910 habitantes conforman la población rural.

El municipio de San Vicente de Chucurí se encuentra ubicado en la parte centro occidental del departamento de Santander, limita al Norte con Barrancabermeja y Betulia, al Oriente con Zapatoca y Galán, al Sur con El Carmen y al Oeste con Simacota y Barrancabermeja. Sus coordenadas geográficas son 6° 52' 57" latitud Norte y 73° 24' 46" longitud Occidente (ver Figura 22). Pertenece a la provincia de Mares y está situado a una distancia de 95Km de la capital del departamento de Santander (Bucaramanga), su altura sobre el nivel del mar varía en un rango de 200 a 3.000m, su cabecera municipal se encuentra ubicada a 692m y tiene una temperatura que oscila entre 12° y 27° centígrados.

**Figura 22. Situación geográfica del Municipio de San Vicente de Chucurí<sup>40</sup>**

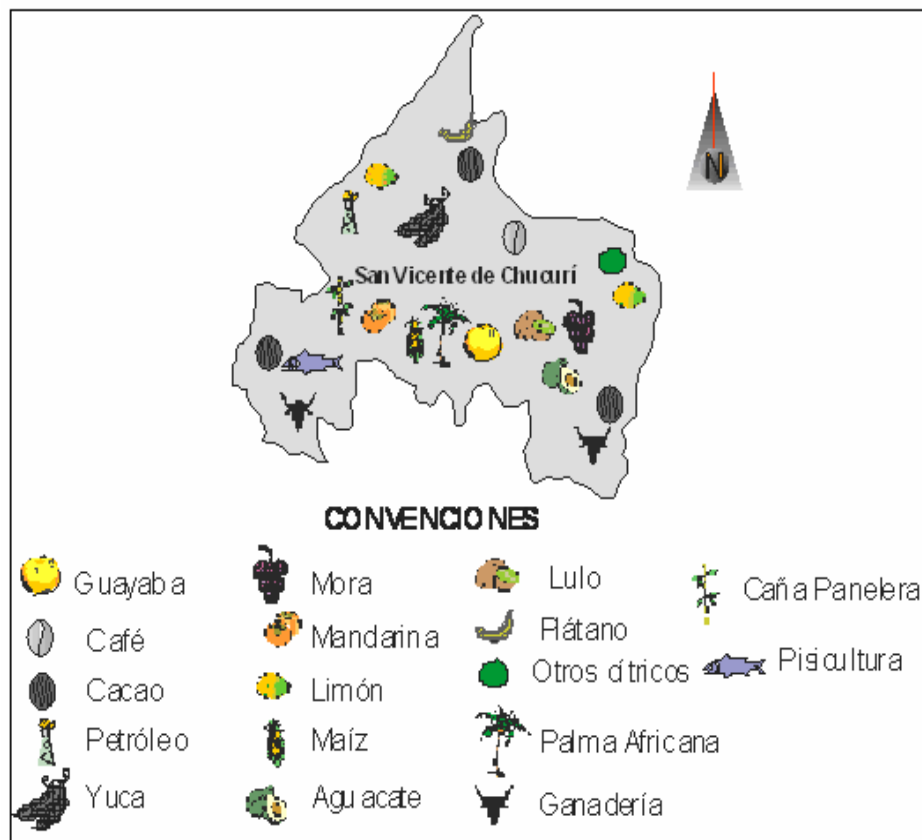


La región posee un alto potencial productivo y gran variedad de suelos orgánicamente aptos para el cultivo de innumerables especies agrícolas de donde se deriva en gran parte el sustento de sus pobladores. Entre los principales productos se encuentran el cacao, el café y los cítricos. Otros renglones de la economía relativamente importantes y que cabe mencionar son la ganadería, el comercio, la piscicultura, la extracción petrolera y la minería (Ver Figura 23); sus tierras son ricas y prósperas y dispone de abundantes fuentes hídricas lo que favorece altamente el desarrollo de las actividades agrícolas y ganaderas.

<sup>40</sup>Plan de Ordenamiento Territorial, municipio de San Vicente de Chucurí (POT)

San Vicente de Chucurí cuenta además con un importante patrimonio paisajístico, histórico y cultural que podría posibilitar en el futuro la explotación turística como complemento de su actividad económica. Entre los sitios de interés natural y patrimonial se pueden citar el Parque Natural Miraflores, en la cabecera municipal; el Estadero Villa Río, sobre el río Chucurí (vereda Palmira), la Cueva de los Aviones en la vereda Cantarranas, el Parque Principal Sacramento Tristancho, la Casa de la Cultura, y el Templo Parroquia Vicente Ferrer.

**Figura 23. Actividad productiva del Municipio de San Vicente de Chucurí<sup>41</sup>**



<sup>41</sup> Plan de Ordenamiento Territorial, municipio de San Vicente de Chucurí, (POT)

## **5.1 FASE DE RECONOCIMIENTO**

**5.1.1 Recopilación de la información.** Es necesario indicar la inexistencia de la mayor parte de la información referente al sitio donde se encuentra ubicado el botadero de basura. (Ver Cuadro 26)

**5.1.2 Visita de reconocimiento.** La información se encuentra consignada en el Cuadro 27.

**5.1.3 Análisis de la Información.** Con la información obtenida en trabajo de oficina (Formato 1) y en el trabajo de campo (Formato 2 visita de reconocimiento) se analiza el sitio destinado como vertedero en el municipio de San Vicente de Chucurí.

### **Estudio de mapas geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos, usos de suelo:**

- Mapas geológicos:

- Descripción geológica: El Área hace parte de la cuenca del Valle Medio del río Magdalena, constituida por rocas sedimentarias del Cretáceo y Terciario. Su cabecera municipal está constituida por un alto porcentaje de terrazas y depósitos aluviales producto de la acción de las corrientes superficiales (Quebrada Las Cruces y otros cauces menores), al Oriente se alzan escarpas que corresponden al relieve más alto del municipio.

- Perfil del suelo: El botadero de basura se encuentra sobre suelo de tipo coluvial con presencia de cantos de areniscas en una matriz arcillosa plástica. En la figura 24 se observa la columna estratigráfica del valle medio del Magdalena y el piedemonte occidental de la cordillera oriental.

**Cuadro 26. Recopilación información general del municipio de San Vicente de Chucurí y del Botadero de Basuras**

TIPO DE INFORMACIÓN	EXISTENCIA		OBSERVACIONES	ANEXOS
	SI	NO		
1 MAPAS Y PLANOS TOPOGRAFICOS				
1,1 Mapas anteriores		X		
1,2 Planos topográficos anteriores		X		
2 MAPAS GEOLOGICOS				
2,1 Descripción geológica				
2,2 Perfil del suelo	X		Datos tomados del PGIRS	Ver figura No 24
2,3 Características físicas del suelo	X			Cuadro26
2,4 Características químicas del suelo	X			Cuadro27
2,5 Profundidad al lecho de roca		X		
2,6 Caracterización del suelo		X		
2,7 Fallas geológicas	X		Datos tomados del PGIRS	
3 MAPAS HIDRGEOLÓGICOS				
3,1 Profundidad del nivel freático		X		
3,2 Localización de zonas de recarga		X		
3,4 Zonas propensas a contaminación	X		Trabajo de campo	
3,5 Áreas de protección ambiental		X		
3,6 Comportamiento de aguas subterráneas		X		
3,7 Calidad de las aguas subterráneas		X		
4 HIDROLOGÍA				
4,1 Corrientes superficiales de agua	X		Datos tomados del PGIRS	Ver Figura25
5 MAPAS DE TIPOS DE SUELOS				
5,1 Tipos de suelo		X		
6 MAPAS DE USO DEL SUELO				
6,1 Usos del suelo	X		Datos tomados del PGIRS	Ver Figura26
7 DATOS DE INFRAESTRUCTURA DEL SITIO				
7,1 Vías de acceso	X		Trabajo de campo	Ver plano No 1
7,2 Caseta de reciclaje	X		Trabajo de campo	Ver Fotografía 9

TIPO DE INFORMACIÓN	EXISTENCIA		OBSERVACIONES	ANEXOS
	SI	NO		
7,3 Disponibilidad de energía eléctrica y agua potable		X		
7,4 Disponibilidad de maquinaria		X		
7,5 Disponibilidad de mano de obra	X		Trabajo de campo	
7,6 Disponibilidad de materiales	X		Trabajo de campo	
8 DATOS SOCIOECONÓMICOS				
8,1 Valor de la tierra	X		PBOT	
8,2 Uso y ocupación de los terrenos	X		PBOT y PGIRS	Ver foto No, 10
8,3 Distancia a centros urbanos	X		PBOT y PGIRS	
8,4 Distancia a fuentes superficiales de agua	X		Trabajo de campo	Ver plano No 1
8,5 Años de uso del botadero	X		PBOT y PGIRS	
9 FOTOGRAFIAS				
9,1 Áreas		X		
9,2 Terrestres	X		PBOT y PGIRS	Ver foto No 11, 12 y 13
10 ESTUDIOS EXISTENTES DE IMPACTO				
10,1 Al suelo		X		
10,2 Al agua		X		
10,3 Al aire		X		
10,4 Al hombre		X		
11 VARIABLES HIDROCLIMATICAS				
11,1 Precipitación máxima			PBOT y PGIRS	
11,2 Precipitación mínima			PBOT y PGIRS	
11,3 Precipitación media anual		X		
11,4 Temperatura Máxima	X		PBOT y PGIRS	
11,5 Temperatura mínima	X		PBOT y PGIRS	
11,6 Evapotranspiración	X		PBOT y PGIRS	
11,7 Altura sobre el nivel del mar	X			
11,8 Humedad Relativa Multianual	X			
11,10 Brillo Solar	X			
12 VOLUMENES APROXIMADOS DE MATERIAL DEPOSITADO				
12,1 Volúmenes	X		Trabajo de campo	

TIPO DE INFORMACIÓN	EXISTENCIA		OBSERVACIONES	ANEXOS
	SI	NO		
13 ESPESORES APROXIMADOS DE MATERIAL DEPOSITADO				
13,1 Espesores	X		Trabajo de campo	
14 CARACTERIZACION DEL MATERIAL DEPOSITADO				
14,1 Caracterización del material	X		PGIRS	Ver figura No 27-29 Cuadro28-31

**Cuadro 27. Información recogida durante la visita de reconocimiento al Botadero de Basura del Municipio de San Vicente de Chucurí**

ELEMENTO	EXISTENCIA		ESTADO				OBSERVACIONES GENERALES
	Si	No	Excelente	Bueno	Regular	Malo	
<b>Vallas</b>		X					
<b>Caseta de vigilancia</b>		X					
<b>Caseta de Control técnico</b>		X					
<b>Cerramiento</b>		X					
<b>Entrada Principal</b>		X					
<b>Manejo de celdas diarias</b>		X					
<b>Sistemas de desvío y control de aguas lluvias</b>							
Canales perimetrales		X					
Zanjas de Corona		X					
Otros		X					
<b>Sistemas de Mitigación, captación de gases</b>							
Chimeneas o tuberías de Ventilación		X					
Zanjas de Ventilación		X					
Otros		X					
<b>Sistemas de Control y tratamiento de gases</b>							
Barreras Impermeables		X					
Quema		X					
Procesamiento del biogás y generación de energía		X					
Otros		X					
<b>Sistemas de captación de lixiviados</b>							
Canales colectores		X					
Filtros colectores		X					
Tanque de almacenamiento		X					
Pozos de monitoreo		X					
Estructuras de medición de caudales		X					
Otros		X					
<b>Sistemas de tratamiento de lixiviados</b>							

ELEMENTO	EXISTENCIA		ESTADO				OBSERVACIONES GENERALES
	Si	No	Excelente	Bueno	Regular	Malo	
Procesos naturales		X					
Procesos biológicos		X					
Procesos fisicoquímicos		X					
Otros		X					
<b>Sistemas de mitigación para la producción de lixiviados</b>							
Cubierta		X					
Barreras Impermeables		X					
Zanjas de interceptación		X					
Bombeo de aguas subterráneas		X					
Otros		X					
<b>Sistemas para impedir migración de lixiviados</b>							
Barreras Impermeables		X					
Drenajes Subsuperficiales		X					
Zanjas		X					
Bombeo de aguas subterráneas		X					
Otros		X					
<b>Sistemas de Control de erosión</b>							
Disipadores de energía		X					
Diques y acequias de interceptación		X					
Cerramiento con cerco vivo		X					
Drenaje de las pendientes		X					
Terrazas		X					
Otros		X					
<b>Condiciones sanitarias del sitio</b>							
Material disperso en la zona del botadero (icopor, papel, etc.)	X						Ver Fotografía 14
Recuperadores en la zona del botadero	X						Ver Fotografía 15
Cobertura	X					X	Ver Fotografía 16
Encharcamiento de aguas lluvias	X						
Empozamiento de lixiviados	X						Ver Fotografía 17 y 18
Emisión de malos olores	X						

ELEMENTO	EXISTENCIA		ESTADO				OBSERVACIONES GENERALES
	Si	No	Excelente	Bueno	Regular	Malo	
Roedores							
Insectos		X					
Aves de carroña		X					Ver Fotografía 19
Vacunos		X					Ver Fotografía 20
Porcinos							
Gatos y perros							
Condiciones del paisaje y la estética							Ver fotos No. 21 y 22
Estabilidad del terreno de fundación							Ver fotos No. 23 y 24

- Según Bates y Jackson (1980), definen un coluvión como una masa incoherente de materiales sueltos y heterogéneos, de suelo o fragmento de roca depositados por lavado de la lluvia, raptación o deslizamiento, los cuales normalmente se depositan en la base de las laderas. La estabilidad de los coluviones depende del tipo de material de suelo, contenido de arcilla, humedad, límite líquido, permeabilidad, geomorfología, horizontes estratigráficos, superficies de cortante, superficie de base, espesor, hidrología, cobertura vegetal y sismicidad. El botadero de basura de San Vicente de Chucurí, se encuentra sobre un terreno inestable propenso a sufrir deslizamientos y fenómenos de remoción en masa.

- Características físicas del suelo: San Vicente es un municipio que posee suelos con alto porcentaje de limos y arcillas, bajas permeabilidades, situación que favorece la protección de fuentes de aguas subterráneas. En el Cuadro 28 se pueden observar los tipos de suelo según el relieve.

**Cuadro 28. Propiedades físicas de los suelos<sup>42</sup>**

TIPO DE RELIEVE	DESCRIPCIÓN
Montañas y Colinas	Porcentaje de arena baja y porcentaje alto de arcillas, suelos superficiales de baja a muy baja permeabilidad
Terrazas	Texturas fina (arena y limo), baja retención de humedad, baja capacidad de drenaje, de moderada a baja permeabilidad

<sup>42</sup> Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), municipio de San Vicente de Chucurí

**Figura 24. Columna estratigráfica del valle medio del Magdalena y piedemonte occidental de la cordillera oriental<sup>43</sup>**

SISTEMA	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA		SÍMBOLO	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
CUATERNARIO			QTF		Terrazas y aluviones		
	TERCIARIO	PLIO.	GRUPO MESA	TQ		Gravas, arenas y conglomerados. Espesor: 300-545 m.	
		MIOCENO	GRUPO REAL	Tmp.		Areniscas, lodolitas y conglomerados. Espesor: 500-700 m.	
						Lodolitas rojas y areniscas conglomeráticas. Espesor: 935-1.250 m.	
		OLIGOCENO	GRUPO CHUSPAS	FM. COLORADO	Tom.		Lodolitas y capas delgadas de areniscas. Espesor: 550-850 m.
				FM. MUGROSA	Teo.		Areniscas, lodolitas y capas delgadas de carbón. Espesor: 160 - 575 m.
		EOCENO	Grupo Chorro	FM. ESMERALDA	Tpe.		Areniscas conglomeráticas con estratificación cruzada. Espesor: 240-800 m.
				FM. LA PAZ			Areniscas, lodolitas y capas delgadas de carbón. Espesor: 300 - 950 m.
		PAL.	FM. LIZAMA				Lodolitas con concreciones ferruginosas y capas explotables de carbón. Espesor: 800-1400 m.
		CRETÁCICO	SUPERIOR	FM. UMIR		1 Ks	Kcom.
FM. LA LUNA					Lodolitas, areniscas y calizas en menor proporción. 250-260 m.		
INFERIOR	FM. SIMITÍ		1 Ki	Kbal.		Calizas y lodolitas calcáreas. 240-325 m.	
	FM. TABLAZO					Lodolitas y areniscas. 150-625 m.	
	FM. PAJA			Kbeh.		Calizas, Lodolitas y areniscas. 230-450 m.	
	FM. ROSABLANCA					Arenisca gris verdosa, cuarzosas, de grano fino, localmente lodosas, con intercalaciones de limolitas, arcillolitas y lodolitas de color gris, negro y rojizo, piritosas. 25-100 m.	
	FM. CUMBRE					Areniscas cuarzosas claras, localmente conglomeráticas y lodolitas de color pardo rojizas. 25-100 m.	
	FM. LOS SANTOS					Alternancia de areniscas y lodolitas gris amarillentas a pardo rojizas, localmente niveles conglomeráticos, pardo rojizas, masivos y lenticulares. Espesor: 3.000-4.500 m.	
JURÁSICO	SUPERIOR	FM. GIRÓN		Js		Alternancia de areniscas y lodolitas gris amarillentas a pardo rojizas, localmente niveles conglomeráticos, pardo rojizas, masivos y lenticulares. Espesor: 3.000-4.500 m.	

<sup>43</sup> Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), municipio de San Vicente de Chucurí

- Propiedades Químicas: Químicamente los suelos del municipio son ácidos (pH inferior a 5.5), son suelos aptos para el cultivo agrícola. En el Cuadro 29 se puede observar los tipos de suelo según el relieve

**Cuadro 29. Propiedades químicas de los suelos<sup>44</sup>**

TIPO DE RELIEVE	DESCRIPCIÓN
Montañas y Colinas	pH inferior a 5,5, Suelos ácidos, presenta niveles altos de aluminio, calcio, magnesio y potasio, porcentaje de saturación inferior a 50%
Terrazas	pH inferior a 5,5, Suelos ácidos, capacidad de cambio de cationes sensiblemente baja, deficiencia de fósforo (Fertilidad de baja a muy baja), porcentaje de saturación menor al 50%

- Fallas geológicas: El municipio de San Vicente presenta cinco (5) fallas geológicas, tres por contacto de las formaciones PAJA-UMIR y UMIR-SIMITI y dos por contacto de las formaciones PAJA-ROSABLANCA y UMIR-SIMITI.

- Mapas Hidrogeológicos

- Zonas propensas a contaminación: En el reconocimiento de campo se observó que debido a la inexistencia de impermeabilización del botadero todas las zonas aledañas están expuestas a contaminación, incluido el río Chucurí.

---

<sup>44</sup>Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), municipio de San Vicente de Chucurí

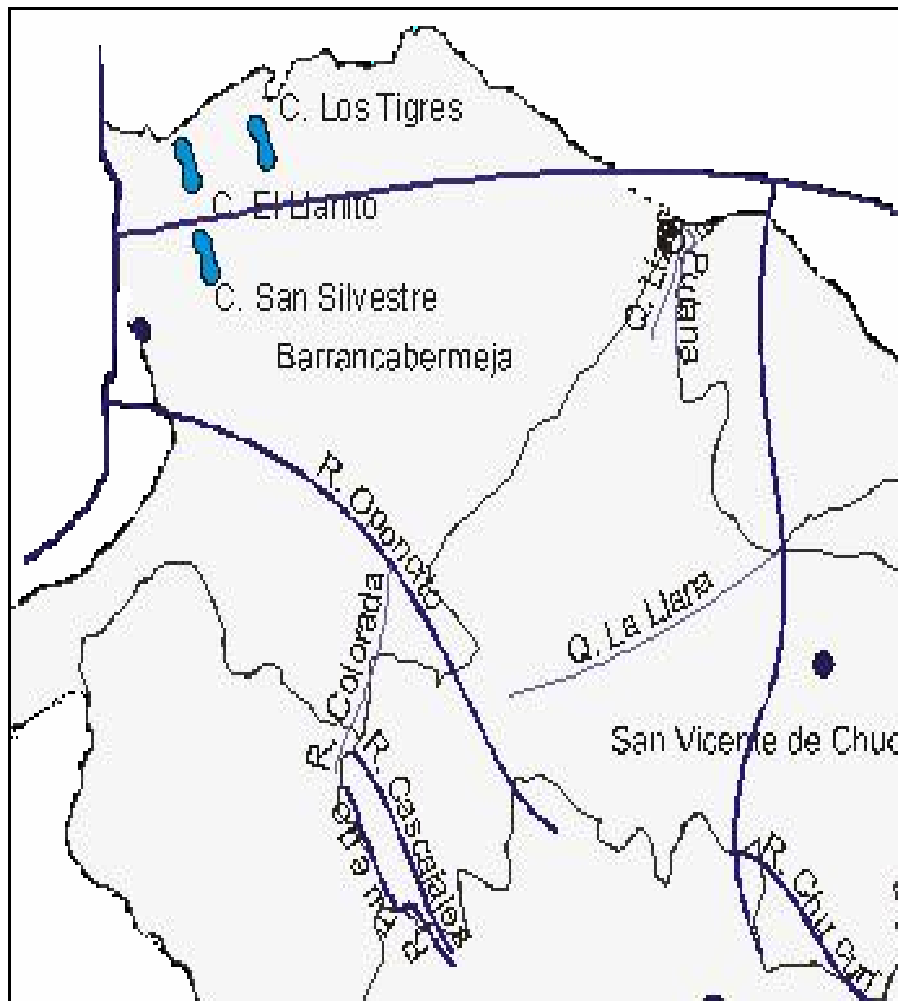
- Mapas hidrológicos

- Corrientes superficiales de agua: La red hidrográfica del municipio pertenece a la cuenca del río Magdalena Medio. San Vicente de chucurí es una región poseedora de una riqueza hídrica invaluable, lo que conlleva a tierras muy productivas.

Entre los principales cauces que forman la red hídrica se pueden mencionar: los ríos, chucurí, oponcito, la colorada, cascajales, y las quebradas, la llana, las cruces, cantarranas, etc., (ver Figura 25). A pesar de la abundancia del líquido los sistemas de abastecimiento de agua potable tanto urbano como rural son deficientes, no solo por la falta de infraestructura sino por el alto grado de contaminación de los cuerpos de agua.

La falta de conciencia colectiva es la principal causa de esta insuficiencia. En el casco urbano el vertimiento de las aguas residuales a la quebrada cantarranas esta ocasionando serios impactos sobre el ecosistema de la región, el cauce del río Chucurí es afectado directamente por el botadero de basuras del municipio; en el área rural la situación no es muy alentadora, debido a que por falta de educación, conciencia, e infraestructura todos los desechos producidos por la comunidades en la mayoría de los casos son vertidos a los cauces cercanos.

**Figura 25. Red hidrográfica del Municipio de San Vicente de Chucurí<sup>45</sup>**

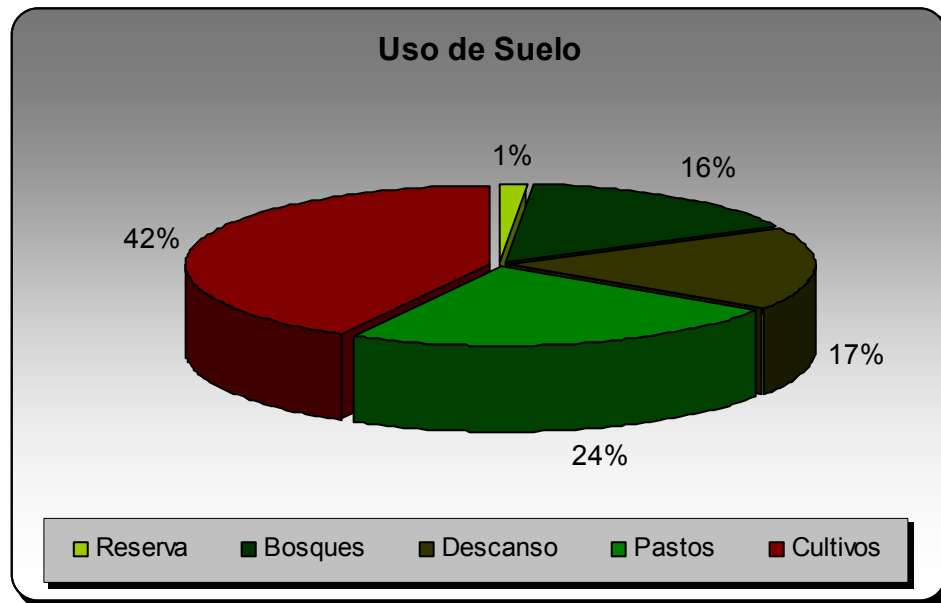


- Mapas de usos del suelo
  - Usos del suelo: En la figura 26 se evidencia la importancia que tienen las actividades agrícola y ganadera para el municipio (41,98% y 23,54% respectivamente), gran parte de la economía gira en torno a estos renglones. Sus tierras son muy ricas orgánicamente lo que permite una gran variedad de

<sup>45</sup> Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), municipio de San Vicente de Chucurí

cultivos, debido a esto se le conoce como Despensa Agrícola del departamento.

**Figura 26. Usos de suelos**



#### **Datos de infraestructura del sitio**

- Vías de acceso: El Botadero se encuentra localizado a 4Km del casco urbano en la vía que comunica al municipio con El Carmen del Chucurí, esta carretera se encuentra en regular estado con dos kilómetros pavimentados y los kilómetros restantes sin pavimentar. La vía de acceso al botadero se encuentra en estado regular, no será modificada para las obras de saneamiento y cierre.
- Disponibilidad de mano de obra: Las labores de clausura permiten en gran parte la utilización de mano de obra no calificada, permitiendo la contratación de habitantes de la zona y sus alrededores.

- Disponibilidad de material de cobertura: Debido a que el material como resultado del movimiento de tierras circundante al botadero se encuentra contaminado, se recomienda buscar un sitio de préstamo que cumpla con los siguientes requisitos: Baja permeabilidad, alto contenido de arcillas, cercano al sitio del botadero. El vertedero esta ubicado a solo 270m del río chucurí, lo que lo convierte en la fuente principal de extracción para el material de los filtros. (Ver plano No. 1)
- Caseta de reciclaje: El sitio de disposición de residuos sólidos esta dotado de una pequeña caseta de reciclaje (Ver Fotografía 9)

#### **Factores Socioeconómicos:**

- Usos y ocupación de los terrenos: Los terrenos aledaños al botadero son utilizados en actividades agrícola y pecuaria, es tal que algunas de las labores de pastoreo de vacunos caprinos y porcinos se lleva a cabo en el área del botadero como se puede ver en la Fotografía 10
- Distancia a centros urbanos: El botadero de basura se encuentra localizado a 4Km del casco urbano.
- Distancia a fuentes superficiales de agua: El río Chucurí se encuentra ubicado a 270m de la corona del talud del botadero.
- Años de Uso: El botadero esta funcionando desde 1.993, es decir aproximadamente 12 años.

**Fotografía 9. Caseta de reciclaje Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.**



**Fotografía 10. Pastoreo de Vacunos terrenos aledaños al Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí.**



**Variables Hidroclimáticas:**

- Precipitación máxima: Las mayores alturas de precipitación se dan en los meses de marzo y septiembre llegando en este último a valores de 441mm y precipitación máxima anual de 2.458mm. (Ver anexo A)

- Precipitación mínima: Las menores precipitaciones se dan en los meses de diciembre y enero llegando a este último a valores de 10mm y una precipitación mínima anual de 1.533mm. (Ver anexo A)
- Precipitación media anual: La precipitación media anual esta alrededor de 1.920mm. (Ver anexo A)
- Temperatura máxima: La temperatura máxima es de 27<sup>a</sup> centígrados.
- Temperatura Mínima: La temperatura mínima es de 12<sup>a</sup> centígrados.
- Altura sobre el nivel del mar: En el Municipio de San Vicente de Chucurí se pueden encontrar alturas desde 200 hasta 3000 metros sobre el nivel del mar, lo que favorece la presencia de diversos pisos térmicos.
- Humedad Relativa Multianual: Varía entre 73 y 96% y su media es 84%.
- Brillo Solar: Varía entre 1000 a 1400 horas al año.

En periodos de sequía las temperaturas máximas ayudan al proceso de fermentación de la materia orgánica y su consecuente emisión de malos olores, la humedad relativa media multianual combinada con la temperatura genera la proliferación de insectos y vectores generadores de enfermedades.

#### **Análisis de documentos y estudios anteriores:**

- Volúmenes aproximados de material depositado: En datos encontrados en el PGIRS en la actualidad se disponen en el botadero un total de  $9,08 \frac{\text{Ton}}{\text{dia}}$ ,

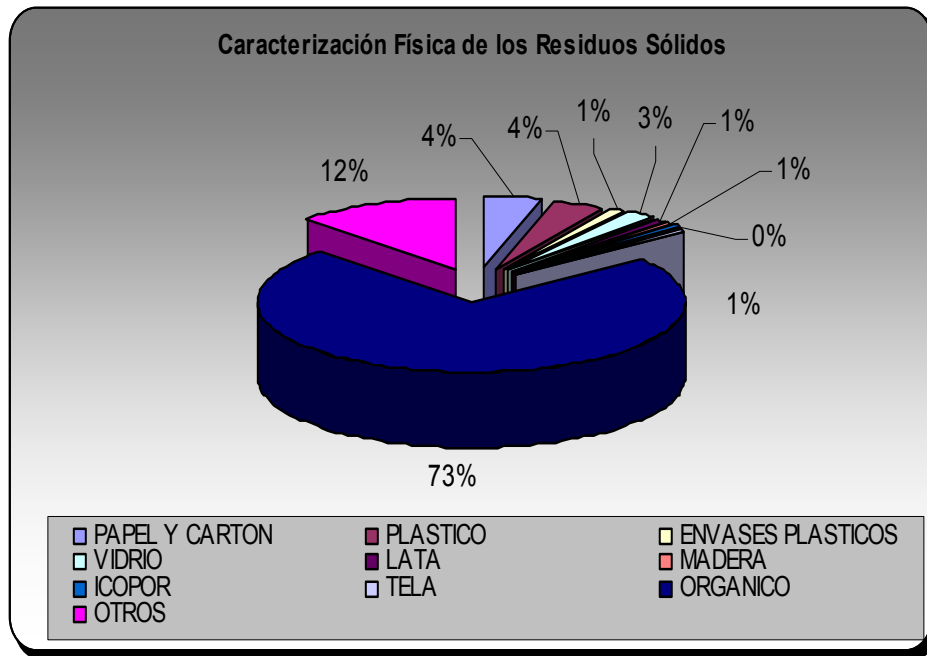
el vertedero lleva funcionando 12 años lo que genera un volumen aproximado 40.000m<sup>3</sup> de basuras.

- Espesor aproximado del material depositado: Según el secretario de obras públicas del municipio el espesor aproximado es de 15m
- Caracterización Del Material Depositado: La información de la caracterización de los residuos sólidos es tomada de la tesis de grado titulada Diagnóstico del manejo y disposición final de residuos sólidos en el Área Urbana del municipio de San Vicente de Chucurí, Janeth Medina y Fabián Mendoza, 2.002
  - Caracterización física del material depositado: Las características físicas de los residuos producidos en el casco urbano del municipio reflejan un alto valor de orgánicos, plásticos, cartón, papel y vidrio, (Ver Cuadro 30 y Figura 31)

**Cuadro 30. Caracterización Física del material depositado**

ITEM	Residencial		Comercial		Institucional		Hospital		Plaza de Mercado	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%
Papel y cartón	26.1	2.63	20.8	25.6	2.5	3.35	12.0	22.4	15.5	2.9
Plástico	49.2	4.96	6.1	7.5	1.6	2.14	5.8	10.82	7.5	1.4
Envases plásticos	10.7	1.1	1.6	1.97	1.3	1.74	1.5	2.8	0.0	0.0
Vidrio	24.4	2.46	4.0	4.93	0.3	0.4	18.5	34.5	0.3	0.06
Lata	7.0	0.71	2.5	3.1	0.0	0.0	0.5	0.93	0.8	0.15
Madera	2.8	0.28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	1.95
Icopor	3.0	0.3	0.1	0.12	0.0	0.0	1.0	1.9	2.5	0.46
Tela	13	1.31	0.3	0.34	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
Orgánico	796.8	80.25	41.8	51.5	63.5	85	7.3	13.62	362.9	67.4
Otros	59.9	6.03	4.0	4.93	5.5	7.36	7.0	13.06	138.5	25.72
Total Kg.	992.9	100	81.2	100	74.7	100	53.6	100	538.5	100

**Figura 27. Caracterización física de los Residuos Sólidos**

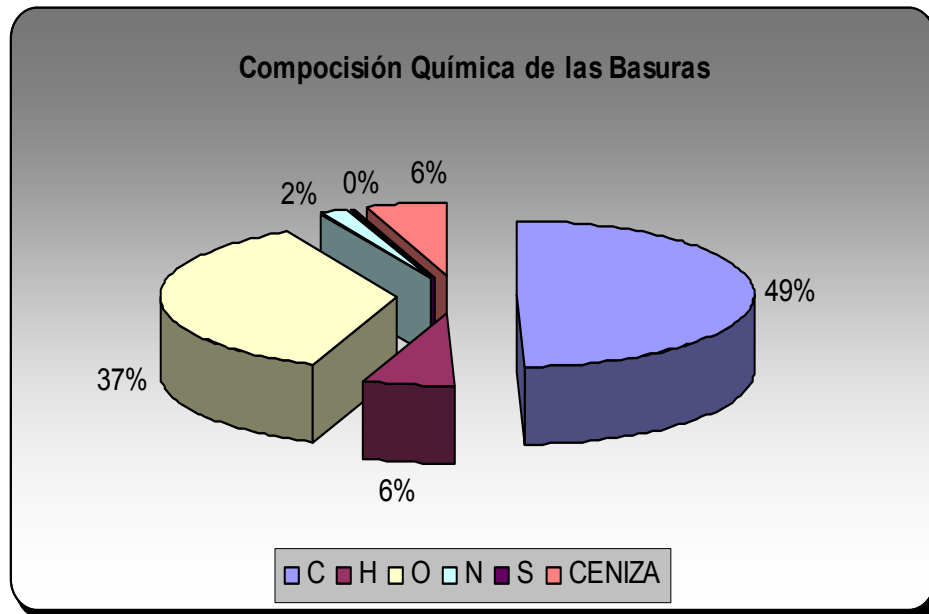


- Caracterización química del material depositado: El carbono es el componente químico más elevado que presentan los residuos sólidos depositados en el relleno. (Ver Cuadro 31 y Figura 28)

**Cuadro 31. Caracterización química sector residencial**

ELEM.	RESIDENCIAL		COMERCIAL		INSTITUCIONAL		CASA DE MERCADO	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA (Kg)	%	COMPOSICIÓN QUÍMICA (Kg)	%	COMPOSICIÓN QUÍMICA (Kg)	%	COMPOSICIÓN QUÍMICA (Kg)	%
C	167,39	49,76	19,21	47,99	11,87	48,96	58,71	48,46
H	21,84	6,49	2,5	6,25	1,56	6,43	7,6	6,27
O	119,84	35,63	15,25	38,1	8,86	36,54	46,74	38,58
N	6,56	1,95	0,4	1	0,5	2,05	1,87	1,54
S	1,03	0,31	0,09	0,22	0,08	0,33	0,31	0,25
CENIZA	19,71	5,86	2,58	6,44	1,38	5,69	5,42	4,88
TOTAL	336,37	100	40,02	100	24,25	100	121,14	100

**Figura 28. Caracterización química sector residencial**



- Humedad: La humedad inherente a los residuos sólidos es un factor importante que condiciona la producción de lixiviado en un relleno sanitario, en el Cuadro 32 y 33 y Figura 29 se presentan los resultados obtenidos en análisis realizados a los residuos en el vertedero del municipio.

**Cuadro 32. Contenido de humedad residuos sólidos**

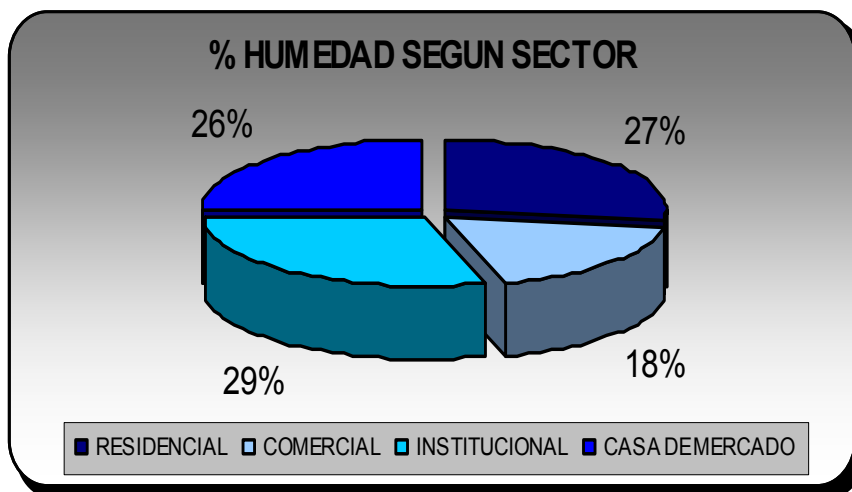
Componente	Kg.	Cont. Humedad % en peso	Peso seco Kg.
Archivo	7,25	5	6,8875
Vidrio	16,25	2	15,925
Icopor	2,13	0	2,125
PETE	3,88	2	3,7975
Chatarra	4,75	3	4,6075
Pasta	6,75	2	6,615
Tela	12,88	10	11,5875
Aluminio	0,63	2	0,6125
Plástico	23,63	2	23,1525
Cartón	4,50	6	4,23
Madera	3,63	20	2,9
Materia Orgánica	670,50	70	201,15
Inertes	74,50	8	68,54
TOTAL	831,25		352,13

**Cuadro 33. Porcentaje de humedad de los residuos sólidos según sector**

SECTOR	% HUMEDAD
RESIDENCIAL	57,6
COMERCIAL	38,6
INSTITUCIONAL	60,88
CASA DE MERCADO	53,95

**5.1.4 Levantamiento topográfico y análisis de la topografía.** El botadero de basura se encuentra localizado geográficamente entre las coordenadas cartesianas  $X = 1.252.000$  y  $Y = 1.071.000$  a una altura sobre el nivel de mar de 650msnm, sobre un terreno ondulado con pendiente promedio de 58%, área efectiva aproximada de 3552m<sup>2</sup> y un área de influencia directa de 11863 m<sup>2</sup>. (Ver plano No 1)

**Figura 29. Porcentaje de humedad de los residuos sólidos según sector.**



**5.1.5 Antecedentes del vertedero.** Inicialmente el vertedero fue diseñado como relleno sanitario tipo rampa y trinchera, con terrazas para la ubicación de los residuos sólidos. En la actualidad no está funcionando adecuadamente y tampoco se cuenta con la información sobre el diseño de ingeniería de las obras.

La autoridad ambiental Corporación Autónoma Regional Santander (CAS) ha ordenado su clausura y recuperación. Se había diseñado un sistema de tratamiento de lixiviados y gases, los cuales se encuentran fuera de servicio desde hace ya varios años, debido a que las cajas recolectoras fueron taponadas por el sedimento producto de la escorrentía. El sistema para tratamiento de lixiviados consistía en la recirculación del líquido, la motobomba utilizada para esta función en la actualidad se encuentra fuera de servicio. El vertedero se encontraba estabilizado por un muro de contención natural, el cual era utilizado como soporte para las terrazas del relleno; pero con el paso del tiempo su material fue empleado para la cobertura de los residuos, sin ejercer control alguno sobre la estabilidad y resistencia.

En la Fotografía 11 se observa el terreno inicialmente antes de la disposición de residuos sólidos, en las fotografías 12 y 13 se puede observar que en los últimos dos años el sitio no ha sufrido variación considerable. Cabe aclarar que los residuos sólidos producidos en el hospital San Juan de Dios no se depositan en el botadero de basura a cielo abierto.

**Fotografía 11. Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí 1.992<sup>46</sup>**



**Fotografía 12. Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí 2.002<sup>47</sup>**



---

<sup>46</sup>Diagnóstico del manejo y disposición de residuos sólidos en el área urbana del municipio de San Vicente de Chucurí, Claudia Medina y Fabián Mendoza

<sup>47</sup>Diagnóstico del manejo y disposición de residuos sólidos en el área urbana del municipio de San Vicente de Chucurí, Claudia Medina y Fabián Mendoza

**Fotografía 13. Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí, 2.002**



#### **5.1.6 Condiciones sanitarias y estructurales del sitio**

**Material disperso en la zona.** Durante la visita de reconocimiento se observó abundante material (plásticos, icopor, vidrio, papel), disperso en la zona. (Ver Fotografía 14)

**Recuperadores en la zona del botadero.** Debido a la inexistencia de reciclaje en la fuente se observa recicladores en el botadero, expuestos a las inclemencias propias de estos sitios, no cuentan con sistema de seguridad industrial, pudo observarse que únicamente cuentan con guantes para llevar a cabo las labores de reciclaje, práctica prohibida en este tipo de sitios. (Ver Fotografía 15)

**Cobertura.** En la parte plana del botadero (corona del talud), se observa material de cobertura sin compactación, lo que genera grietas e inestabilidad. (Ver Fotografía 16)

**Fotografía 14. Materiales dispersos Botadero de Basuras municipio de San Vicente de Chucurí**



**Fotografía 15. Recuperadores en la zona del Botadero de Basura Municipio de San Vicente de Chucurí**



**Fotografía 16. Material de cobertura Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí**



**Encharcamiento de aguas lluvias.** Por la carencia de sistemas de drenaje perimetral, la incorrecta disposición del material de cobertura, y debido al paso constante del vehículo recolector se generan depresiones, las que se convierten en lagunas en temporadas invernales, aumentando los caudales de infiltración en el botadero.

**Empozamiento de lixiviado.** Los lixiviados se empozan en las partes bajas del talud, en una amplia zona cubierta por pastos. (Ver fotografías 17 y18)

**Emisión de malos olores.** En el área del vertedero se producen olores debido a la descomposición de los residuos, la falta de cobertura, la inexistencia de sistemas de control y tratamiento de gases, etc.

**Fotografía 17 Encharcamiento de lixiviado en la zona del Botadero de Basura del Municipio de San Vicente de Chucurí**



**Fotografía 18. Zona Verde donde se empozan los lixiviados Botadero de Basura del municipio de San Vicente de Chucurí**



**Presencia de animales.** Se observa la presencia de aves de carroña, vacunos, insectos, roedores. (Ver Fotografías 19 y 20)

**Fotografía 19. Aves de Carroña en el Botadero de Basuras del municipio de San Vicente de Chucurí**



**Fotografía 20. Pastoreo de vacunos en el área del Botadero de Basura del municipio de San Vicente de Chucurí**



### **Condiciones del paisaje y la estética:**

- Paisaje: A pesar de la existencia del botadero de basura, solo el área afectada directamente, presenta deterioro paisajístico, las zonas aledañas no han sido impactadas de manera significativa, apreciándose abundancia del verde de la naturaleza nativa. (Ver Fotografía 21)

### **Fotografía 21. Deterioro paisajístico Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí**



- La estética: Es afectada de manera severa en el sitio de depósito, la presencia de aves de carroña, plásticos y papeles dispersos en toda el área del vertedero y sus alrededores generan un aspecto negativo. (Ver Fotografía 22)

**Fotografía 22 Deterioro estético Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí**



**Estabilidad del terreno donde se encuentra fundado el vertedero:**

En las fotografías 23 y 24 se pueden observar el debilitamiento de los taludes de la parte más baja de la ladera, las causas que se pueden mencionar son: por procesos erosivos sufridos por los suelos de tipo colusión o por percolación de los lixiviados.

**Fotografía 23. Deslizamiento talud Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí**



**Fotografía 24. Deslizamiento talud Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí**



**5.1.7 Diagnóstico.** La inexistencia de impermeabilización del fondo, vallas, cerramiento vivo, delineamiento perimetral, puerta, caseta de vigilancia y control técnico, sistemas de captación, recolección y tratamiento de lixiviados y gases, sistemas de control de aguas lluvias y erosión, cobertura e impermeabilización, convierten a este sitio en uno de los principales focos de contaminación del medio ambiente y degradación del ecosistema en el municipio.

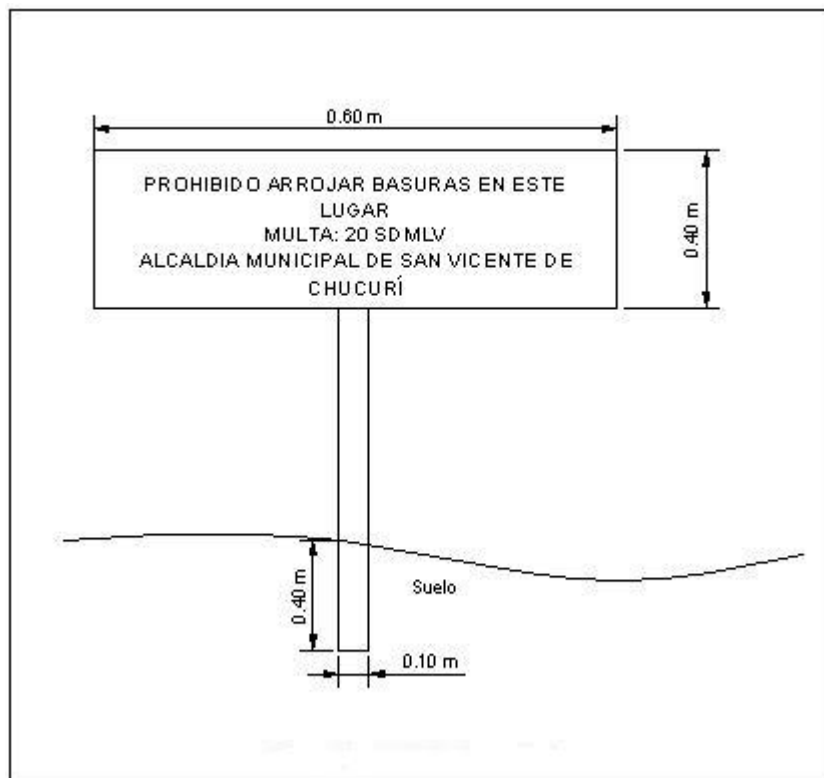
Las condiciones topográficas, hidroclimáticas, propiedades del suelo, etc., favorecen la acción degradante y contaminante de los productos del botadero. Por el tiempo de duración (aproximadamente durante 12 años) se puede clasificar como vertedero maduro según Tchobanoglous (mayor a 10 años). Como conclusión se puede decir que el sitio de disposición final de residuos sólidos del municipio de San Vicente de Chucurí, a pesar de haberse concebido como relleno sanitario definitivamente es un botadero de basura a cielo abierto.



**Figura 31. Valla de Información No. 2.**



**Figura 32. Valla de restricción.**



**Fotografía 25. Vía de Acceso al Botadero de Basura municipio de San Vicente de Chucurí**

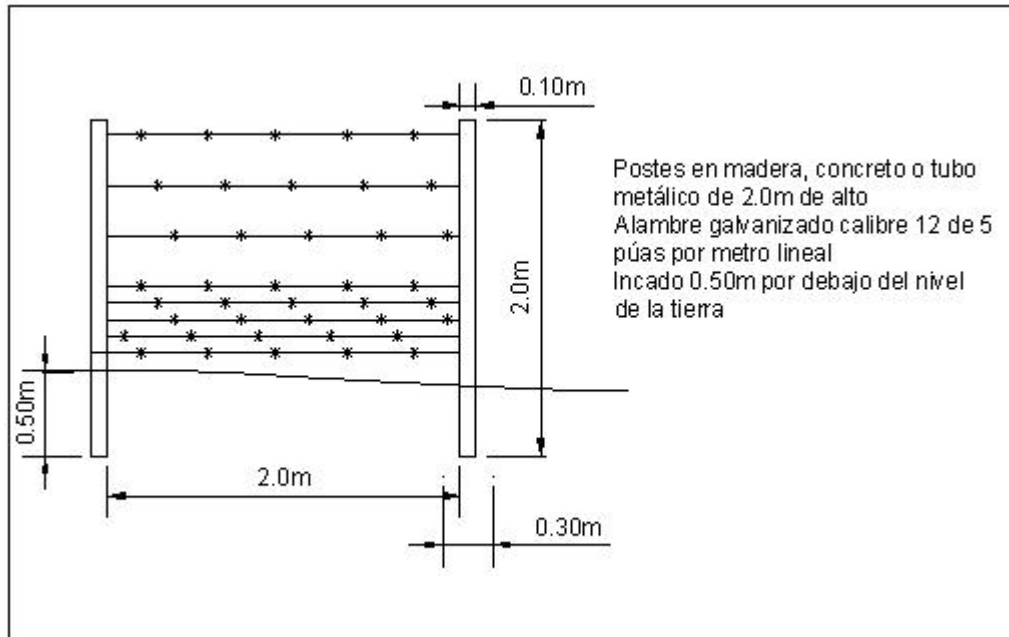


**Caseta de control técnico y vigilancia.** Debido a las condiciones económicas que afronta el municipio se sugiere la construcción de una caseta en madera y láminas de zinc, tipo campamento, a la entrada del botadero.

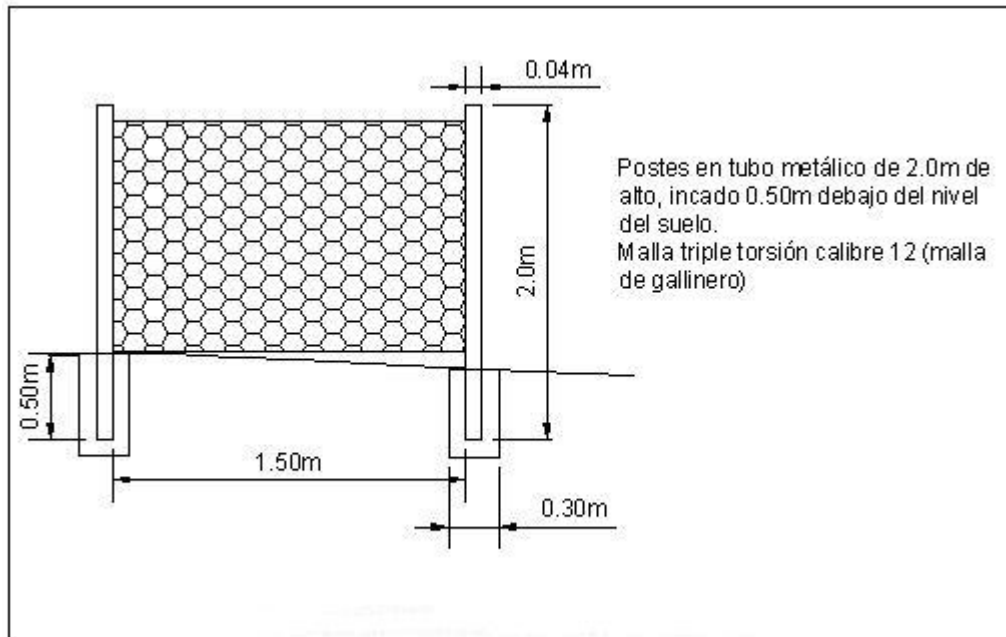
**Cerramiento del sitio.** El botadero tiene un perímetro de 432m. La descripción de los cerramientos perimetrales y cercos vivos puede apreciarse mejor en las figuras 33, 34, 35 y 36 y plano No. 2.

Para las condiciones económicas del municipio se sugiere un cerramiento en alambre de púas y postes de madera combinado con cerco vivo (zwingla)

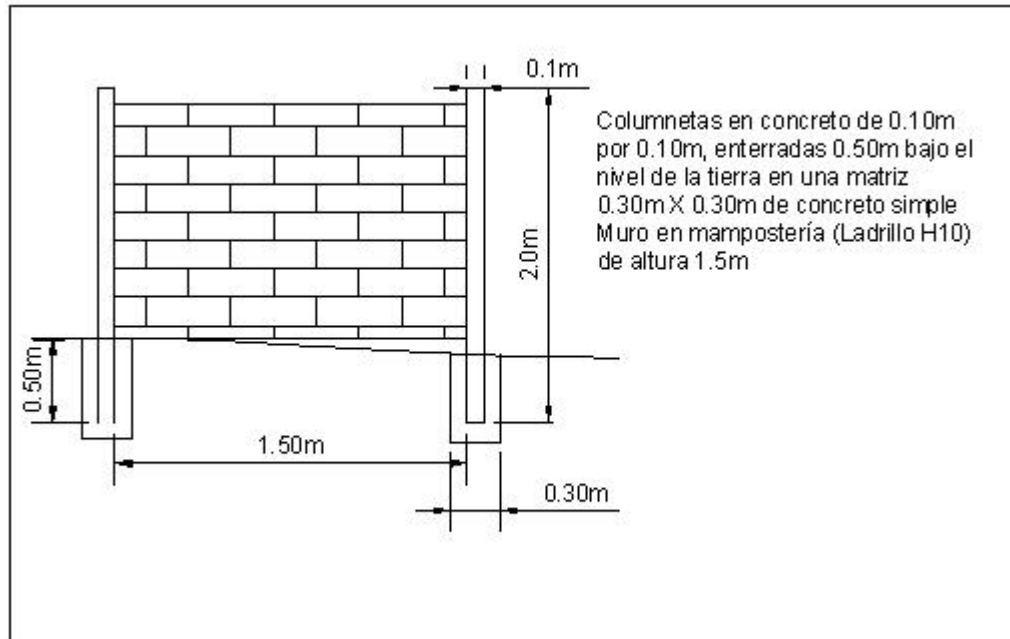
**Figura 33. Cerramiento tipo en alambre de púas y postes en madera.**



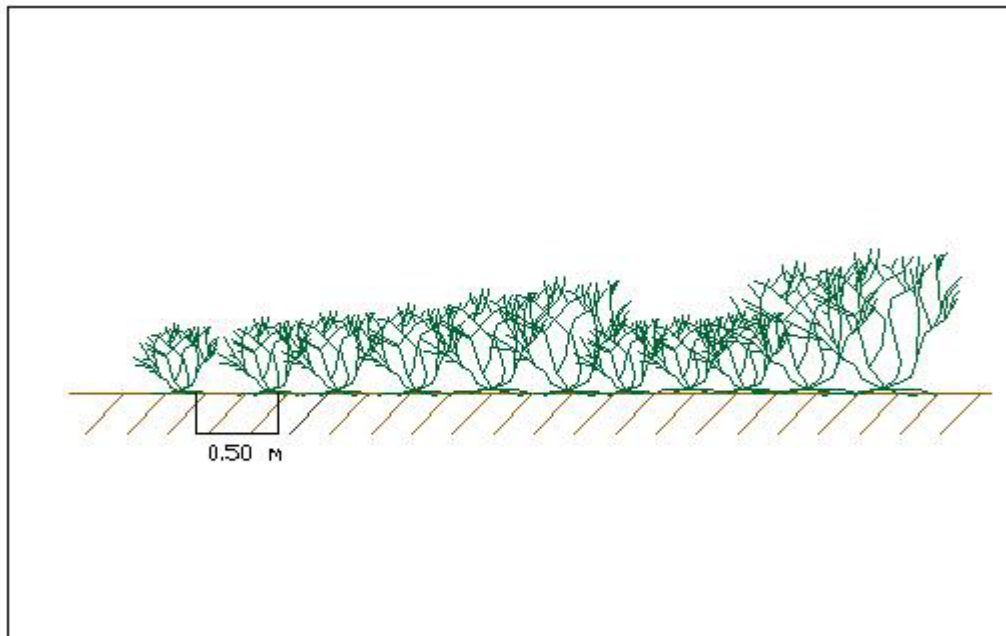
**Figura 34. Cerramiento tipo en malla de gallinero y tubo.**



**Figura 35. Cerramiento tipo en mampostería confinada.**



**Figura 36. Cerco vivo.**



**Entrada principal.** A continuación se muestran tres posibles tipos de puerta para la entrada principal. (Ver Figura 9, 37 y 38). Para el municipio de San Vicente de Chucurí se recomienda por economía la puerta en postes de madera y alambre de púas.

**Uso final del sitio.** Una vez saneado el sitio será destinado como una zona de reserva forestal. (Ver Fotografía 26)

**Fotografía 26. Uso final del sitio del Botadero de Basura municipio de San Vicente (Zona de reserva forestal)**



**Sistemas desvío y control de aguas lluvias:**

- Canal perimetral de aguas lluvias. Se debe construir canal perimetral en la parte posterior superior del botadero, para interceptar el agua lluvia que cae sobre la cabecera, y descargarla en la acequia que drena la escorrentía de la parte alta de la colina. (Ver plano No. 3)

Figura 37. Puerta en madera.

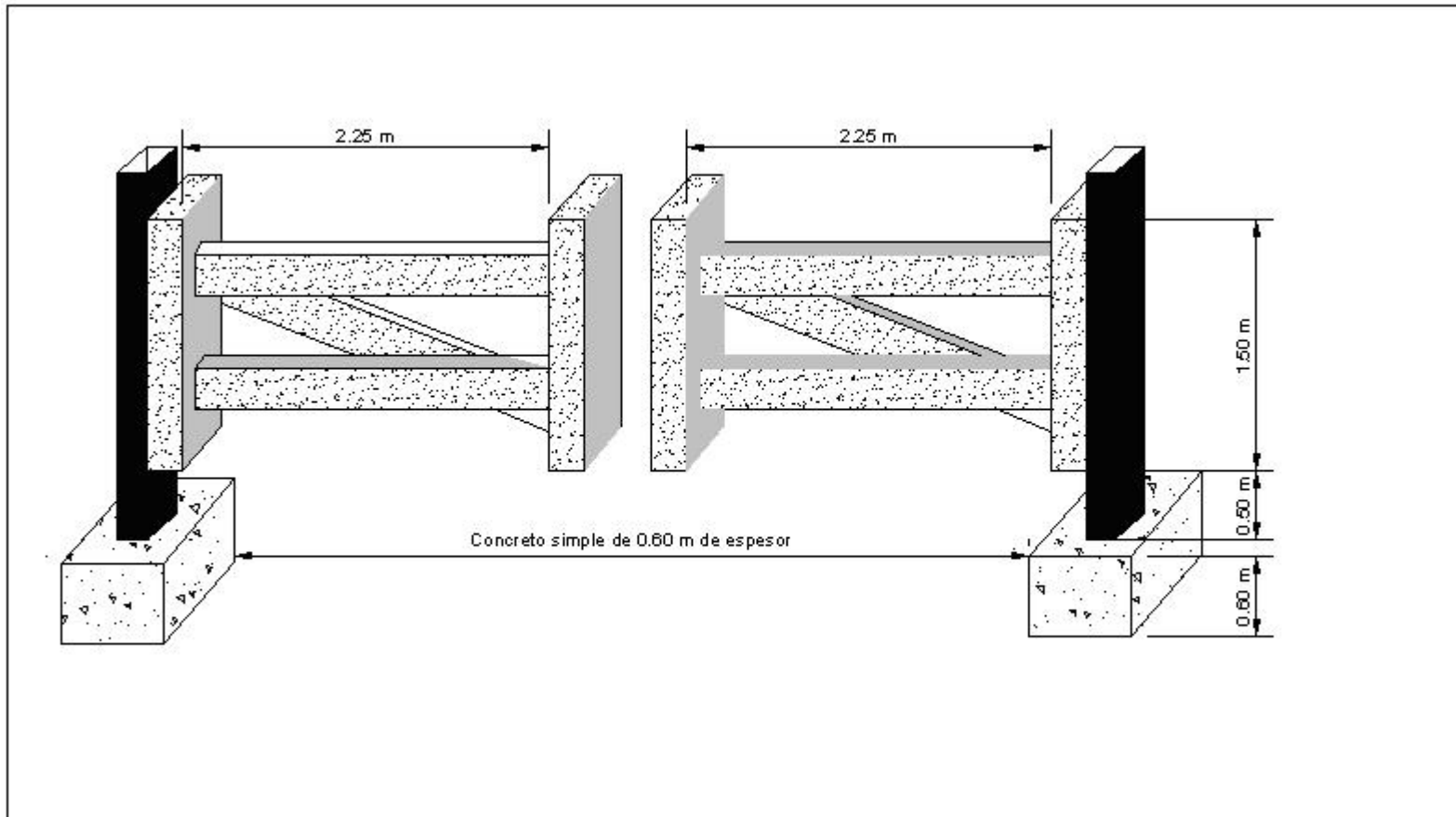
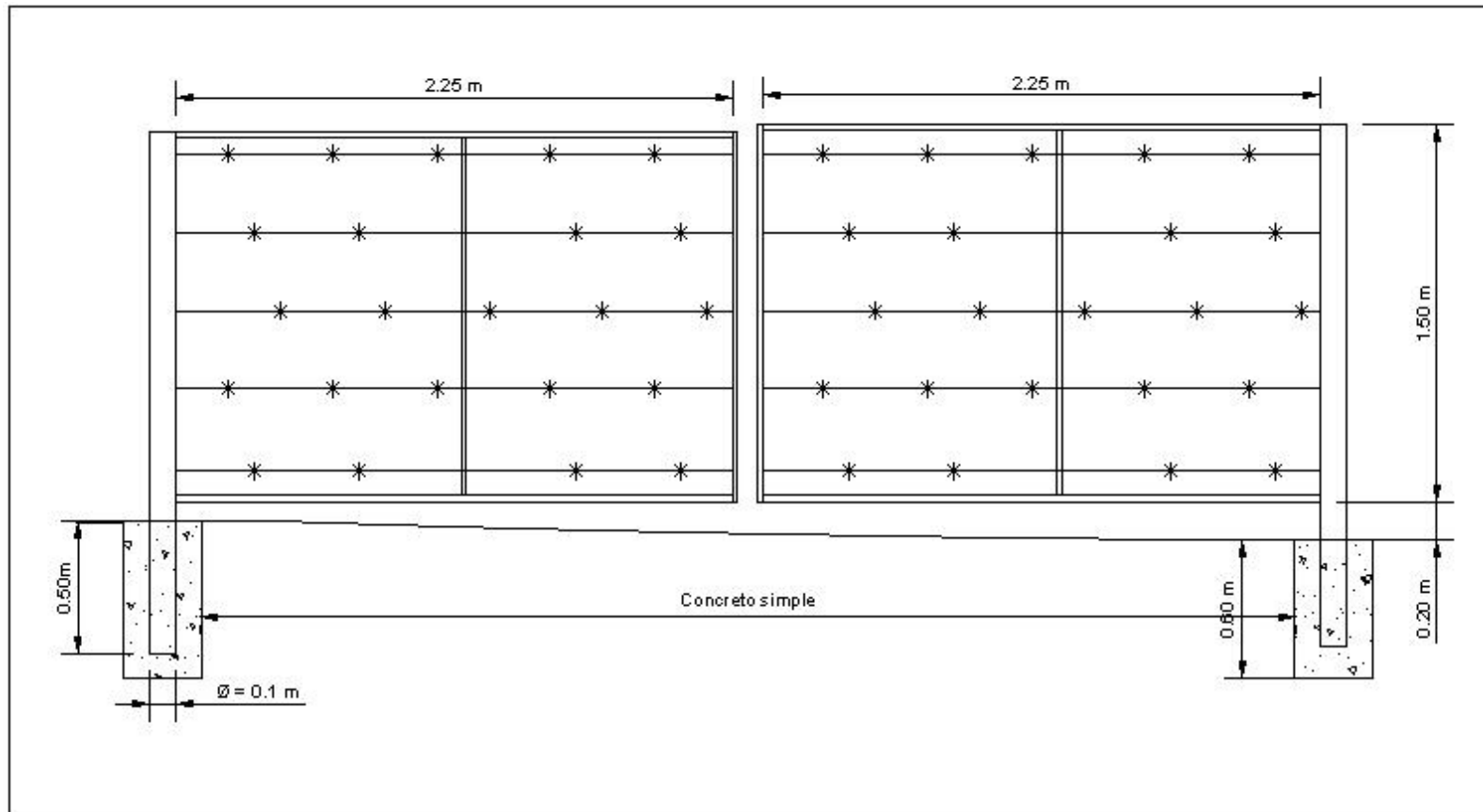


Figura 38. Entrada Principal con marco en madera y alambre de púas.



- Sección transversal trapezoidal, para canal en tierra no recubierto, compactado al 90% del próctor modificado, el procedimiento de diseño es el siguiente:

Asumiendo que el suelo de San Vicente es un suelo cohesivo se pueden deducir los siguientes parámetros de diseño:

-  $n = 0.05$ , tomado de la tabla 3-4 Libro Hidráulica para Canales Abiertos de Germán Eduardo Gavilán, (ver Anexo B)

- Angulo máximo del talud para evitar erosión y/o falla en canales no revestidos. Arcilla blanda o porosa con talud 3H: 1V y una pendiente longitudinal de 3% Valor tomado de la tabla 3.11 de Ven Te Chow 1.959, (ver Anexo C)

- Velocidad máxima permitida: Asumiendo el suelo de San Vicente como un suelo cohesivo por la presencia de arcillas la velocidad máxima que se puede presentar en el canal para evitar que se erosione es de 0.85m/s; el canal debe cumplir con el requisito que nunca debe tener flujo a más de 1m de altura sobre el nivel de la base. Los datos de velocidad son tomados de la tabla de Velocidades medias (m/s) de la corriente de agua, que son admisibles (no erosivas) para suelos cohesivos. Lichtvan-Levediev, (ver anexo D)

Con la ecuación de Manning se calcula la geometría del canal, para los parámetros obtenidos del lugar:

Como la pendiente del canal se va a dar artificialmente al compactar la cubierta ( $pend = 0.7 \%$ ) del botadero chequeamos que esta pendiente no nos genere una velocidad de flujo mayor a 0.85 m/s. Se asume un

$Q = 0.425 \text{ m}^3/\text{s}$  teniendo en cuenta el rendimiento de la cuenca del río Sogamoso.

Tomando un F. S. para el caudal igual a dos el caudal de diseño será.

$$Q_d = F.S. * Q$$

Donde,

$$Q_d = \text{Caudal de diseño } \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$F.S. = 2$  Factor de Seguridad para el caudal

$Q$  = Caudal teórico

$$Q_d = 2 * 0.425 = 0.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el cálculo de la geometría del canal se tiene el siguiente procedimiento:

$$R = \left( \frac{V * n}{S^{1/2}} \right)^{3/2}$$

$$R = \left( \frac{0.8 * 0.05}{(0.007)^{1/2}} \right)^{3/2} = 0.33$$

$$A = \frac{Q}{V} \quad A = \frac{0.85}{0.8} = 1.08 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{A}{R} \quad P = \frac{1.08}{0.33} = 3.28 \text{ m}$$

$$A = b * y + 2y^2$$

$$A = b * y + 2y^2 = 1.08 \text{ m}^2 \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

$$P = b + 2y * \sqrt{5} \quad (\text{Ecuación No. 2})$$

Despejando las ecuaciones 1 y 2 se obtiene que:

$$b = 0.601 \text{ m} \quad \text{y} \quad y = 0.58 \text{ m}$$

Según la tabla Lichtvan-Levediev, el Y máximo para una velocidad de 0.85m/s es de 1m, por lo tanto  $y = 0.6 \leq Y_{\text{máximopermitido}} = 1m$  Ok

Para el caudal se tiene que:

$$A = b * y + Z * y^2$$

$$A = 0.6 * 0.6 + 3 * 0.6^2 = 1.44m^2$$

$$Q = V * A$$

$$Q = 0.85 \frac{m}{seg} * 1.44m^2 = 1.224 \frac{m^3}{seg}$$

Se obtiene:  $Q > Q_d = 1.224 > 0.85$  OK!

Para la velocidad:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.05} * \left( \frac{0.6 * 0.6 + 2 * 0.6^2}{0.6 + 2 * 0.6 * \sqrt{2^2 + 1}} \right)^{2/3} * 0.007^{1/2} = 0.79m/s$$

Se obtiene que:  $V > V_d = 0.79 \frac{m}{s} \leq 0.85 \frac{m}{s}$  Ok!

Los canales perimetrales son de sección trapezoidal como se muestra en el plano 3 y las Figuras No. 39 y 40

Figura 39. Canal perimetral de aguas lluvias (este).

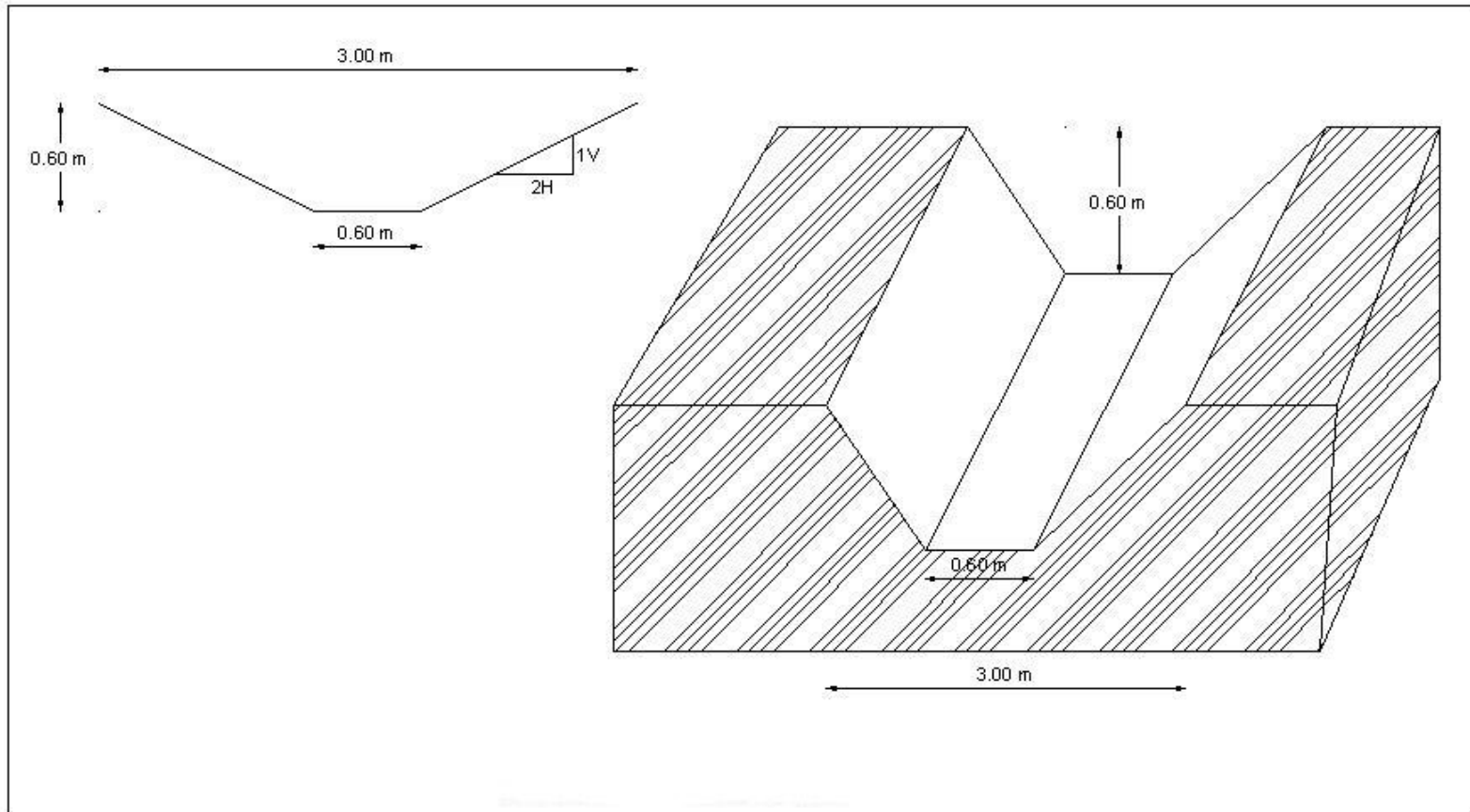
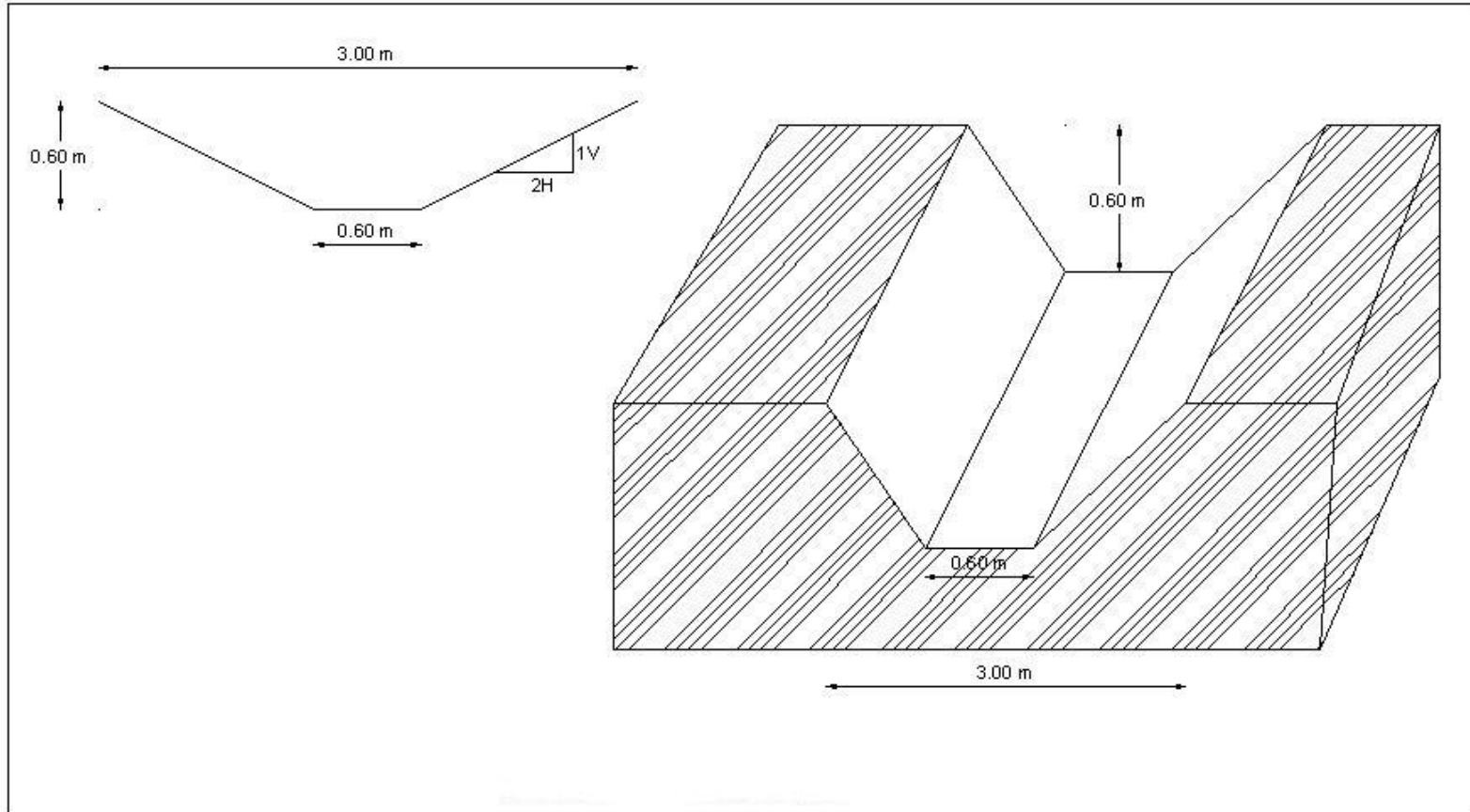


Figura 40. Canal perimetral de aguas lluvias (Norte).



**Generación de gases.** No se evalúa el potencial de producción de gas en el vertedero debido a que aún no se ha establecido un procedimiento para estimar la cantidad de biogás que realmente se puede generar en un sitio de disposición final como este.

En la actualidad el municipio no cuenta con estudios de los parámetros que determinan la calidad del aire (ver Cuadro 34), por lo tanto se debe realizar ensayos con el objeto de conocer el contenido del biogás y comparar los resultados con los valores permitidos.

**Cuadro 34. Parámetros y frecuencia del monitoreo de biogás**

Parámetros	Frecuencia
Composición de biogás CH <sub>4</sub> CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Bimestral
Explosividad	Bimestral
Caudal	Mensual

**Sistemas de captación, mitigación, tratamiento de gases.** Para la ubicación y diseño de los sistemas de captación y tratamiento de gases se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento:

- Ubicación: Se traza una cuadrícula de 40 metros x 40 metros sobre el plano del vertedero, se ubican chimeneas en cada vértice. (Ver plano No. 4)
- Numero de chimeneas: Según el procedimiento anterior se deben construir 3 chimeneas.
- Materiales: Para la construcción de las chimeneas se debe utilizar piedra de río con diámetro mayor que 0.10m y menor que 0.20m, tubos de PVC perforados y no perforados.

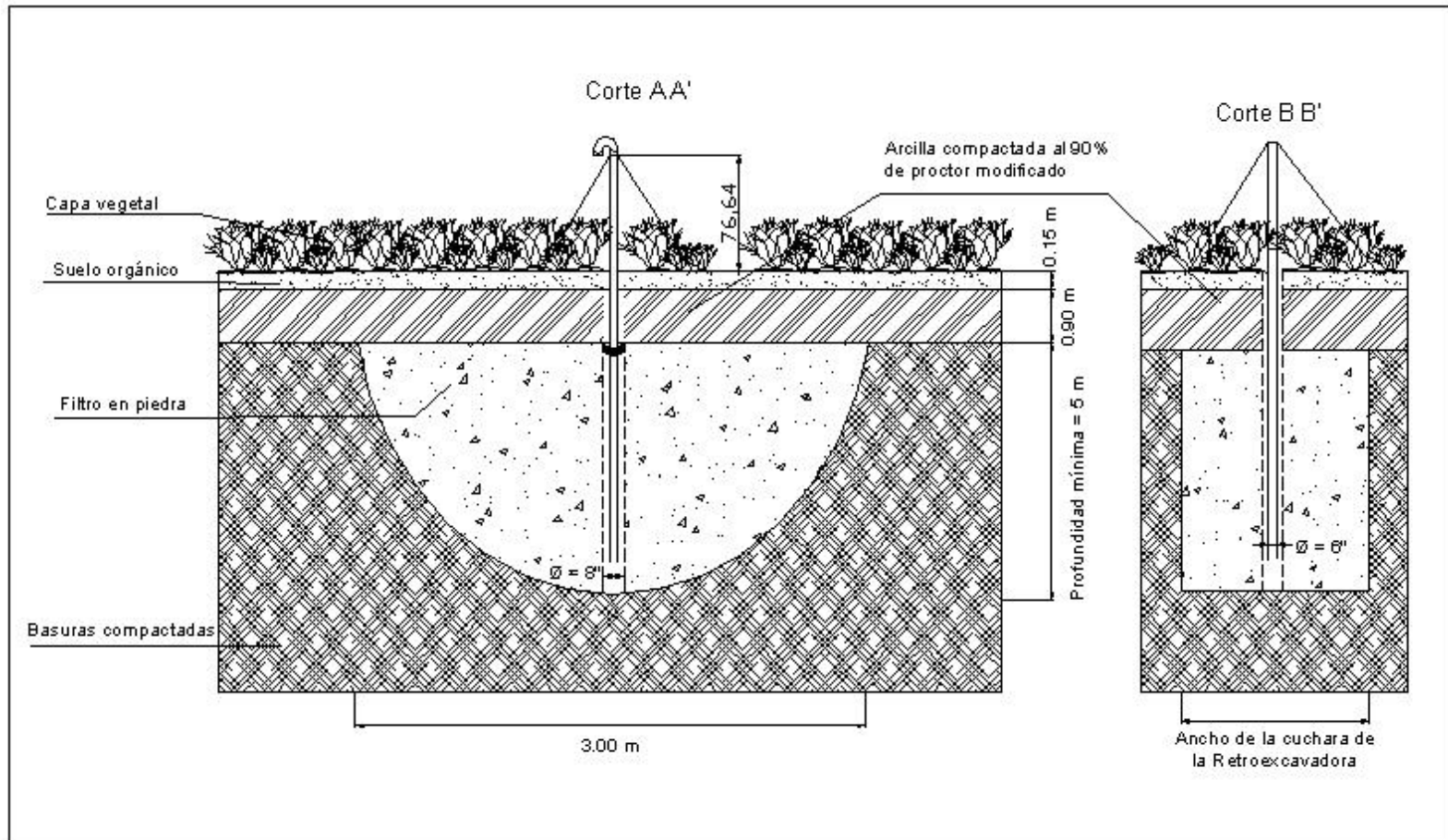
Construcción: Para la construcción de la chimenea se requiere:

- Apertura de zanjas en el vertedero con retroexcavadora. El tamaño de éstas debe ser de 5 m como mínimo (retroexcavadora de 7.5 m de brazo), condicionado con la profundidad del suelo natural.
- Construcción del filtro: Se instala el geotextil sobre el cual se apoya el relleno con piedra de río, se construye hasta la rasante del vertedero.
- Empalme de la tubería perforada con el filtro de piedra: El gas emitido por la basuras fluye a través del filtro en piedra que a su vez pasa por la tubería perforado (PVC de 8") y en la parte inferior de la estructura el gas sube por la tubería (PVC 6") debido a la diferencia de presiones es evacuado a la superficie de la chimenea. (Ver Figuras 41 y 42).
- Dispositivo para quema instalado en la parte superior de la tubería no perforada. (Ver Figuras 41 y 42)
- Sistema de protección de la llama permite proteger la llama contra vientos fuertes y lluvia. (Ver Figuras 41 y 42)

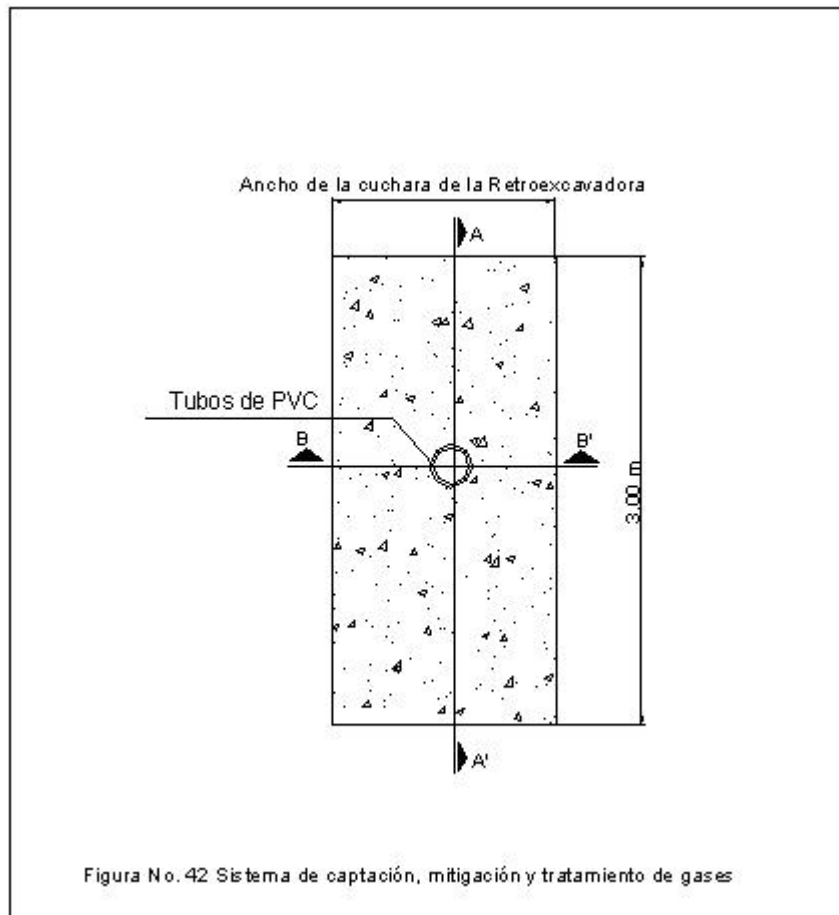
**Lixiviado.** El volumen de lixiviado producido en el vertedero esta relacionado en gran medida con la infiltración de agua lluvia, como consecuencia de la inexistencia de material de cobertura. Sin embargo el contenido de humedad de los residuos sólidos, el porcentaje elevado de productos alimenticios, la baja compactación de los residuos, contribuye de igual manera al aumento en la producción del líquido.

**Sistemas de conducción y almacenamiento de lixiviados.** Para el botadero de basura del municipio de San Vicente de Chucurí no se llevará a cabo el cálculo del volumen de lixiviado debido a que no se cuenta con la información suficiente para su obtención.

Figura 41. Sistemas de Captación, mitigación y tratamiento de gases.



**Figura 42. Sistemas de Captación, mitigación y tratamiento de gases.**



**Sistemas de tratamiento de lixiviados.** En primer lugar, se realiza un análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio. (Ver Anexo E)

- Ensayos de laboratorio:

- Los valores de DBO5 y DQO son relativamente bajos, por lo que podría decirse que:

Debido a la inexistencia de material de cobertura el agua de lluvia se infiltra rápidamente, diluyendo el lixiviado.

En el sitio donde se empozan los lixiviados se ha generado un tratamiento natural con cobertura vegetal, lo que conlleva a una autopurificación del medio mitigando las cargas contaminantes. El agua de lluvia que cae sobre el humedal o el sistema de baja carga aumenta la dilución de los lixiviados procedentes del vertedero.

- Los valores de DQO en relación con DBO5 son relativamente altos debido a:

En la caracterización de los residuos sólidos, se pudo evidenciar un porcentaje elevado de materia orgánica, por lo que podría pensarse en valores de DBO5 y DQO, relativamente iguales, pero debido a la presencia de agentes altamente contaminantes como las baterías, la DQO toma un valor bastante alto en comparación con la DBO5.

- Clasificación de lixiviados según Tchobanoglous

- Para relaciones  $\frac{DBO_5}{DQO}$  variando entre 0.05 y 0.2, los lixiviados no son fácilmente biodegradables, por lo que se debe implementar un proceso fisicoquímico.

- Para relaciones  $\frac{DBO_5}{DQO}$  variando entre 0.4 y 0.6 los lixiviados contienen materia orgánica fácilmente biodegradable, por lo que un proceso biológico se ajustaría para el tratamiento.

- Para el botadero de basura del municipio de San Vicente se tiene:

$$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{150}{1945} = 0.07$$

Con este resultado se puede observar que los lixiviados producidos en el botadero de basura del municipio de San Vicente de chucurí no son fácilmente biodegradables, por lo tanto un tratamiento biológico no sería el más óptimo, es indispensable diseñar un tratamiento fisicoquímico.

El botadero de basura del municipio se puede catalogar como pequeño debido a su poca extensión ( $3.552\text{m}^2$ ), por lo que podría pensarse en una producción moderadamente baja de caudal de lixiviado, por lo tanto teniendo en cuenta esto y algunas variables económicas el tratamiento fisicoquímico no se va a diseñar. Actualmente los lixiviados se infiltran y afloran en la parte baja del talud, se dispersan en un área aproximada de  $7.500\text{m}^2$ ; la lluvia, la vegetación y otros factores han contribuido al desarrollo de un sistema de tratamiento natural en el sitio de empozamiento.

Se debe evaluar este tratamiento con el fin de determinar su viabilidad, para lo cual se recomienda un mínimo de 6 meses de toma de muestras y ensayos de laboratorio con el fin de determinar la carga contaminante real, las muestras deben ser tomadas en el afluente (caja de medición de caudales) y en el efluente (mínimo tres puntos de toma de muestras en el terreno), (ver plano 4). Los valores obtenidos deben ser comparados con los permitidos (decreto No. 1594 de 1.984) para el vertimiento de estos líquidos a los cuerpos de agua.

Si el tratamiento natural no es viable, el lixiviado producido será recolectado y transportado (semanalmente o de acuerdo a la tasa de producción de lixiviados del vertedero) a la planta de tratamiento de aguas residuales que el municipio tiene proyectado construir. Sin embargo, mientras se lleva a cabo su construcción, los lixiviados seguirán siendo tratados en el sitio, para hacer este proceso más eficiente y efectivo se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Determinar diariamente el caudal de producción de lixiviados.
- Diseño y construcción de filtro recolector de lixiviado
- Diseño y construcción del tanque de almacenamiento
- Diseño y construcción de la red de distribución del lixiviado.
- Realizar ensayos de laboratorio para lo cual se recomienda que inicialmente se lleven a cabo con un lapso de tiempo de quince días, dentro de los dos primeros meses una vez llevadas a cabo las labores de clausura, una vez observada una estabilización en la producción del líquido y de carga contaminante se recomienda seguir haciendo mediciones cada dos meses como reza en la RAS-2000. Como mínimo se deben analizar los siguientes parámetros (DQO, DBO<sub>5</sub>, pH y metales pesados).
- Para reforzar el proceso fitosanitario que está realizando actualmente la vegetación se debe sembrar especies juncáceas.

Para determinar la viabilidad del actual sistema de tratamiento de lixiviados se debe como mínimo llevar a cabo las siguientes recomendaciones:

- Estudio de parámetros fisicoquímicos del suelo se debe determinar como mínimo el tipo de suelo, coeficiente de permeabilidad, color, pH y metales pesados.
- Buscar el posible punto de afloramiento del lixiviado en el cauce del río, recoger muestras y analizarlas en laboratorio para analizar como mínimo los siguientes parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, pH y metales pesados, con el fin de evaluar si se encuentran en el rango de valores permitidos (decreto No. 1594

de 1.984) para su vertimiento de esta clase de líquido en cuerpos de agua superficiales.

- Determinación de niveles freáticos de la zona.
- Determinación de acuíferos y construcción de pozos de monitoreo para toma de muestras de agua, llevarlas a laboratorio para analizar como mínimo los siguientes parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, pH y metales pesados, con el fin de evaluar el grado de contaminación de los manantiales subterráneos.

El diseño de las obras necesarias para llevar a cabo el control de los lixiviados producidos en el vertedero se presenta a continuación:

- Dispositivo para medición de caudales: El caudal será el valor que resulte del siguiente procedimiento:
  - Área de la caja de inspección:  $A = l * l, m^2$ , para un tanque de  $0.5m * 0.5m$   
 $A = 0.5 * 0.5 = 0.25m^2$  (Ver Figura 43)
  - Altura del líquido: Medida directamente en la caja de inspección con una regla  $h, m$
  - Volumen de lixiviado recolectado:  $V = A * h, m^3$   $V_{lixiviado} = 0.25 * h(m^3)$
  - Tiempo: El operario encargado del seguimiento de la producción de lixiviado debe monitorear diariamente la altura para determinar el volumen y con estos datos hallar el caudal  $t, seg$

- Para el cálculo de caudal se tiene:  $Q = \frac{V}{t}$

$$Q = \frac{0.25(m^2) * h(m)}{86.400(seg)} = 2.9 * 10^{-6} \frac{m^2}{seg} * h(m)$$

Por lo tanto el  $Q = 2.9 * 10^{-6} \frac{m^2}{seg} * h(m)$

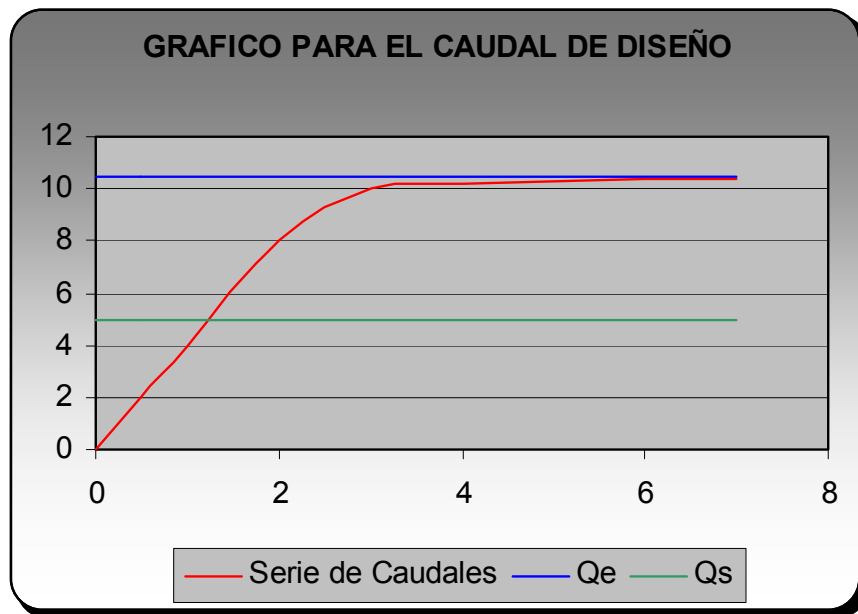
Para expresarlo en litros:  $Q = 2.9 * 10^{-6} \frac{m^2}{seg} * h(m) * 1000 \text{ lps}$

- Construcción del filtro colector de los lixiviados que salen por el pie del talud: se instala la geomembrana de 30 mills en el fondo y en la cara vertical de la zanja, se extiende una capa de 10cm de material de filtro sobre el cual descansa la manguera de polietileno de alta densidad perforada de 10" y se recubre con material de filtro hasta lograr una altura de 50cm, sobre el material de filtro se extiende la capa impermeabilizante de arcilla de un espesor de 40cm compactada al 90% del proctor modificado con el fin de evitar la entrada de agua lluvia. Para su instalación se requiere la apertura de una zanja de 0.9m de altura y una base de 0.4m. (Ver Figura 44)

- Tanque de almacenamiento: Este tanque se debe diseñar para el caudal que resulta de la diferencia  $Q_d$  (ver Figura 45) entre el caudal de estabilización de la producción de lixiviados  $Q_e$  de acuerdo a la serie de caudales tomada por el operario en una serie de tiempo que incluya verano, transición y temporada de lluvias y el caudal de salida del tanque de almacenamiento  $Q_s$ . Para el dimensionamiento del tanque se puede considerar el siguiente procedimiento:

- Graficar el Caudal contra tiempo

**Figura 43. Gráfico ejemplo para el calculo del caudal de diseño  $Q_d$  del tanque de almacenamiento de lixiviados**



Donde,

$Q_e$  = Caudal de estabilización

$Q_s$  = Caudal de salida

$$Q_d = Q_e - Q_s$$

$Q_s =$

Figura 44. Sistema de medición de caudal de lixiviado

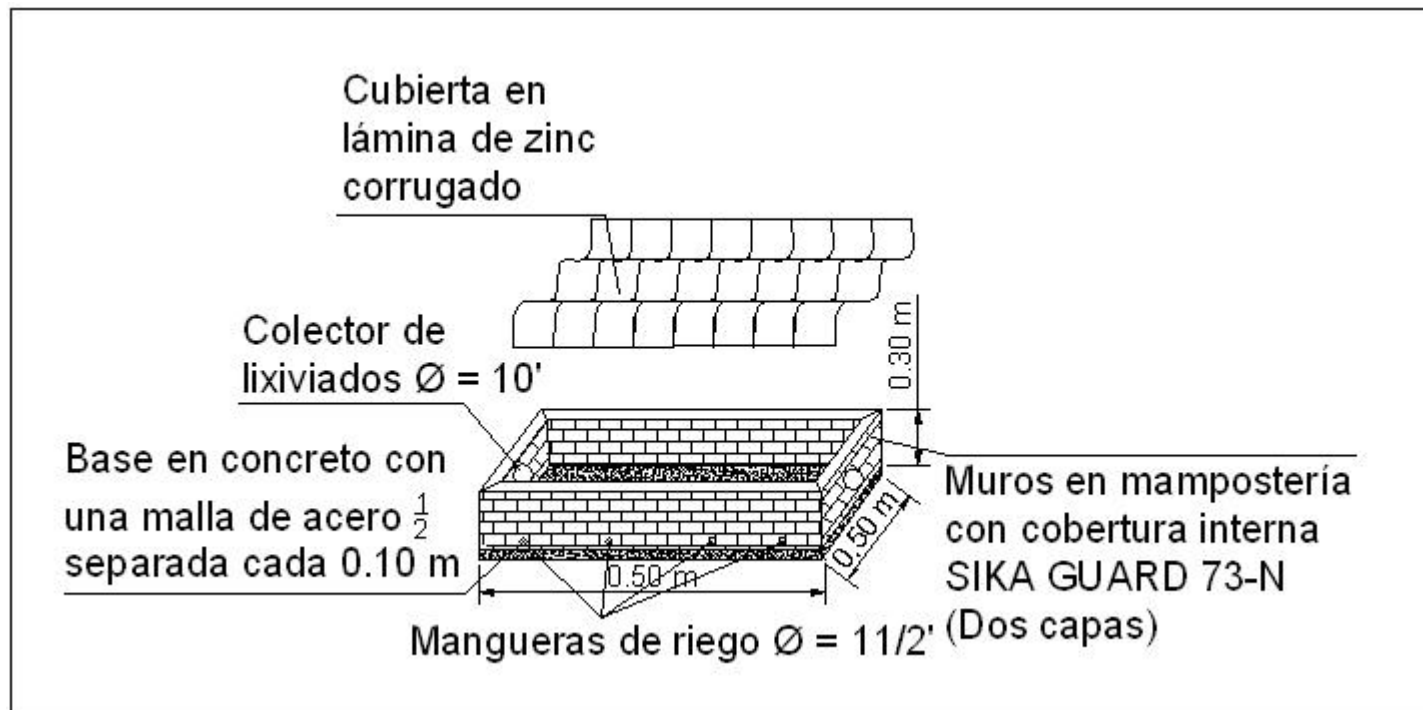
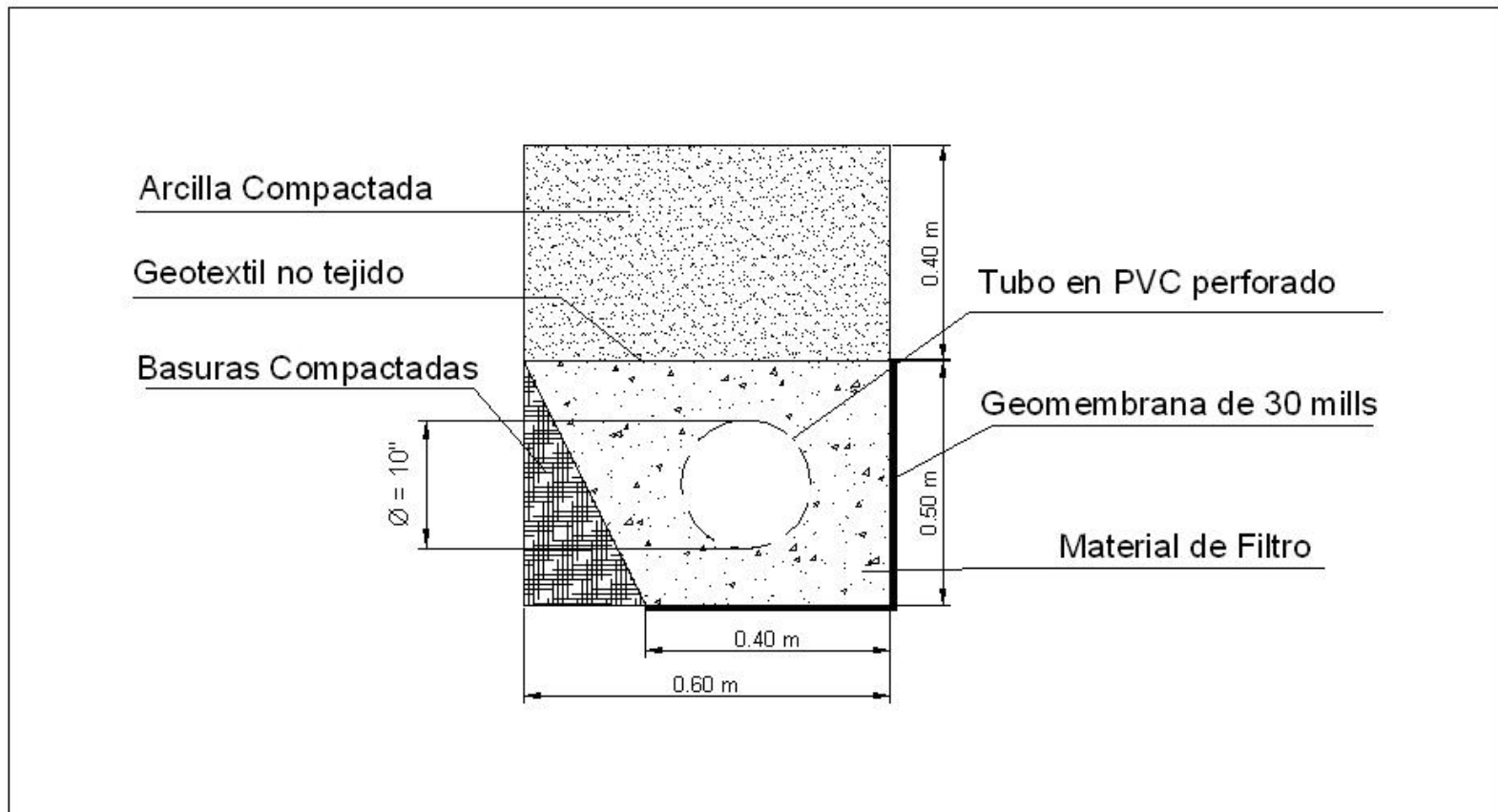


Figura 45. Detalle Zanja de conducción de lixiviados.



- Cálculo del volumen producido por el botadero de basuras

$$V = A * B * C$$

Donde,

$V$  = Volumen de producción de lixiviados

$A$  = Lado menor del tanque

$B$  = Lado mayor del tanque

$C$  = Altura del tanque

Asumiendo que  $B = 2 * A$ , y que debido a la topografía del terreno, la altura del tanque de almacenamiento se debe limitar a un valor máximo de 0.5, con el fin de mantener la red de distribución a la vista,  $C = 0.5m$  se tiene que:

$$V = A * 2 * A * 0.5$$

$$V = 2 * A^2 * 0.5$$

$$V = A^2$$

$$A = \sqrt{V}$$

$$V = Q_d * t \text{ (De acuerdo a la Figura 45)}$$

- Diseño de la red de distribución del lixiviado: El lixiviado recolectado y almacenado en el tanque se debe distribuir lo más uniformemente posible sobre el terreno con el fin de no interrumpir el proceso natural que actualmente se está llevando a cabo. Para el sistema de distribución se recomienda la utilización de mangueras de polietileno perforadas que transporten el líquido del tanque al sitio. (Ver plano 4). El número de mangueras a utilizar puede ser calculado de acuerdo al siguiente procedimiento:

**Sistemas de mitigación de producción de lixiviado.** Una vez instalada la cubierta de impermeabilización y construidos los canales de desviación de aguas lluvias, el volumen de lixiviado producido por el vertedero tenderá a disminuir.

**Sistemas para impedir la migración lateral de lixiviado.** Una vez reevaluado el sistema de tratamiento natural de lixiviados actual, y si se considera que es un mecanismo eficiente para la remoción de contaminantes, se debe diseñar el sistema de impermeabilización lateral de la zona de empozamiento de los líquidos, se recomienda la construcción de una zanja perimetral impermeabilizada con geomembrana y rematada en jarillón para evitar escorrentía superficial y subsuperficial del lixiviado. Además, la migración lateral correspondiente a la zona norte del sitio de empozamiento se controla mediante la prolongación del talud del canal perimetral de recolección de aguas lluvias. También se deben sembrar especies juncáceas bordeando el terreno destinado para el tratamiento.

**Sistema de control de erosión.** Se debe realizar un estudio sobre estabilidad de taludes en la zona, con el objeto de determinar las causas de los deslizamientos ocurridos en los terrenos donde se encuentra fundado el vertedero (ver Fotografías 23 y 24). Sin embargo, como medida correctiva se recomienda la empradización de los taludes.

**Control de papeles y plásticos.** Se debe contratar personal para que retiren del área del basurero materiales como plásticos, icopor y papeles que dificulten las labores de estabilización del sitio.

**Compactación de los residuos sólidos.** El vertedero esta formado por dos zonas como se puede observar en el plano 1, una zona plana y una zona con una pendiente de aproximadamente el 58%, se recomienda compactar la

parte plana con vibrocompactador, para la cara inclinada del basurero se puede probar algún método de compactación manual que arroje buenos resultados, de lo contrario se puede dejar sin compactar.

**Impermeabilización y cobertura.** Una vez terminada la compactación de los residuos, la instalación de las chimeneas se procede a impermeabilizar y cubrir el vertedero, el perfil de la cobertura estará conformado de la siguiente manera:

- Instalación de un geotextil no tejido: El cual debe estar puesto directamente sobre los residuos sólidos y anclados sobre el terreno natural. (Ver Figura 46).
- Capa de arcilla o barrera de control de infiltración: Colocar una capa de suelo con un espesor de 0.9m de material arcilloso con permeabilidades máximas de  $10^{-5}$  cm/seg, compactado hasta lograr el 90% de la densidad máxima del Proctor Modificado. Para evitar el agrietamiento de esta capa se debe mantener la humedad, si se construye en periodos de sequía se debe irrigar constantemente. En la parte plana se debe construir con una pendiente transversal de 1% que permita el escurrimiento de las aguas lluvias hacia el canal de drenaje. En la parte del talud se debe construir canaletas de drenaje cada 5m inclinados, las cuales deben tener una pendiente longitudinal de 1% hacia la estructura de disipación, las canaletas son de sección trapezoidal de 0.4m de base inferior por 0.4m de altura. (Ver Figura 47)

- Capa orgánica: Se coloca sobre la capa de arcilla, esta capa tiene un espesor de 15cm de material limoso, con alto contenido orgánico con el fin de permitir el crecimiento de las plantas.
- Capa vegetal: Se debe sembrar pasto brachiara o cualquier otra especie de nativas de la zona. En la Figura48 se muestra como debe quedar conformado el perfil de cobertura. (Ver secuencia Fotografía 27)

**Estabilización física del sitio.** La evaluación de los parámetros necesarios para determinar la estabilización física del sitio no puede realizar debido a la falta de información concerniente a las propiedades físicas de los residuos sólidos, tales como cohesión, fricción, ángulo de reposo, etc.

**Sistemas de control de propagación de enfermedades (control de roedores, insectos y vectores).** En el momento de iniciar las obras de clausura se debe erradicar roedores, insectos y toda clase de animales presentes en el vertedero que puedan ocasionar daños a la salud pública, en el caso de los insectos se debe realizar un estudio para determinar el ciclo reproductivo e implementar jornadas de fumigación, para roedores se puede emplear raticidas, bajo supervisión de personal experimentado en el uso de este tipo de venenos.

Terminadas las labores de clausura se debe realizar un estudio que permita devolver las aves carroñeras su hábitat salvaje, de lo contrario se estaría atentando contra la vida de esta especie fundamental en el equilibrio del ecosistema.

Figura 46. Detalle anclado geotextil no tejido

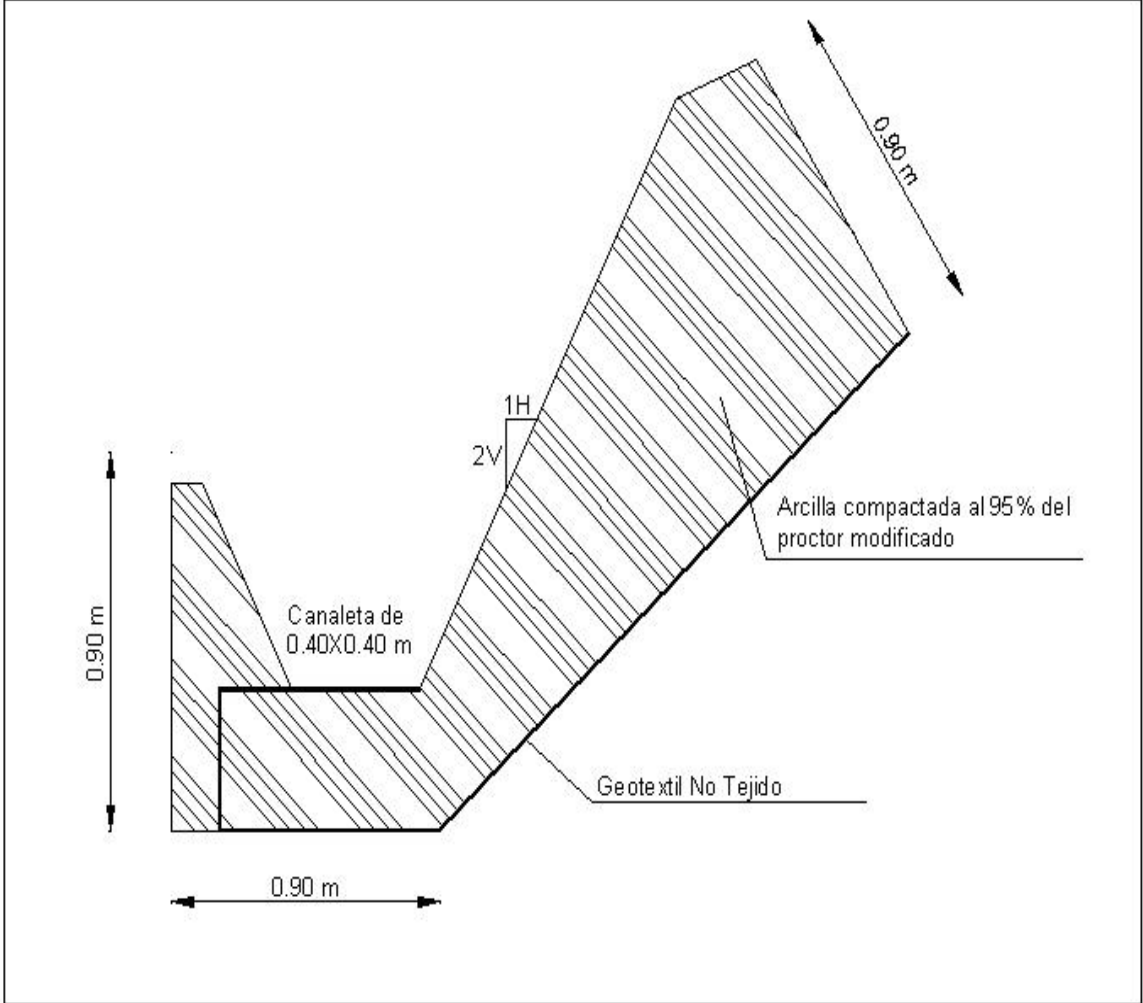


Figura 47. Perfil del botadero clausurado

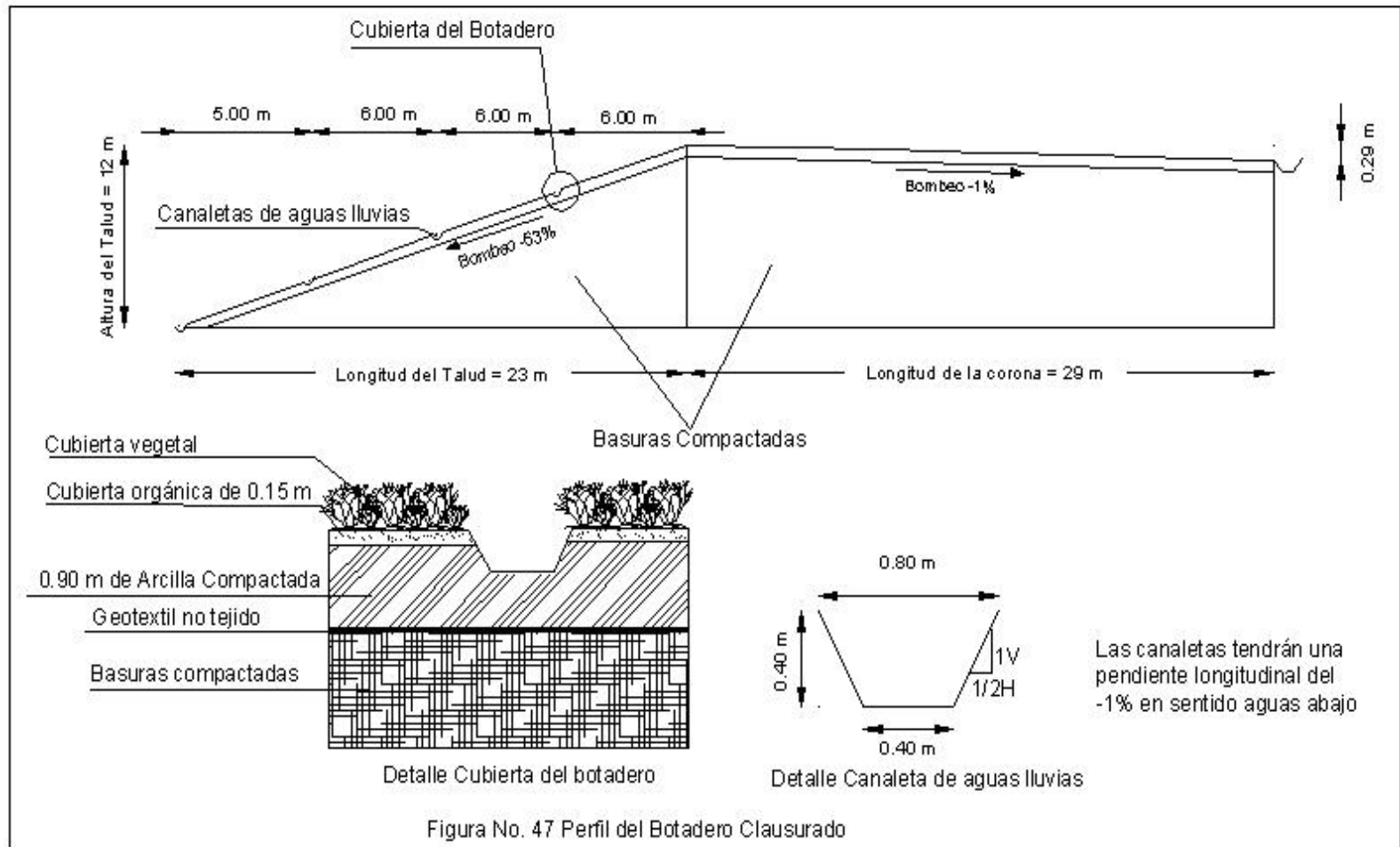
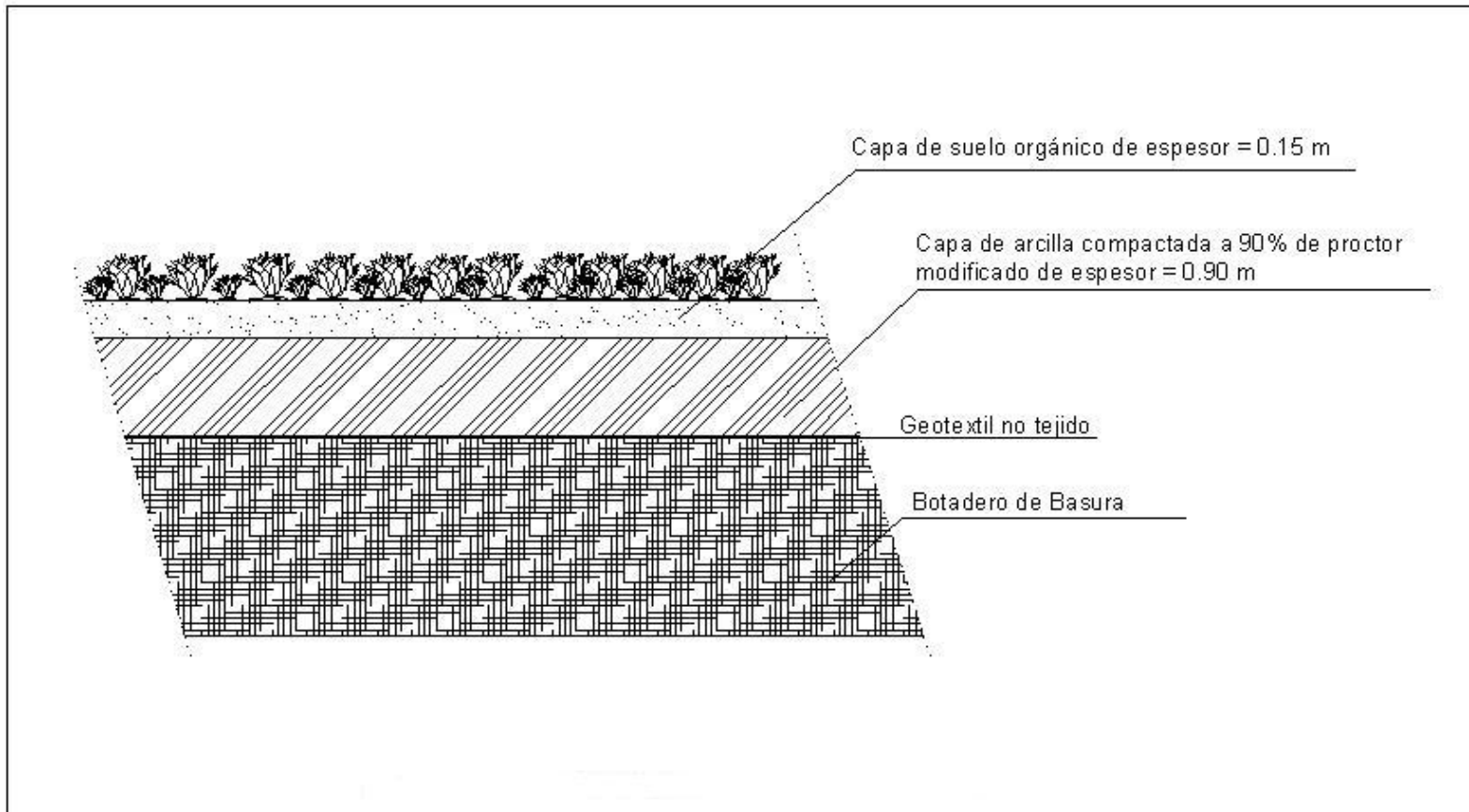


Figura 48. Detalle de la capa de cobertura



**Sistemas de control de olores.** Debido a la imposibilidad de anular los malos olores se plantea la instalación de barreras naturales mediante arborización de los alrededores del botadero.

**Medidas de erradicación, prevención y control de incendios.** Aunque la probabilidad de que se originen incendios en el basurero ya clausurado es bastante baja, se recomienda mantener material propicio para ahogar llamas, y la caseta de control debe estar dotada como mínimo de tres extintores.

**Control de animales grandes.** Una vez construido el cerramiento y la entrada principal se impedirá el paso de animales de pastoreo a la zona del vertedero.

**Selección del equipo mecánico para la ejecución de la obras.** Para la adecuación y construcción de los sistemas anteriores se requiere: Maquinaria pesada como retroexcavadora, cargador, compactador pata de cabra, volquetas, carrotanque, y herramientas menores.

**Recuperación paisajística.** Una vez concluidas las obras de infraestructura y las labores de saneamiento y recuperación del sitio se debe buscar que la obra quede perfectamente camuflada dentro del paisaje natural como se observa en la siguiente secuencia fotográfica:

#### **Seguimiento y monitoreo.**

- Monitoreo de lixiviados: Se debe analizar las muestras de los lixiviados, del tanque de almacenamiento y en el sitio de empozamiento, se recomienda tomar como mínimo tres muestras en puntos distintos de la zona con el fin de obtener mayor cobertura del área (ver plano 4). Las muestras se deben empezar a tomar una vez finalizadas las labores de clausura y con una

periodicidad inicial de quince días durante un lapso de 2 meses, y cada dos meses en el tiempo subsiguiente, como mínimo se deben analizar los siguientes parámetros: DBO<sub>5</sub>, DQO, pH y metales pesados.

- **Monitoreo de agua subterránea:** Se recomienda un estudio detallado de la existencia de acuíferos en la zona y profundidad del nivel freático, para lo cual se debe recurrir a profesionales idóneos en el manejo del tema, si los resultados son positivos, se debe hacer el seguimiento del nivel de contaminación para lo cual es necesario la construcción de pozos de monitoreo, ubicados en la parte alta del vertedero, y otros en la parte baja del mismo, mínimo un pozo en cada sector; los parámetros que se deben analizar y su periodicidad se presentan en el Cuadro 35

**Cuadro 35. Parámetros y frecuencia de muestreo del monitoreo de acuíferos**

Parámetros	Frecuencia
PH	
Conductividad Eléctrica	Semestral
Oxígeno Disuelto	Semestral
Metales Pesados	Semestral
DQO	Semestral
DBO	Semestral
Materia Orgánica	Semestral
Amoníaco	Semestral
Nitritos	Semestral
Nitratos	Semestral

- **Monitoreo del biogás:** Con el fin de establecer si las chimeneas instaladas están operando correctamente, los parámetros a medir y su periodicidad se encuentran en el Cuadro 36

**Cuadro 36. Parámetros y frecuencia del monitoreo de biogás**

<b>Parámetros</b>	<b>Frecuencia</b>
Composición de biogás CH <sub>4</sub> CO <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Bimestral
Explosividad	Bimestral
Caudal	Mensual

- Monitoreo de suelos: Si el sistema de tratamiento es el que se esta dando naturalmente se debe realizar ensayos de laboratorio para determinar el cambio que sufran las características físicas y químicas de los suelos, con el fin de evaluar el grado de contaminación.

**5.2.2 Programa de ejecución de obras de clausura y presupuesto.** Ver Anexo F

**Programa de posclausura:**

- Mantener la integridad de la cobertura y control de erosión: Para lo cual se debe llevar a cabo visitas periódicas al sitio, esta periodicidad se debe mantener hasta cuando se haya establecido correctamente el capa de vegetación y de revestimiento de los canales. Sin embargo, se deben formular programas de mantenimiento y limpieza hasta el tiempo de proyección de la obra. Otra labor a tener en cuenta es el seguimiento y control de asentamientos diferenciales (mediante nivelaciones periódicas del terreno) de la capa de cobertura debido a los procesos de desintegración de las basuras.
- Mantener y operar los sistemas de producción de lixiviado: Estos sistemas pueden ser revisados semanalmente por el operario encargado de la toma de datos para el monitoreo de los caudales.

- Mantener vigilancia sobre el funcionamiento de los sistemas de control de emisión de gases: Revisar periódicamente las chimeneas construidas y vigilar que operen normalmente.

Toda la información obtenida del sitio en el seguimiento y monitoreo y en las labores de clausura debe ser almacenada en un banco de datos. El siguiente formato contiene los controles mínimos que se deben realizar. (Ver Cuadro 37)

Es necesario comparar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a lixiviados, gases, suelos, aguas subterráneas con los valores permitidos, con el fin de aumentar el periodo de toma de datos en aquellos parámetros que se hayan normalizado a través del tiempo. Además, es necesario hacer un seguimiento de los impactantes ambientales producidos en el botadero y que no hayan sido previstos con el objeto de establecer mecanismos de control de los mismos. La información obtenida de los componentes del vertedero debe ser archivada en forma adecuada, para tener fácil acceso a ella en cualquier momento que se requiera.

**Cuadro 37. Reporte de estado de la obra**

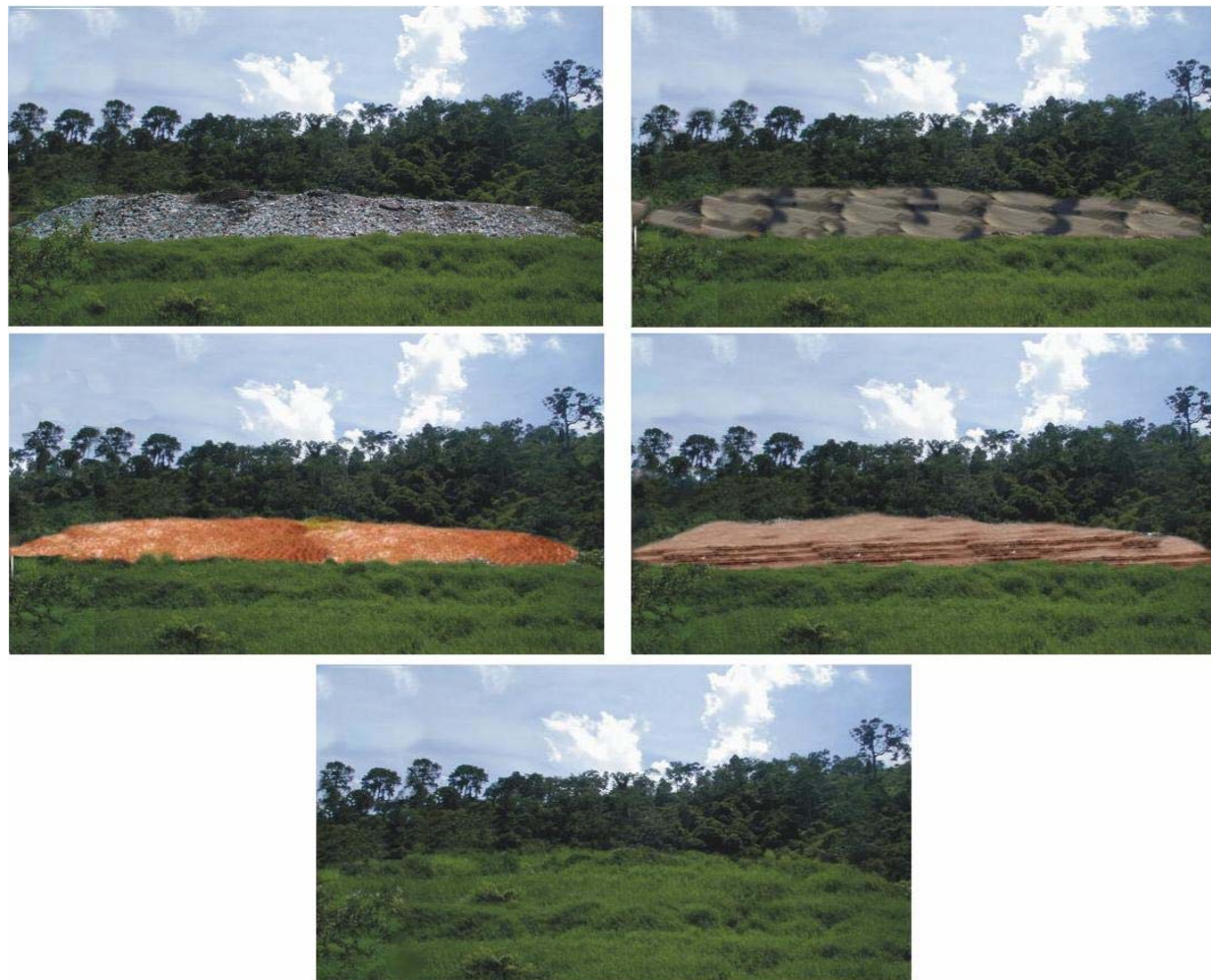
SISTEMAS DE MONITOREO	HORA	FECHA	NOMBRE DEL OPERARIO	OBSERVACIONES GENERALES
Lixiviados				
Gases				
Aguas Subterráneas				
Suelos				
Cobertura				
Erosión				

**5.2.3 Asignación de recursos.** Dentro del Plan de Desarrollo Municipal se debe dar relevancia al proceso de clausura y saneamiento del botadero de

basura, asignando los recursos para la ejecución de las obras en un monto igual o superior al presupuesto oficial de la presente propuesta, ya que asignaciones parciales podría dar origen a obras inconclusas o ineficientes.

**5.2.4 Diseño, construcción, control de calidad e interventoría.** Para el diseño, construcción, control de calidad e interventoría se debe ajustar a los requisitos establecidos en el numeral 5.2.5 de la presente propuesta o en su defecto la Resolución No. 1096 de Noviembre 17 de 2000, por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, capítulos X y XI

**Fotografía 27. Secuencia fotográfica recuperación de la recuperación zona botadero de basura municipio San Vicente de Chucuri**



## **6. CONCLUSIONES**

La propuesta metodológica planteada reúne en gran medida todas las variables necesarias para llevar a cabo el saneamiento y cierre de sitios de disposición de residuos sólidos, de acuerdo con la reglamentación vigente.

En la actualidad entra en vigencia para la mayoría de los municipios del país el decreto 1594, por el cual se reglamenta los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), para su implementación los mandatarios municipales deben llevar a cabo las labores de saneamiento y cierre de aquellos sitios que no cumplan con los requerimientos necesarios para esta clase de vertederos; por lo tanto esta propuesta metodológica reviste mayor importancia si se tiene en cuenta que el tema de las basuras es muy complejo y que en nuestro medio no es manejado de la manera mas adecuada.

El sitio dispuesto como depósito de basuras en el municipio de San Vicente de Chucurí, se ha convertido en un foco de contaminación ambiental, afectando el ecosistema, debido a que se encuentra totalmente desprovisto de sistemas que impidan, mitiguen y controlen todos los impactantes ambientales que se generan en lugares como es éste.

Se presentan diferentes alternativas de solución para el saneamiento y cierre del botadero de basuras del municipio de San Vicente de Chucurí, las variables económicas condicionan en gran medida las estructuras que se diseñaron para mitigar el impacto provocado por el vertedero.

El botadero de basuras del municipio de San Vicente de Chucurí, viola las reglamentaciones donde se ordena que un sitio dispuesto para el manejo de residuos sólidos urbanos debe estar a una distancia mayor de 1000m de un cuerpo de agua superficial.

Los lixiviados producidos por el vertedero presenta bajos índices de materia orgánica, como consecuencia la gran contaminación que se produce por los altos índices de materiales tóxicos (pilas), lo que lleva a pensar que un tratamiento biológico no sería eficiente, sin embargo, en las pruebas de laboratorio realizadas a estos líquidos se encontró valores relativamente bajos de las cargas contaminantes, lo cual puede ser una consecuencia de la dilución que sufren estos líquidos por la infiltración de aguas lluvias.

## **7. RECOMENDACIONES**

### **7.1 RECOMENDACIONES GENERALES**

Aunque los rellenos sanitarios como tratamiento de residuos sólidos resultan no ser la mejor alternativa por su impacto sobre el ecosistema, como lo han considerado los países europeos que utilizan otros métodos (como plantas de incineración, compostaje, etc.), en nuestro país es la técnica más utilizada debido a su bajo costo y a la disponibilidad de grandes extensiones de terreno para su desarrollo, sin embargo, se recomienda que cualquier proyecto debe llevar un estudio de impacto ambiental serio que minimice la afectación sobre el medio, lo que demanda de las administraciones locales y las diferentes entidades ambientales un compromiso real para el cumplimiento de las leyes.

En el departamento de Santander, la mayor parte de sus municipios poseen un sistema inadecuado de manejo de residuos sólidos en detrimento del medio ambiente, por lo tanto se recomienda a las autoridades municipales adelantar las labores concernientes al saneamiento de los lugares destinados como depósitos y la respectiva adecuación de terrenos para implementación de rellenos sanitarios correctamente diseñados con el fin de brindar soluciones reales a la problemática de salubridad pública que se genera.

La metodología propuesta es un primer paso para la generación de una normativa que sirva de control en la disposición final de los residuos sólidos, se recomienda estudios más amplios que permita la consecución de una reglamentación que pueda ser implementada en los municipios teniendo en

consideración sus recursos económicos disponibles, es decir, leyes coherentes en su aplicación.

En la aplicación de la metodología propuesta se recomienda un estricto control en el desarrollo de las actividades relacionadas con los estudios de los parámetros físicos del suelo, aguas subterráneas, estabilidad de terrenos y el tratamiento de los lixiviados; estas variables revisten gran importancia en el diseño de la infraestructura necesaria para lograr el saneamiento óptimo del sector afectado.

Las autoridades municipales tanto de gobierno como policiales deben formular las estrategias que sirvan de base para la implementación de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), haciendo especial hincapié en las actividades relacionadas con la clasificación de los residuos sólidos para su reciclaje en la fuente.

## **7.2 RECOMENDACIONES RELACIONADAS CON LA APLICACION DE LA METODOLOGIA PARA EL BOTADERO DE BASURA EN EL MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE CHUCURI**

De acuerdo al diagnostico presentado se debe ejecutar lo más rápido posible las obras de infraestructura necesarias para clausura y posclausura del botadero de basura del Municipio de San Vicente de Chucurí, el cual no debe escatimar recursos en los estudios propuestos en la presente metodología para lograr el saneamiento mas optimo del lugar.

Para dar inicio a las labores de saneamiento y cierre del botadero, el nuevo relleno sanitario debe haber iniciado sus actividades previamente (como mínimo un mes) y debe ejercerse un estricto control para evitar, por los antecedentes, que éste se convierta en un botadero de basura a cielo abierto.

Se recomienda que la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) lleve un estricto control no sólo de las actividades de clausura sino de las de posclausura del antiguo vertedero de residuos sólidos, para que se evalúen constantemente los impactos a mediano y largo plazo.

Si los estudios de aguas subterráneas arrojan resultados positivos, es decir la zona es una recarga de acuíferos, se recomienda el traslado de los residuos sólidos depositados al sector donde se va a desarrollar el nuevo relleno sanitario técnico. De lo contrario la infiltración de lixiviados continuará contaminando esta agua que afloran en el cauce del río Chucurí, cuyas aguas son captadas para usos domésticos y recreativos en diferentes sectores aguas debajo de los focos de contaminación.

Una vez ejecutadas las obras de infraestructura correspondientes a la clausura del botadero de basura, se hace necesario el estudio periódico de los lixiviados producidos por el vertedero, sí éstos arrojan valores de cargas contaminantes muy elevados, el humedal natural formado no podrá usarse como sistema de tratamiento, por lo tanto, se recomienda el diseño y construcción de una planta de tratamiento de lixiviados o el traslado de estos líquidos a la planta de tratamiento para aguas residuales que el municipio debe construir.

De acuerdo a la información recopilada y a la obtenida en la visita de reconocimiento se pudo determinar focos erosivos en algunos sectores aledaños al botadero de basura, por lo tanto, se recomienda desarrollar un plan de estabilización de taludes y laderas.

El río Chucurí es un afluente del río Sogamoso, el botadero de basura se encuentra ubicado a 270m de su cauce violando la normativa que reza “ningún vertedero de residuos sólidos debe estar ubicado a menos de 500m

de distancia de fuentes de aguas superficiales”. Se recomienda estudiar el grado de contaminación de sus aguas, al mismo tiempo la secretaría de salud debe adelantar estudios de salubridad en los habitantes aguas abajo, con el fin de identificar enfermedades dérmicas o virales que puedan ser consecuencia de lo anteriormente mencionado, lo que obliga a la formulación de medidas preventivas y correctivas en pro del bienestar de los pobladores.

Para el desarrollo de la cubierta final del vertedero correspondiente a la capa de vegetación, se recomienda que los árboles, arbustos plantados sean nativos de la zona que se reproduzcan por estaca

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALCALDÍA MUNICIPAL DE SAN VICENTE DE CHUCURÍ - SANTANDER.  
Plan Básico de Ordenamiento Territorial 2001-2009. San Vicente de Chucurí.  
2001.

ALCALDIA MUNICIPAL DE SAN VICENTE DE CHUCURI – SANTANDER  
Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS, 2.004

COLLAZOS, PEÑALOZA, Héctor. Diseño y operación de Rellenos  
Sanitarios, ACODAL.

GUIA AMBIENTAL, SANEAMIENTO Y CIERRE DE BOTADEROS A CIELO  
ABIERTO, Ministerio de Medio Ambiente, 2002.

GUIA PARA EL DISEÑO, Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS  
MANUALES. Programa de Salud Ambiental. Organización panamericana de  
la Salud – Organización Mundial de la Salud. Serie Técnica No. 28 - Enero  
de 1997

GUIA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CIUDADES  
PEQUEÑAS Y ZONAS RURALES. CEPIS, Organización Panamericana de la  
Salud – Organización Mundial de la Salud

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS, Manual de Gerenciamiento  
Integrado, Brasil.

MENDOZA, F,R. y MEDINA, C,J. 2002. Diagnóstico del manejo y disposición final de residuos sólidos en el área urbana del municipio de San Vicente de Chucurí - Santander. Planteamiento de alternativas técnicas para el manejo integral de los residuos sólidos. Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de ingeniería sanitaria y ambiental.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – ras 2000.

SUAREZ, D. Jaime. Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Colombia. Ediciones UIS, 1998

TCHOBANOGLIOUS, George., THEISEN Hilary., VIGIL, Samuel A. Gestión Integral de Residuos Sólidos. España, McGraw-Hill. 1996

<http://members.fortunecity.es/emacos2001/index2.htm>

<http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/curso/pequena/pequena.html>

<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=759>

<http://www.guanajuato.gob.mx/ieeg/proyecto.htm#DIF>

[http://www.euskadi.net/azertu/ib7\\_c.htm](http://www.euskadi.net/azertu/ib7_c.htm)

<http://www.ingenieroambiental.com/?pagina=793>

<http://www.resol.com.br/textos/geotecnia%20de%20um%20aterro.htm>

<http://licpereyramele.tripod.com.ar/Lixiviados.html>

<http://www.termo.esiqie.ipn.mx/Seminarios/LuisFelipe21.pdf>

[http://www.conama.cl/portal/1255/article-27475.html#h2\\_6](http://www.conama.cl/portal/1255/article-27475.html#h2_6)

[http://icc.ucv.cl/geotecnia/05\\_publicaciones/publicaciones\\_propias/aidis99.doc](http://icc.ucv.cl/geotecnia/05_publicaciones/publicaciones_propias/aidis99.doc)

<http://www.aytolacoruna.es/medioambiente/sectores/residuos/Bens/>

<http://jaibana.udea.edu.co/grupos/giga/lineas/tratamiento.biologico.aguas.htm>

[http://www.cotecnica.com/ambiente\\_final\\_lixiviados.html](http://www.cotecnica.com/ambiente_final_lixiviados.html)

<http://platea.pntic.mec.es/~jojimene/textoRSU.htm>

<http://www1.ceit.es/rinternacional/socrates2/solicitud.html>

<http://www.kdm.cl/plantadetratamientos.htm>

[http://www.ambientum.com/revista/2001\\_40/2001\\_40\\_SUELOS/LXVDOSRSU4.htm](http://www.ambientum.com/revista/2001_40/2001_40_SUELOS/LXVDOSRSU4.htm)

<http://www.mific.gob.ni/DocuShare/dscgi/ds.py/GetRepr/File-3172/html>

<http://www.minproteccionsocial.gov.co/MseContent/images/news/DocNewsNo10143.doc>

<http://www.corporinoquia.gov.co/ktml2/images/uploads/Licencias%20y%20Permisos%20Ambientales/Terminos%20de%20Referencia%20Rellenos%20Sanitarios.doc>

<http://www.estrucplan.com.ar/Legislacion/Buenos%20Aires/Resoluciones/Secretaria%20de%20Politica%20Ambiental/2002/Res01143-02-Anexo.asp>

<http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/cursos/pequena/pequena.html>

<http://www.vitalis.net/actualidad31.htm>

[http://www.eco-sitio.com.ar/rellenos\\_sanitarios.htm](http://www.eco-sitio.com.ar/rellenos_sanitarios.htm)

# **ANEXOS**

## Anexo A. Valores totales mensuales de precipitación IDEAM

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION  
NACIONAL AMBIENTAL

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)

FECHA DE PROCESO : 2004/11/09

ESTACION : 2405006 SAN VICENTE

LATITUD 0652 N TIPO EST PM DEPTO SANTANDER FECHA-INSTALACION 1958-ABR  
LONGITUD 7324 W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICIPIO SAN VICENTE DE CHUCURI FECHA-SUSPENSION  
ELEVACION 0721 m.s.n.m REGIONAL 08 SANTANDERES CORRIENTE CHUCURI

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1984	2	01	56.0	143.0	147.0	210.0	203.0	134.0	170.0	95.0	218.0	326.0	190.0	87.0	1979.0
1985	2	01	112.0	63.0	413.0	247.0	158.0	140.0	61.0	115.0	183.0	342.0	138.0	98.0	2070.0
1986	2	01	123.0	111.0	210.0	221.0	241.0	95.0	112.0	149.0	169.0	309.0	167.0	25.0	1932.0
1987	2	01	163.0	83.0	303.0	243.0	203.0	60.0	91.0	136.0	156.0	295.0	232.0	49.0	2014.0
1988	2	01	65.0	255.0	59.0	254.0	113.0	161.0	144.0	185.0	96.0	351.0	217.0	213.0	2113.0
1989	2	01	74.0	51.0	344.0	47.0	146.0	75.0	76.0	146.0	213.0	83.0	149.0	129.0	1533.0
1990	2	01	117.0	97.0	178.0	229.0	169.0	107.0	71.0	58.0	74.0	240.0	94.0	249.0	1683.0
1991	2	01	14.0	119.0	265.0	104.0	212.0	148.0	70.0	73.0	214.0	137.0	165.0	40.0	1561.0
1992	2	01	137.0	72.0	160.0	95.0	179.0	178.0	126.0	89.0	112.0	149.0	248.0	32.0	1577.0
1993	2	01	127.0	101.0	124.0	260.0	260.0	37.0	166.0	146.0	190.0	197.0	296.0	55.0	1959.0
1994	2	01	147.0	82.0	153.0	136.0	258.0	83.0	260.0	106.0	113.0	185.0	262.0	63.0	1848.0
1995	1	01	64.0	80.0	249.0	233.0	227.0	177.0	181.0	378.0	114.0	278.0	157.0	103.0	2241.0
1996	1	01	82.0	26.0	203.0	145.0	301.0	217.0	151.0	145.0	244.0	304.0	303.0	75.0	2196.0
1997	1	01	48.0	208.0	217.0	250.0	120.0	130.0	158.0	106.0	182.0	257.0	131.0	10.0	1817.0
1998	1	01	177.0	250.0	55.0	255.0	243.0	121.0	183.0	108.0	153.0	233.0	216.0	93.0	2087.0
1999	1	01	68.0	225.0	118.0	229.0	212.0	142.0	112.0	160.0	441.0	346.0	237.0	168.0	2458.0
2000	1	01	166.0	229.0	152.0	150.0	96.0	135.0	19.0	95.0	254.0	253.0	202.0	216.0	1967.0
2001	1	01	42.0	66.0	143.0	147.0	158.0	129.0	214.0	94.0	133.0	201.0	148.0	81.0	1556.0
2002	1	01	39.0	160.0	236.0	186.0	255.0	143.0	113.0	200.0	142.0	147.0	54.0	53.0	1728.0
2003	1	01	70.0	171.0	350.0	186.0	170.0	194.0	84.0	186.0	230.0	221.0	151.0	121.0	2134.0
2004	1	01	72.0	113.0	241.0	180.0	213.0	89.0	105.0	3					1013.0
MEDIOS			93.5	128.8	205.7	190.8	197.0	128.3	127.0	138.5	181.6	242.7	187.9	98.0	1919.7
MAXIMOS			177.0	255.0	413.0	260.0	301.0	217.0	260.0	378.0	441.0	351.0	303.0	249.0	441.0
MINIMOS			14.0	26.0	55.0	47.0	96.0	37.0	19.0	58.0	74.0	83.0	54.0	10.0	10.0

Información Suministrada por  
IDEAM  
AREA OPERATIVA No. 8  
Santanderes y Arauca

## Anexo B. Tabla 3-4 Hidráulica para canales (Germán Gavilán)

MATERIAL	n
Vidrio, plástico, material maquinado	0.010
Madera aserrada	0.014
Mortero frisado	0.011
Hormigón pulido	0.013
Hormigón, con formaletas en madera	0.014
Ladrillo	0.014
Tierra suave, sin malezas	0.020
Tierra, con algunas piedras y malezas	0.025
Metal corrugado	0.022
Fundición nueva	0.015
Fundición con incrustaciones	0.020
Tierra, pobres condiciones	0.035
Tierra, obstruida por malezas y desperdicios	0.050 – 0.150

Tabla No. 3-4 Hidráulica de Canales Abiertos, Germán Eduardo Gavilán

### Anexo C. Tabla 3.11 taludes recomendados

Material	Talud
Roca sana no estratificada	Prácticamente vertical
Roca estratificada ligeramente alterada	3/4:1-1/2:1
Tocas alteradas	1:1
Grava angulosa	1:1
Suelos de turba y detritos	3/4:1
Arcilla compacta con recubrimiento de concreto	3/4:1 hasta 1:1
Suelo limo-arenoso con grava gruesa	1:1 1/2
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes canales	1:1
Areniscas blanda	3/2:1 hasta 2:1
Tierra arenosa suelta	2:1
Arcilla arenosa o arcilla porosa	3:1

Tabla 3.11 Taludes Recomendados para Canales sin Revestimientos (Ven Te Chow 1959)

### Anexo D.

## Tabla de velocidades Medias (m/s) de la Corriente de Agua, que son Admisibles (no erosivas) para Suelos Cohesivos. Lichtvan-Levediev

Tipo de Suelo	% del contenido de partículas	Suelos poco compactos, peso específico del material seco hasta 1.66 Ton/m <sup>3</sup>					Suelos medianamente compactados, peso específico del material seco 1.20 - 1.66 Ton/m <sup>3</sup>					Suelos compactados, peso específico del material seco 1.66 - 2.04 Ton/m <sup>3</sup>					Suelos muy compactados, peso específico del material seco 2.04 - 2.14 Ton/m <sup>3</sup>				
		0.005-0.05	0.4	1.0	2.0	3.0	0.4	1.0	2.0	3.0	0.4	1.0	2.0	3.0	0.4	1.0	2.0	3.0			
Arcillas y tierras muy arcillosas	30-50	0.35	0.45	0.45	0.50	0.70	0.65	0.95	1.10	1.00	1.20	1.040	1.50	1.40	1.70	1.90	2.10				
ligeramente arcillosas	20-30																				
Suelos de aluvión y arcillas margosas	10-20	0.35	0.40	0.45	0.50	0.65	0.80	0.9	1.00	0.95	1.20	1.40	1.50	1.40	1.70	1.90	2.10				
arcillas margosas arenosas	5-10						0.60	0.70	0.80	0.85	0.80	1.0	1.20	1.30	1.10	1.30	1.50	2.10			

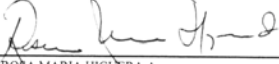
Segun tabla 3-9 de acuerdo con la fracción de arenas  
 Velocidades medias (m/s) de la corriente de agua, que son admisibles (no erosivas) para suelos cohesivos. Lichtvan-Levediev

## Anexo E. Ensayos de laboratorio de Lixiviados

	<b>LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS</b> Finca La Esperanza, Vereda Helechales, Floridablanca, Santander Teléfono 6484898	Fecha de emisión: Mayo 12/04	
	<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS</b>	No. 0034 Rev. 0	Pag. 1 de 1

Emitido a:	Normatización y Calidad Ambiental	Fecha muestreo:	Abril 28/04
Muestreo realizado por:	Ing. Oscar Rey		
Sitio de muestreo:	Botadero de Basura Municipio San Vcente ( Santander)		
Punto:	Muestra No. 1		
Fecha de iniciación de los analisis	Mayo 10/04	Fecha de terminacion de los analisis:	Abril 2/04
N° muestra Lab.	238	Fecha recepción:	Abril 28/04

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO USADO
PH	8,39	Unid de PH	Potenciométrico
Conductividad	4900	uS/cm	Conductimétrico
DQO	1945	mg O <sub>2</sub> /L	Reflajo cerrado. Titulométrico
DBO <sub>5</sub>	150	mg O <sub>2</sub> /L	DBO cinco días
Nitrógeno Amoniacal	84,0	(mgN/l)	Destilación - Titulación
Nitrógeno Total Kjeldalh (mgN/l)	146	(mgN/l)	Digestión - Titulación
Fósforo Total (mgP/l )	3,40	(mgP/l)	Digestión-Colori. Ac. Ascórbico
Niquel	0,20	mg Ni/L	Asp. Directa por A.A
Cadmio	<0,028	mg Cd/L	Asp. Directa por A.A
Cromo	0,34	mg Cr/L	Asp. Directa por A.A
Plomo	<0,19	mg Pb/L	Asp. Directa por A.A
Mercurio	5,70	ug Hg /L	Vapor Frío. AA
Sólidos totales	6932	mg/L	Secados a 103-105°C
Sólidos suspendidos	2875	mg/L	Secados a 103-105°C
Sólidos suspendidos Volátiles	675	mg/L	Calcínación a 550 °C

  
 ROSA MARIA HIGUERA A.  
 Quim. Profesional Especializado

Nota: Los resultados reportados corresponden a la muestra recibida y analizada en este laboratorio

**Anexo F. Presupuesto y programa de ejecución de obras**

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA: <b>DIA</b>				
ITEM: <b>LOCALIZACION REPLANTEO Y CONTROL</b>				
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
TEODOLITO-NIVEL DE PRECISION	DIA	1,00	30.000,00	30.000,00
			TOTAL EQUIPO	30.000,00
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
			% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES	0,00

MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL
COMISION TOPOGRAFICA	90.000,00	1,00	166.500,00	166.500,00
TOTAL MANO DE OBRA				166.500,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>196.500</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA: <b>GLOBAL</b>				
ITEM: <b>VALLA INFORMATIVA CASCO URBANO</b>				
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
VALLA METALICA INFORMATIVA	UNIDAD	1,00	250.000,00	250.000,00
TOTAL VALLA				250.000,00

MATERIAL	UNIDA D	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
		% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES		0,00
MANO DE OBRA	JORNA L	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL
		TOTAL MANO DE OBRA		0,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>250.000</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**UNIDAD DE MEDIDA:  
**GLOBAL**ITEM:  
**VALLA INFORMATIVA EN LA OBRA**

EQUIPO	UNIDA D	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
VALLA METALICA INFORMATIVA	UNIDA D	1,00	250.000,00	250.000,0 0
			TOTAL VALLA	250.000,0 0
MATERIAL	UNIDA D	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
			% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES	0,00
MANO DE OBRA	JORNA L	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL

	TOTAL MANO DE OBRA 0,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>250.000</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA: <b>GLOBAL</b>				
ITEM: <b>VALLA DE RESTRICCION</b>				
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
VALLA RESTRICITIVA	UNIDAD	1,00	50.000,00	50.000,00
				50.000,00
<b>TOTAL VALLA</b>				<b>0</b>

MATERIAL	UNIDA D	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIA L
		% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES		0,00
MANO DE OBRA	JORNA L	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIA L
		TOTAL MANO DE OBRA		0,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>50.000</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

UNIDAD DE MEDIDA:  
**ML**

ITEM:  
**CERRAMIENTO PERIMETRAL**

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIA L
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	200,00	200,00
		TOTAL EQUIPO		200,00
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIA L
POSTE DE MADERA	UNIDAD	0,40	1.000,00	400,00
ALAMBRE DE PUAS CALIBRE 12	ML	8,00	150,00	1.200,00
GRAPAS	CAJA	0,04	2.000,00	80,00
		% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES		1.680,00
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIA L
CUADRILLA (1X2)	45.000,0 0	100,00	83.250,00	832,50
		TOTAL MANO DE OBRA		832,50

<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>2.712,50</b>
----------------------------	-----------------

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA: <b>GLOBAL</b>				
ITEM: <b>PUERTA ENTRADA PRINCIPAL</b>				
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	200,00	200,00
			<b>TOTAL EQUIPO</b>	<b>200,00</b>
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
POSTE DE MADERA	UNIDAD	6,00	2.000,00	12.000,00
ALAMBRE DE PUAS CALIBRE 12	ML	36,00	150,00	5.400,00
GRAPAS	UNIDAD	50,00	10,00	500,00

				% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES	17.900,00
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL	
CUADRILLA (1X1)	33.000,00	1,00	61.050,00	61.050,00	
				TOTAL MANO DE OBRA	61.050,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>79.150,00</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA:	<b>M<sup>2</sup></b>			
ITEM:	<b>CASETA DE CONTROL TECNICO Y VIGILANCIA</b>			
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIA L
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	200,00	200,00

		TOTAL EQUIPO		200,00
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIA L
MADERA ROLLIZA	ML	2,20	800,00	1.760,00
TABLA TOLUA	ML	1,50	1.500,00	2.250,00
PUNTILLA	CAJA	0,10	2.000,00	200,00
LAMINA DE ZINC CONFORMACION DE SUELO	UNIDAD M2	0,70 1,00	9.000,00 1.000,00	6.300,00 1.000,00
		% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES		11.510,0 0
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIA L
CUADRILLA (1X3)	57.000,0 0	32,00	105.450,00	3.295,31
		TOTAL MANO DE OBRA		3.295,31
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>15.005,3 1</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

UNIDAD DE MEDIDA:

**ML**

ITEM:

**CERCO VIVO**

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	120,00	120,00
			TOTAL EQUIPO	120,00
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
SWINGLIA	UNIDAD	5,00	800,00	4.000,00
			% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES	4.000,00
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL
CUADRILLA (1X2)	45.000,00	500,00	83.250,00	166,50

	TOTAL MANO DE OBRA	166,50
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>		<b>4.286,50</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

UNIDAD DE MEDIDA:  
**UNIDAD**

ITEM:  
**CHIMENEA**

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
RETROEXCAVADORA	HORA	2	90.000,00	180.000,00
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	500,00	500,00
VIBROCOMPACTADO R	M3	6,00	5.000,00	30.000,00
<b>TOTAL EQUIPO</b>				<b>210.500,00</b>
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
TUBO PVC 8" PERFORADO	ML	5,00	32.000,00	160.000,00
TUBO PVC 6" TRANSPORTE	ML	7,00	30.000,00	210.000,00
MATERIAL DE FILTRO	M3	3,75	1.000,00	3.750,00
GEOMALLA	M2	16,00	1.500,00	24.000,00
TEMPLETE 1/4"	ML	9,00	2.500,00	22.500,00
QUEMADOR	UNIDAD	1,00	100.000,00	100.000,00
<b>% DESPERDICIO TOTAL</b>				<b>520.250,00</b>

<b>MATERIALES</b>				0
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>JORNAL</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>JORNAL + P.S. (85%)</b>	<b>VALOR PARCIAL</b>
	45.000,00	0,50	83.250,00	166.500,00
CUADRILLA (1X2)	0			0
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>166.500,00</b>
				<b>0</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>897.250,00</b>
				<b>0</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA:				
<b>ML</b>				
ITEM:				
<b>CANAL PERIMETRAL DE 0,60X0,60</b>				
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES VIBROCOMPACTADOR	GL	1,00	500,00	500,00
	M3	1,00	5.000,00	5.000,00

<b>TOTAL EQUIPO</b>				<b>5.500,00</b>
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR PARCIA L</b>
PASTO VETIVER	M2	6,60	4.000,00	26.400,00
ARCILLA	M3	1,98	12.000,00	23.760,00
<b>% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES</b>				<b>50.160,00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>JORNAL</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>JORNAL + P.S. (85%)</b>	<b>VALOR PARCIA L</b>
2 CUADRILLA (1X2)	90.000,00	100,00	166.500,00	1.665,00
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>1.665,00</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>57.325,00</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

UNIDAD DE MEDIDA:

**ML**

ITEM:

**CANALETA DE 0,40X0,40**

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	500,00	500,00
			TOTAL EQUIPO	500,00
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
PASTO VETIVER	M2	1,40	4.000,00	5.600,00
			% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES	5.600,00
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL
2 CUADRILLA (1X2)	90.000,00	100,00	166.500,00	1.665,00

	TOTAL MANO DE OBRA	1.665,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>		<b>7.765,00</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA: <b>ML</b>				
ITEM: <b>COLECTOR DE LIXIVIADO</b>				
QUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	500,00	500,00
VIBROCOMPACTADOR	M3	0,24	5.000,00	1.200,00
TOTAL EQUIPO				1.700,00
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
MANGUERA POLIETILENO PERF.10"	ML	1,00	32.000,00	32.000,00

TRANSPORTE MATERIAL DE FILTRO	M3	0,20	1.000,00	200,00
TRANSPORTE ARCILLA	M3	0,24	12.000,00	2.880,00
GEOMEMBRANA 30 MILLS	M2	0,90	10.000,00	9.000,00
				% DESPERDICIO
				TOTAL MATERIALES
				44.080,00
				0
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL
2 CUADRILLA (1X2)	90.000,00	20,00	166.500,00	8.325,00
				TOTAL MANO DE OBRA
				8.325,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>54.105,00</b>
				<b>0</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

UNIDAD DE MEDIDA:

**GLOBAL**

ITEM:				
<b>TANQUE MEDIDOR DE CAUDALES DE LIXIVIADOS</b>				
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	500,00	500,00
			<b>TOTAL EQUIPO</b>	<b>500,00</b>
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
CONCRETO 3000 PSI	M3	0,03	300.000,00	7.500,00
ACERO DE REFUERZO	KG	42,00	1.500,00	63.000,00
MAMPOSTERIA	M2	0,60	16.000,00	9.600,00
CUBIERTA EN LAMINA DE ZINC	UNIDAD	2,00	15.000,00	30.000,00
FRISO	M2	0,60	8.000,00	4.800,00
			<b>% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES</b>	<b>114.900,00</b>
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL
CUADRILLA (1X2)	45.000,00	0,70	83.250,00	118.928,57
			<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>	<b>118.928,57</b>

<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>234.328,57</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA:				
<b>GLOBAL</b>				
ITEM:				
<b>RED DISTRIABUCION DE LIXIVIADO</b>				
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	500,00	500,00
			TOTAL EQUIPO	500,00
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
MANGUERA PERFORADA 1 1/2"	ML	150,00	1.000,00	150.000,00

		% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES		150.000,00
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL
CUADRILLA (1X2)	45.000,00	1,70	83.250,00	48.970,59
		TOTAL MANO DE OBRA		48.970,59
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>199.470,59</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA: <b>ML</b>				
ITEM: <b>CANAL DE 0,60X0,60</b>				
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL

HERRAMIENTAS MENORES VIBROCOMPACTAD OR	GL M3	1,00 1,00	500,00 5.000,00	500,00 5.000,00
<b>TOTAL EQUIPO</b>				<b>5.500,00</b>
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR PARCIA L</b>
PASTO VETIVER	M2	6,60	4.000,00	26.400,0 0
ARCILLA	M3	3,30	12.000,00	39.600,0 0
<b>% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES</b>				<b>66.000,0 0</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>JORNAL</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>JORNAL + P.S. (85%)</b>	<b>VALOR PARCIA L</b>
2 CUADRILLA (1X2)	90.000,0 0	100,00	166.500,00	1.665,00
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>1.665,00</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>73.165,0 0</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA: <b>M3</b>				
ITEM: <b>CUBIERTA EN ARCILLA</b>				
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	500,00	500,00
VIBROCOMPACTADOR	M3	1,00	5.000,00	5.000,00
<b>TOTAL EQUIPO</b>				<b>5.500,00</b>
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
GEOMALLA	M2	1,00	1.500,00	1.500,00
TRANSPORTE ARCILLA	M3	1,00	12.000,00	12.000,00
<b>% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES</b>				<b>13.500,00</b> <b>0</b>

MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIA L
CUADRILLA (1X2)	45.000,0 0	50,00	83.250,00	1.665,00
TOTAL MANO DE OBRA				1.665,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>20.665,0 0</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

UNIDAD DE MEDIDA:

**M3**

ITEM:

**CUBIERTA ORGANICA**

EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	500,00	500,00
			TOTAL EQUIPO	500,00
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
MATERIAL ORGANICO	M3	1,00	6.000,00	6.000,00
			% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES	6.000,00
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIAL

CUADRILLA (1X1)	33.000,0 0	300,00	61.050,00	203,50
		TOTAL MANO DE OBRA		203,50
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>6.703,50</b>

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
UNIDAD DE MEDIDA:	<b>M2</b>			
ITEM:	<b>CUBIERTA VEGETAL</b>			
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	500,00	500,00
		TOTAL EQUIPO		500,00
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL

PASTO BRACHIARIA	M2	1,00	3.000,00	3.000,00
		% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES		3.000,00
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIA L
CUADRILLA (0X4)	48.000,0 0	1.000,00	88.800,00	88,80
		TOTAL MANO DE OBRA		88,80
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>3.588,80</b>

**ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

UNIDAD DE  
MEDIDA:

**M3**

ITEM:

**LIMPIEZA GENERAL Y RETIRO DE ESCOMBROS**

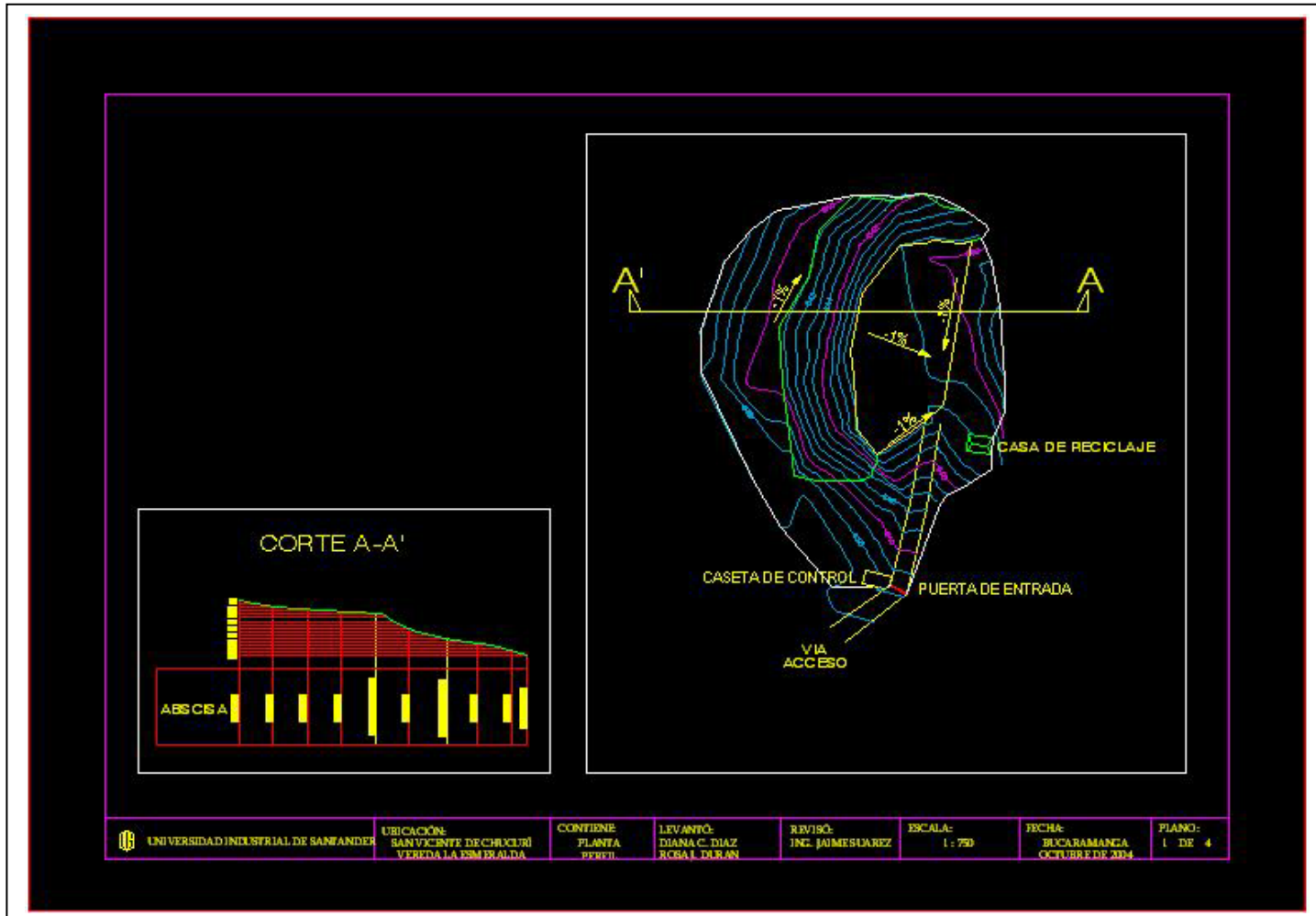
EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIA L
HERRAMIENTAS MENORES	GL	1,00	5.000,00	5.000,00
			<b>TOTAL EQUIPO</b>	<b>5.000,00</b>
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIA L
			<b>% DESPERDICIO TOTAL MATERIALES</b>	<b>0,00</b>
MANO DE OBRA	JORNAL	RENDIMIENTO	JORNAL + P.S. (85%)	VALOR PARCIA L
CUADRILLA (0X4)	48.000,0 0	35,00	88.800,00	2.537,14
			<b>TOTAL MANO</b>	<b>2.537,14</b>

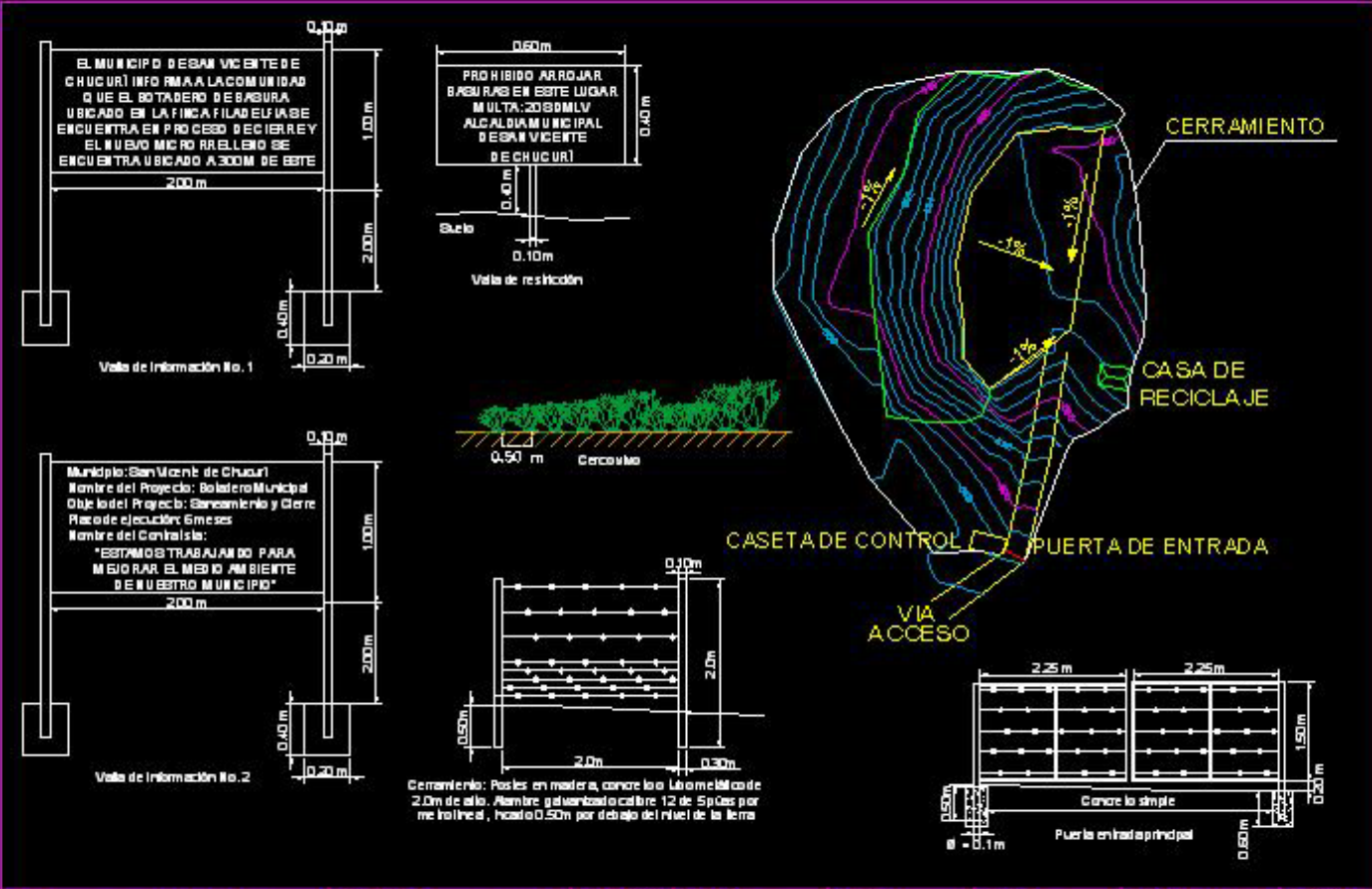
DE OBRA
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b> <b>7.537</b>

<b>PRESUPUESTO DE OBRA</b>					
<b>CLAUSURA Y POSCLAUSURA BOTADERO DE BASURA MUNICIPIO DE SAN VICENTE</b>					
ITEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
1	LOCALIZACION REPLANTEO Y CONTROL	DIA	3,00	196.500,00	589.500,00
2	VALLA INFORMATIVA CASCO URBANO	UNIDAD	1,00	250.000,00	250.000,00
3	VALLA INFORMATIVA EN OBRA	UNIDAD	1,00	250.000,00	250.000,00
4	VALLA DE RESTRICCIÓN	UNIDAD	3,00	50.000,00	150.000,00
6	CERRAMIENTO PERIMETRAL	ML	427,00	2.712,50	1.158.237,50
8	PUERTA ENTRADA PRINCIPAL	UNIDAD	2,00	225.000,00	450.000,00
5	CASETA DE CONTROL Y VIGILANCIA	M2	32,00	15.005,31	480.170,00
7	CERCO VIVO	ML	427,00	4.286,50	1.830.335,50
9	CHIMENEA	UNIDAD	2,00	897.250,00	1.794.500,00
11	CANAL PERIMETRAL 0,6 x0,6	ML	80,00	57.325,00	4.586.000,00
12	CANAleta 0,40x0,4	ML	400,00	7.765,00	3.106.000,00
14	COLECTOR DE LIXIVIADOS	ML	150,00	54.105,00	8.115.750,00
15	TANQUE ALMACENAMIENTO DE LIXIVIADOS	UNIDAD	1,00	234.328,57	234.328,57
16	RED DISTRIBUCIÓN LIXIVIADOS	ML	150,00	199.471	29.920.588,24
17	CANAL 0,6x0,6	ML	100,00	73.165	7.316.500,00
10	CUBIERTA EN ARCILLA	M3	3.200,00	20.665,00	66.128.000,00
13	CUBERTA ORGÁNICA	M3	540,00	6.703,50	3.619.890,00
19	CUBIERTA VEGETAL	M2	3.552,00	3.588,80	12.747.417,60
20	LIMPIEZA GENERAL Y RETIRO DE ESCOMBROS	GL	1,00	7.537,14	7.537,14

<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>			<b>142.734.754,55</b>
<b>ADMINISTRACION (22%)</b>			<b>31.401.646,00</b>
<b>IMPREVISTOS (5%)</b>			<b>7.136.737,73</b>
<b>UTILIDAD ( 5%)</b>			<b>7.136.737,73</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO FASE 2</b>			<b>188.409.876,01</b>

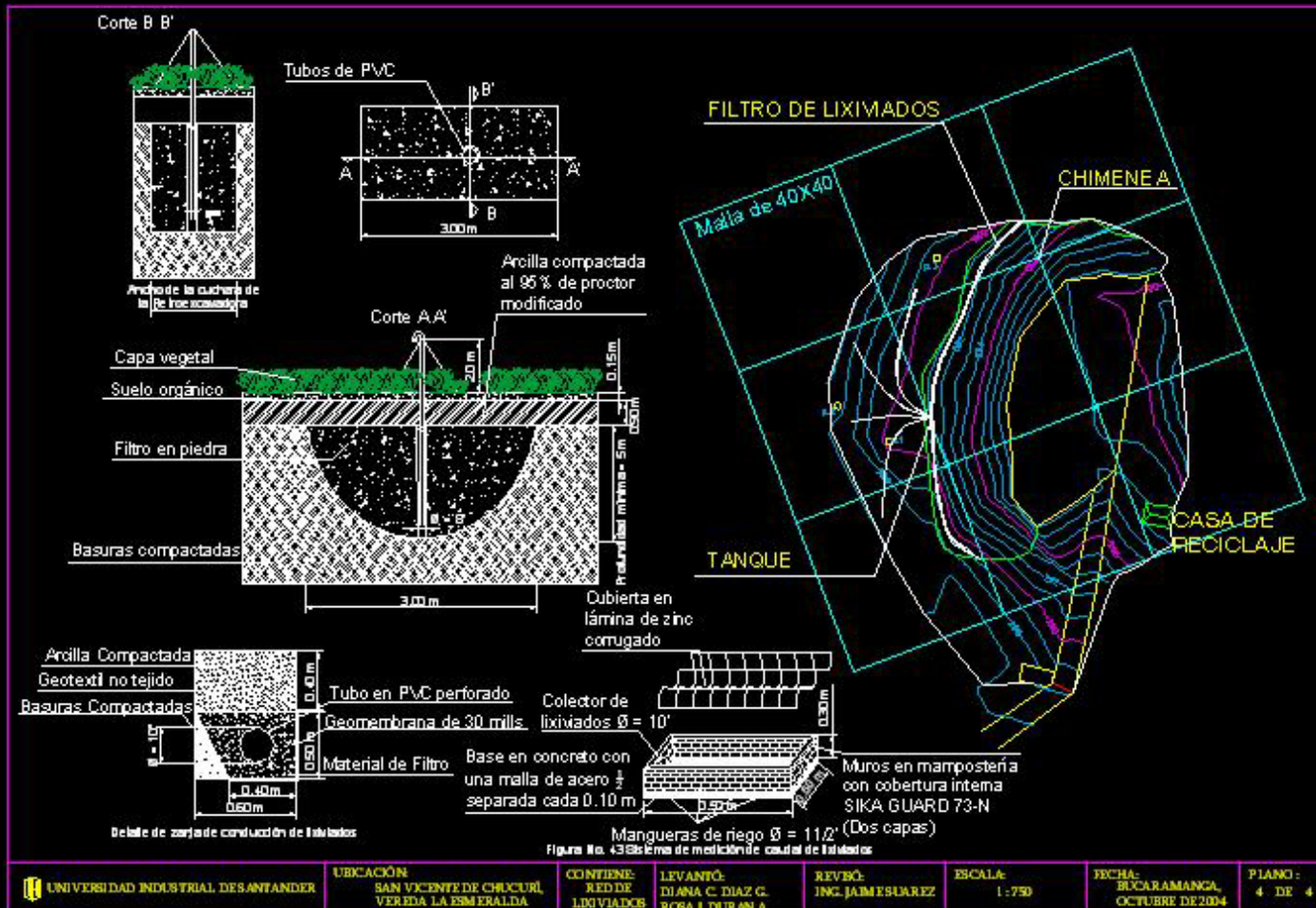
## Anexo G. Planos





UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	UBICACIÓN:	CONTIENE:	LEVANTÓ:	REVISÓ:	ESCALA:	FECHA:	PLANO:
	SAN VICENTE DE CHUCURÍ, VEREDA LA ESMERALDA	PERÍMETRO	DIANA C. DIAZ ROSA J. DURAN	ING. JAIME SUAREZ	1:750	BUCARAMANGA, OCTUBRE DE 2004	2 DE 4





UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	UBICACIÓN:	CONTIENE:	LEVANTÓ:	REVISÓ:	ESCALA:	FECHA:	PLANO:
	SAN VICENTE DE CHUCURÍ, VEREDA LA ESMERALDA	RED DE LIXIVIADOS	DIANA C. DIAZ G. ROSA J. DURAN A.	JNG. JAIMESUAREZ	1:750	BUCARAMANGA, OCTUBRE DE 2004	4 DE 4

