



**Universidad San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA,  
JALAPA**

**José Alejandro Cáceres Sandoval**

**Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta**

**Guatemala, mayo de 2010**

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA,  
JALAPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**JOSE ALEJANDRO CACERES SANDOVAL**

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MAYO DE 2010

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

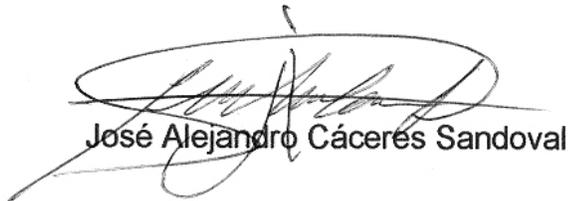
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Hernández
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado.

**DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA,  
JALAPA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
el 22 de octubre de 2008.

  
José Alejandro Cáceres Sandoval

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala 05 de febrero de 2010.  
Ref.EPS.DOC.253.02.10.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **José Alejandro Cáceres Sandoval** de la Carrera de Ingeniería Civil, con carné No. **200313160**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA, JALAPA”**.

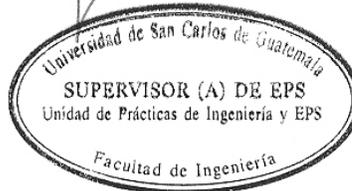
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*“Id. y Enseñad a Todos”*  
  
Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Civil

c.c. Archivo  
MAAO/ra





Guatemala,  
10 de marzo de 2010

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA, JALAPA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Alejandro Cáceres Sandoval, quien contó con la asesoría del Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa  
Revisor por el Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

/bbdeb.

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 05 de febrero de 2010.  
Ref.EPS.D.86.02.10

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco.

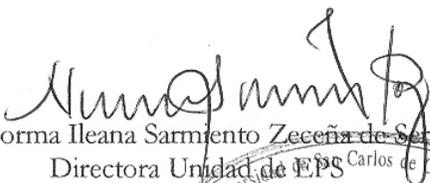
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA, JALAPA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **José Alejandro Cáceres Sandoval**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta .

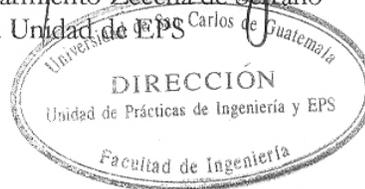
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor -Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano  
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta y de la Directora de la Unidad de E.P.S. Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña, al trabajo de graduación del estudiante José Alejandro Cáceres Sandoval, titulado DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA, JALAPA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2010

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.140.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE JALAPA, JALAPA**, presentado por el estudiante universitario **José Alejandro Cáceres Sandoval**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, mayo de 2010



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Mis padres** Francisco José Cáceres y Amelia Isabel Sandoval de Orellana, por su apoyo incondicional y su invaluable esfuerzo, para que este sueño se hiciera realidad.
- Mi esposa** Andrea Mishael Orellana de Cáceres, que me ayudaste a no caer y siempre me diste ánimos para seguir adelante, sé que sin ti este logro no hubiese sido el mismo.
- Mi hija** Andrea Marcela Cáceres Orellana, que fue la principal motivación para realizar este logro, y que sea para ella un ejemplo a seguir y superar cuando llegue el momento.
- Mi hermana** Ana Izabel Cáceres Sandoval, por su ayuda y apoyo incondicional en los buenos momentos y en los momentos difíciles.
- Mi abuela** Berta Julia Berganza, por su apoyo incondicional, su ejemplo de lucha y sus sabios consejos.
- La memoria de mis abuelos** José Cáceres García, Sergio Alfredo Sandoval y Marina del Carmen Cerna, por su ejemplo y enseñanzas, que me ayudaron a seguir adelante en los momentos difíciles, y se que desde el cielo están hoy orgullosos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por todas las bendiciones que me ha dado, su ayuda, su sabiduría y por darme la familia que tengo.
<b>Mis abuelos.</b>	Por sus ejemplos y sus consejos.
<b>Mis padres</b>	Por darme su confianza y brindarme su total apoyo.
<b>Mi esposa</b>	Por el apoyo incondicional que me brindo a lo largo de todo este trayecto.
<b>Mi hija</b>	Porque sin tus sonrisas y tu cariño no hubiera tenido el temple necesario para seguir adelante.
<b>Mi hermana</b>	Por su ayuda y apoyo incondicional.
<b>Mis tíos, primos y primas</b>	En general, gracias por las muestras y palabras de apoyo que manifestaron hacia mi persona.
<b>Las familias</b>	Lambourg Salazar, Orellana Rodriguez, Samaniego Duarte, Carias Morales, Chinchilla Dubon, Mendez Lorenzana, Tarot Perdomo, Caceros Diaz, Rodriguez Ramos, y en especial la familia Godoy Morales, por su apoyo y cariño incondicional.
<b>Mis amigos</b>	Carlos Francisco Ruano, Oscar Godoy, Miguel Recinos, todo los Sin Ofi, con especial aprecio a Waldemar Godoy Morales y Juan Luis Recinos Rodriguez (+), por su amistad y su apoyo en todo momento.
<b>Mis Compañero de la universidad</b>	Noé Morales, Alex (Pollo), Chiki, Diego, Ismael, Edgar, Juan Carlos, Vivi, Jesser, Moi, Guicho, Por apoyarnos y ayudarnos mutuamente a seguir adelante.
<b>Aquellas personas especiales</b>	Adriana, Maria, Julieta, Cruz, Olga, por su cariño y aprecio a lo largo de toda mi vida.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII

<b>1. INFORMACIÓN DEL MUNICIPIO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Marco general .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Antecedentes históricos.....	1
1.1.2 Localización.....	3
1.1.3 Extensión territorial.....	4
1.1.4 Clima.....	4
1.1.5 Orografía y fisiográfica.....	4
<b>1.2 División político administrativa.....</b>	<b>5</b>
1.2.1 División política.....	5
1.2.2 División administrativa.....	8
<b>1.3 Recursos naturales.....</b>	<b>8</b>
1.3.1 Suelo.....	8
1.3.2 Bosques .....	10
1.3.2.1 Bosques húmedos- subtropicales .....	11
1.3.2.2 Bosque húmedo montano bajo subtropical.....	11
1.3.2.3 Bosque muy húmedo montano subtropical .....	11
1.3.3 Hidrografía .....	11
1.3.3.1 Ríos .....	12
<b>1.4 Demografía y situación social .....</b>	<b>13</b>
1.4.1 Población.....	14
1.4.1.1 Población por área geografía.....	14

1.4.1.2 Población económica activa .....	14
1.4.1.3 Empleo, sub-empleo y desempleo .....	15
1.4.1.4 Idioma.....	15
1.4.1.5 Religión.....	5
1.4.2 Tipo de vivienda.....	16
1.4.3 Tipo de acceso.....	17
<b>1.5 Análisis de la situación actual .....</b>	<b>17</b>
1.5.1 Educación ambiental.....	18
1.5.2 Organización y situación del servicio de recolección de basura domiciliar .....	18
1.5.3 Tipo y volumen de desecho en las áreas públicas.....	18
<b>2. SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Aspectos del relleno sanitario .....</b>	<b>19</b>
2.1.1 Marco conceptual .....	19
2.1.2 Definición.....	20
2.1.3 Métodos de rellenos sanitarios.....	21
2.1.3.1 Método de zanja o trinchera.....	23
2.1.3.2 Método de área.....	25
2.1.3.3 Método combinado de área y trinchera.....	28
2.1.3.4 Método de pozo.....	29
2.1.4 Principios básicos de operación del relleno sanitario.....	30
2.1.5 Ventajas del relleno sanitario .....	30
2.1.6 Desventaja del relleno .....	31
2.1.7 Líquido percolado.....	32
2.1.8 Drenaje de gases.....	33
<b>2.2 Consideraciones de diseño para un diseño sanitario.....</b>	<b>34</b>
2.2.1 Planeación.....	35
2.2.2 Selección del sitio .....	36

2.2.2.1 Participación comunitaria.....	36
2.2.2.2 Aspectos técnicos .....	39
2.2.2.2.1 Localización.....	39
2.2.2.2.2 Vías de acceso.....	41
2.2.2.2.3 Condiciones hidrogeológicas.....	42
2.2.2.2.4 Vida útil del terreno .....	42
2.2.2.2.5 Material de cobertura .....	43
2.2.2.2.6 Conservación de los recursos naturales .....	44
2.2.2.2.7 Condiciones climatológicas .....	45
2.2.2.2.8 Costos .....	46
2.2.2.2.9 Propiedad del terreno .....	47
2.2.2.2.10 Limitaciones y uso del suelo .....	48
2.2.2.2.11 Uso en el futuro .....	49
2.2.2.3 Metodología para la selección .....	48
2.2.2.3.1 Análisis preliminar .....	49
2.2.2.3.2 Investigación de campo .....	50
2.2.2.4 Actividades para el diseño, construcción y operación.....	49
2.2.2.4.1 Estudios de campo.....	49
2.2.2.4.2 Preparación del terreno y construcción de obras ...	50
2.2.2.4.3 Operación y mantenimiento .....	53
2.2.2.4.4 Actividades del proyecto .....	54
2.2.2.4.5 Incluyen en el proyecto de relleno .....	55
2.2.2.4.5.1 Levantamiento topográfico.....	55
2.2.2.4.5.2 Diseño del proyecto .....	56
2.2.2.4.5.3 Detalles del proyecto .....	56
<b>2.3 Diseño del Relleno Sanitario .....</b>	<b>57</b>
2.3.1 Información básica.....	58
2.3.2 Aspectos demográficos.....	58
2.3.2.1 Población.....	59

2.3.2.2	Proyección de población.....	60
2.3.3	Caracterización de los desechos sólidos.....	61
2.3.3.1	Composición.....	61
2.3.3.2	Producción per càpita.....	63
2.3.3.3	Producción total.....	64
2.3.3.4	Proyección de producción total.....	64
2.3.3.5	Densidad .....	66
2.3.4	Cálculo de volumen necesario .....	69
2.3.5	Volumen de residuos sólidos.....	69
2.3.5.1	Material de cobertura .....	71
2.3.6	Volumen de relleno necesario .....	71
2.3.7	Cálculo de área requerida .....	72
2.3.8	Selección del método .....	75
2.3.9	Capacidad volumétrica del sitio .....	76
2.3.9.1	Dimensiones de la zanja .....	77
2.3.10	Vida útil del terreno.....	78
2.3.11	Cálculo de la celda diaria .....	80
2.3.12	Descripción de las características del relleno sanitario .	83
2.3.12.1	Ubicación.....	83
2.3.12.2	Área destinada a la disposición final del relleno sanitario.....	84
2.3.12.3	Cantidad y composición de los residuos solidos tratados en el relleno sanitario .....	84
2.3.12.4	Característica del relleno sanitario .....	86
2.3.12.4.1	Infraestructura de control de entrada y salida .....	86
2.3.12.4.2	Vías de circulación .....	86
2.3.12.4.3	Módulos y celdas de disposición .....	86
2.3.12.4.4	Sistema de monitoreo y control .....	87

2.3.12.4.5 Sistema de colector de lixiviados y planta de tratamiento .....	87
2.3.12.4.6 Sistema de drenaje de gas .....	88
2.3.12.4.7 Vida útil del terreno .....	88
2.3.12.5 Descripción de actividades del relleno sanitario .....	88
2.3.12.5.1 Actividades de cierre de celda y clausura de zanja .....	89
2.3.12.5.2 Aspectos hidrológicos .....	89
2.3.12.5.3 Balance hídrico .....	90
2.3.12.6 Características del suelo .....	93
2.3.12.7 Detalles del proyecto .....	94
<b>2.4 Consideraciones para el manejo de residuos sólidos y protección ambiental .....</b>	<b>106</b>
2.4.1 Tecnología de ingeniería ambiental.....	111
2.4.2 Estructura legal y organizativa.....	111
2.4.3 Cultura ambiental.....	112
2.4.4 Organización de empresas y administración financiera .....	112
2.4.5 Usos productivos y aprovechamiento de los productos finales.	113
<b>2.5 Costos del relleno .....</b>	<b>114</b>
2.5.1 Costos iniciales.....	114
2.5.2 Costos de operación anual .....	115
2.5.3 Resumen de costos .....	116
2.5.4 Viabilidad económica .....	117
2.5.5 Cronograma de ejecución.....	118
<b>2.6 Operación y mantenimiento .....</b>	<b>119</b>
2.6.1 Maquinaria y equipo para la operación .....	119
2.6.2 Operación de patio .....	123
2.6.3 Clasificación y descarga .....	125
<b>2.7 Riesgo y vulnerabilidad.....</b>	<b>131</b>

2.7.1 Evaluación de impacto ambiental inicial .....	131
2.7.2 Alteración ambiental.....	133
<b>2.8 Medidas de mitigación .....</b>	<b>136</b>
2.8.1 Sistema de evacuación de aguas lluvia.....	136
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>147</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>149</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>151</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>171</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Mapa del municipio de Jalapa.....	06
2. Ubicación de la cabecera municipal del terreno para el relleno .....	08
3. Formas posibles del cuerpo de basura.....	22
4. Método de trinchera o zanja .....	24
5. Método de área .....	26
6. Método para rellenar depresiones .....	27
7. Combinación de método de trinchera y área .....	28
8. Presentación del proyecto ante las autoridades locales .....	38
9. Vías de acceso a las instalaciones .....	41
10. Dirección del viento en relación a la ubicación de la ciudad .....	42
11. Uso en el futuro del relleno sanitario .....	47
12. Estudios de campo .....	49
13. Preparación del terreno y construcción de obras .....	50
14. Operación y mantenimiento .....	53
15. Ejemplo de colocación de material de cobertura .....	68
16. Ejemplo de compactación mecanizada .....	67
17. Detalles de la sección transversal del canal trapezoidal .....	92
18. Movimiento de tierras para la preparación del sitio .....	96
19. Detalle de drenaje interno de lixiviados .....	98
20. Ejemplo de distribución de zanjas .....	99
21. Cubierta ligera para evitar el ingreso del agua de lluvia al relleno.....	100
22. Drenaje de gases dentro de trincheras .....	103
23. Mechón y estructura metálica .....	104
24. Distribución de chimeneas en relleno .....	105
25. Detalle de chimeneas terminadas .....	106
26. Diagrama de operación interna con clasificación domiciliar .....	107

27. Diagrama son clasificación domiciliar .....	108
28. Diagrama de líquidos lixiviados con lagunas .....	141
29. Reactor anaeróbico para tratamiento .....	142
30. Secuencia de tanques para tratamiento anaeróbico.....	145

## TABLAS

I. Tipos de suelos de Jalapa .....	09
II. Área de bosques en Jalapa .....	10
III. Cuadro de población económica activa .....	14
IV. Fuente de empleo .....	15
V. Consideraciones de población para diseño .....	20
VI. Crecimiento poblacional y producción anual de desecho.....	65
VII. Área necesaria en la vida útil .....	74
VIII. Costos iniciales.....	114
IX. Costos de operación.....	115
X. Resumen de costos .....	116
XI. Cronograma de ejecución .....	118
XII. Evaluación de impacto ambiental inicial .....	131
XIII. Tipos de lagunas .....	142

## GLOSARIO

- Aerobio.** Relativo a la vida o a procesos que pueden ocurrir únicamente en presencia de oxígeno.
- Ambiente.** Conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinados.
- Anaerobio.** Relativo a la ausencia de oxígeno libre. Requerimiento de ausencia de aire o de oxígeno para la degradación de la materia orgánica.
- Biodegradable.** Dicho de la materia orgánica, cualidad de ser metabolizada por medios biológicos.
- Biogás.** Mezcla de gases de bajo peso molecular (metano, bióxido de carbono, etc.), producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.
- Bióxido o Dióxido de carbono.** Gas incoloro y más pesado que el aire. Altamente soluble en el agua, donde forma soluciones de ácidos débiles corrosivos. No inflamable por causa de su metabolismo anaerobio. Su fórmula es CO<sub>2</sub>.
- Celda.** Conformación geométrica que se les da a los RSM y al material de cubierta debidamente compactado, mediante equipo mecánico o por los trabajadores de un relleno sanitario.

<b>Compactación.</b>	Acción de presionar cualquier material para reducir los vacíos existentes en él. El propósito de la compactación en el relleno sanitario es disminuir el volumen que ocuparán los residuos sólidos.
<b>Contaminante.</b>	Todo elemento, materia, sustancia, compuesto, así como toda forma de energía térmica, radiación ionizante, vibración o ruido que, al incorporarse o actuar en cualquier elemento del medio físico, altera o modifica su estado y composición o afecta la flora, la fauna o la salud humana. Debe entenderse como medio físico el suelo, el aire y el agua.
<b>Control.</b>	Vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas.
<b>Degradable.</b>	Dicho de determinadas sustancias o compuestos, cualidad de descomponerse gradualmente, mediante medios físicos, químicos o biológicos.
<b>Densidad.</b>	Masa o cantidad de materia de un determinado RSM contenida en una unidad de volumen.
<b>Diseño.</b>	Trazo o delineación de una obra o figura. Se aplica el término al proyecto básico de la obra.
<b>Disposición final.</b>	Depósito definitivo de los RSM en un sitio en condiciones adecuadas para evitar daños a los ecosistemas.

<b>Generación o producción.</b>	Cantidad de desecho sólidos originados por una fuente en un período determinado.
<b>Impacto ambiental.</b>	Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.
<b>Lixiviado o percolado.</b>	Líquido producido fundamentalmente por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura y atraviesa las capas de basura, transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes. Otros factores que contribuyen a la generación de lixiviado son el contenido de humedad propio de los desechos, el agua de la descomposición y la infiltración de aguas subterráneas.
<b>Lombricultura.</b>	Cultivo de lombrices del género Eisenia foétida, utilizado en la producción de alimento para animales y de humus, mejorador de suelos.
<b>Mejoramiento.</b>	Incremento de la calidad.
<b>Monitoreo.</b>	En sentido restringido, es el examen periódico de los niveles de contaminación para cumplir con la normatividad o para evaluar la efectividad de un control.
<b>Nivel freático.</b>	Profundidad a la que se encuentran las aguas freáticas. Este nivel baja en tiempo de estiaje y sube en etapa de lluvias.

<b>Permeabilidad.</b>	Es la capacidad del suelo para conducir o transportar un fluido cuando se encuentra bajo un gradiente. Varía según la densidad del suelo, el grado de saturación y el tamaño de las partículas.
<b>Pozo de monitoreo.</b>	Perforación profunda que se hace en un relleno sanitario para medir la cantidad de biogás y la calidad de los lixiviados que ahí se generan.
<b>Precipitación pluvial.</b>	Agua atmosférica que cae al suelo en estado líquido o sólido (lluvia o granizo).
<b>Prevención.</b>	Conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro de un elemento.
<b>Protección.</b>	Conjunto de políticas y medidas para prevenir y controlar el deterioro del ambiente así como para procurar su mejoramiento.
<b>Reciclaje.</b>	Proceso mediante el cual ciertos materiales de la basura se separan, recogen, clasifican y almacenan a fin de reincorporarlos al ciclo productivo como materia prima.
<b>Recuperación.</b>	Actividad relacionada con la obtención de materiales secundarios, bien sea por separación, desempaquetamiento, recolección o cualquier otra forma de selección de los desechos sólidos con el objeto de reciclarlos o volverlos a utilizar.

<b>Reúso.</b>	Es el retorno de un bien o producto a la corriente económica para ser utilizado de la misma manera que antes, sin cambio alguno en su forma o naturaleza.
<b>Saneamiento.</b>	Control de todos los factores del ambiente físico del hombre que ejercen o pueden ejercer un efecto pernicioso en su desarrollo físico, salud y supervivencia.
<b>Separación de residuos sólidos.</b>	Actividad que facilita el manejo integral de los RSM ya que los divide en orgánicos e inorgánicos, peligrosos y no peligrosos.
<b>Subsidio.</b>	Diferencia entre lo que se paga por un bien o servicio y el costo de este cuando tal costo es mayor que el pago que se recibe.
<b>Tratamiento.</b>	Proceso de transformación físico, químico o biológico de los RSM con el fin de obtener beneficios sanitarios y/o económicos y de reducir o eliminar sus efectos nocivos en el hombre y el ambiente.
<b>Vectores.</b>	Seres vivos que intervienen en la transmisión de enfermedades al llevarlas de un enfermo o de un reservorio a una persona sana.
<b>Vida útil.</b>	Período durante el cual el relleno sanitario estará apto para recibir basura de manera continua.



## RESUMEN

El trabajo de graduación que a continuación se presenta muestra el diseño de un relleno sanitario semi-mecanizado. Los problemas de sanidad e higiene causadas por la mala disposición final de los residuos sólidos municipales hace que este proyecto sea indispensable para el municipio; en base a la magnitud de los servicios que cubrirá y de las especificaciones ambientales, este trabajo considera el aprovechamiento y reciclaje de los desechos sólidos producidos.

El Relleno Sanitario que se diseñó cuenta con un diseño de vías internas de circulación, diseño de trincheras, chimeneas para gases, readecuación de quebrada natural, áreas de reforestación, edificio administrativo, galeras para clasificación y descarga.

Un sistema de recolección de líquidos lixiviados que consiste en drenajes de piedra en el fondo de cada trinchera interconectados a la planta de tratamiento, mediante un colector principal que conducirá los lixiviados por gravedad, de todas las trincheras a la planta de tratamiento, en este estudio se propone una capa de compost como filtro anaeróbico para minimizar los gastos en el tratamiento en los líquidos mencionados.

En el municipio de Jalapa, se diseñó un Relleno Sanitario en un terreno con un área de 153,443.26 m<sup>2</sup>, cuya topografía es semi-plana, por lo cual se propone un método de trincheras para la disposición final de los residuos sólidos.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Contribuir al desarrollo integral del municipio de Jalapa, al definir una estructura apropiada para dar solución al problema de contaminación ambiental por los desechos sólidos.

### **Específicos:**

1. Proporcionar a la municipalidad de Jalapa con una herramienta apta para un manejo final adecuado para los desechos sólidos.
2. Analizar y determinar el sistema de tratamiento de residuos sólidos, principalmente en el aprovechamiento, mediante recuperación y transformación.
3. Fomentar la participación ciudadana en la solución integral del problema sanitario que involucra la disposición final de los desechos sólidos.



## INTRODUCCIÓN

El problema de los desechos sólidos está presente en la mayoría de las poblaciones del país, por su inadecuada gestión y tiende a agravarse en determinadas regiones, como consecuencia de múltiples factores, entre ellos, el acelerado y desordenado crecimiento de la población, y su concentración en áreas urbanas, esto aumenta considerablemente la producción de desechos.

Este problema se agrava debido a la crisis económica y a la debilidad institucional de las municipalidades e identidades gubernamentales que obligan a no asignar el suficiente gasto público en esta materia. Además, la poca educación sanitaria y la escasa participación ciudadana generan una gran resistencia al momento de implementar proyectos como este, que implican el manejo y la disposición final de desechos,, para no recibir un manejo adecuado. Todo ello compromete la salud pública aumenta la contaminación de los recursos naturales y el ambiente de nuestro territorio y deteriora la calidad de vida de la población circundante al botadero municipal. Ante esta situación, es imprescindible que los municipios y los demás organismos afronten progresivamente la gestión de los desechos sólidos.

El trabajo de graduación se realiza como una herramienta muy importante para la construcción y operación del relleno sanitario, como parte de la cooperación técnica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



## **1. INFORMACIÓN DEL MUNICIPIO**

### **1.1 Marco general**

El entorno natural y la ubicación geográfica del municipio hacen que este sea el centro de convergencia más grande de comercio y servicios del departamento. Lo cual ha hecho que sea un lugar prospero en el desarrollo agrícola, agropecuario, comercial y de servicios en el departamento.

#### **1.1.1 Antecedentes históricos**

Los primeros pobladores fueron indígenas mayas se llama Jalapa, debido a que los indígenas le llamaban Xalapan cuyo traducción significa Tierra Arenosa.

El departamento de Jalapa fue creado por el Decreto número 107 del 24 de noviembre de 1873.

Después de los terremotos de Santa Marta en el año de 1773 que destruyó totalmente la capital, se pensó en su traslado a los valles de Jalapa y se nombró una comisión para que pasara a inspeccionar los valles de Jumay y de Jalapa con el objeto de escoger el sitio más apropiado. En el informe preparado por la comisión presidida por el Oidor Decano, Juan González Bustillo, e integrada por maestro Bernardo Ramírez, indicaban que el clima era benigno, la topografía se consideraba a propósito para edificar una gran ciudad,

pero había escasez de agua potable, lo cual fue una de las principales razones para que el proyecto no se aceptara y que después de otros estudios se decidió que se haya fijado la capital en el lugar actual.

Posteriormente, la Asamblea Constituyente por medio del Decreto No. 289 del 4 de noviembre de 1825, dividió el territorio nacional en siete departamentos, correspondiendo al de Chiquimula todos los pueblos y valles del antiguo Corregimiento de Chiquimula y Zacapa. El Artículo 6o. del mencionado decreto dividió el departamento de Chiquimula en siete distritos: Zacapa, Acasaguastlán, Esquipulas, Chiquimula, Sansare, Jalapa y Asunción Mita, siendo sus respectivas cabeceras: Zacapa, San Agustín, Guastatoya, Esquipulas, Chiquimula, Jalapa y Asunción Mita.

El Decreto de la Asamblea Constituyente del 12 de septiembre de 1839, a raíz de los sucesos en Los Altos, dividió al país en siete departamentos: Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, Escuintla, Asunción Mita, Chiquimula, y Verapaz, así como dos distritos separados inmediata dependencia del Gobierno: Izabal y Petén. Por el citado decreto, Jalapa quedó dentro de la jurisdicción territorial de Mita. Posteriormente, el decreto del 23 de febrero de 1848 dividió a Mita en tres distritos: Jutiapa, Santa Rosa y Jalapa, quedando el pueblo de Jalapa como cabecera de este último; Sanarate, Sansare, San Pedro Pinula, Santo Domingo, Agua Blanca, El Espinal, Alzatate, y Jutiapilla, quedando separado del distrito de Jutiapa por el río que salía del Ingenio hasta la laguna de Atescatempa.

Debido a que para formar los distritos de Jalapa y Jutiapa se tomaron algunos pueblos a Chiquimula y a Escuintla, al suprimirse dichos distritos por el decreto del Gobierno del 9 de octubre de 1850, volvieron a los departamentos de donde se habían segregado, por lo que Jalapa retornó a su anterior

condición de dependencia de Jutiapa hasta el 24 de noviembre de 1873 en que se estableció el.

### **1.1.2 Localización**

La ciudad de Jalapa, cabecera departamental de Jalapa, se encuentra situada en la parte central del departamento en la Región IV o Región Sur-Oriental. Se localiza a 174 kms. de la ciudad Capital de Guatemala vía Jutiapa y 102 kms. vía Sanarate.

El Municipio se encuentra situado con coordenadas geográficas de 14° 38'02" de latitud y en longitud de 89°58'52; a una altura de 1361 metros sobre el nivel del mar.

### **Colindancias**

Al norte: con los municipios de Guastatoya y El Júcaro del Departamento del El Progreso.

Al sur: con los Municipios San Carlos Alzatate y Mataquescuintla (Jalapa) y con el departamento de Santa Rosa

Al este: con los Municipios de San Pedro Pinula y Monjas.

Al oeste: con los Municipios de Sansare del Departamento de El Progreso.

### **1.1.3 Extensión territorial**

Su extensión territorial es de 554 kilómetros cuadrados, lo que equivale al 26.37% de la extensión total del Departamento de Jalapa, que es de 2,063 kilómetros cuadrados.

### **1.1.4 Clima**

Posee clima calido templado en la mayoría de su territorio; su temperatura promedio oscila entre 17° a 20°. En los meses de verano la temperatura promedio puede elevarse hasta los 28°, especialmente en el valle de la cabecera, en sus alrededores, que son montañas no sube muy considerablemente.

### **1.1.5 Orografía y fisiografía**

Jalapa presenta topografía diversa, lo que contribuye que sus terrenos sean montañosos y sus alturas varíen entre los 2560 msnm. en Miramundo y los 800 msnm en San Luis Jilotepeque. Por el sur de este departamento penetra el ramal de la Sierra Madre, el cual toma diversos nombres locales según sus montañas como de El Norte y la Cumbre en San Pedro Pinula, la de Güisitepeque en San Manuel Chaparrón; y la de el Aguacate en San Carlos Alzatate. También están los siguientes volcanes: Jumay y Cerro Mojón en el municipio de Jalapa; el volcán Monterrico entre los municipios de San Pedro Pinula y San Manuel Chaparrón; el volcán de Alzatate en San Carlos Alzatate, el cerro de la Lagunilla en San Luis Jilotepeque.

Existen altiplanicies y hermosos valles, así como cerros, colinas, desfiladeros y barrancos cubiertos de variada vegetación, aunque muchos de estos bosques han ido desapareciendo por la tala inmoderada, lo que ha contribuido a la escasez de agua para irrigación.

## 1.2 División político administrativa

### 1.2.1 División política

Se integra por la cabecera municipal con calidad de ciudad, 31 aldeas y 87 caseríos; las principales aldeas y caseríos son:

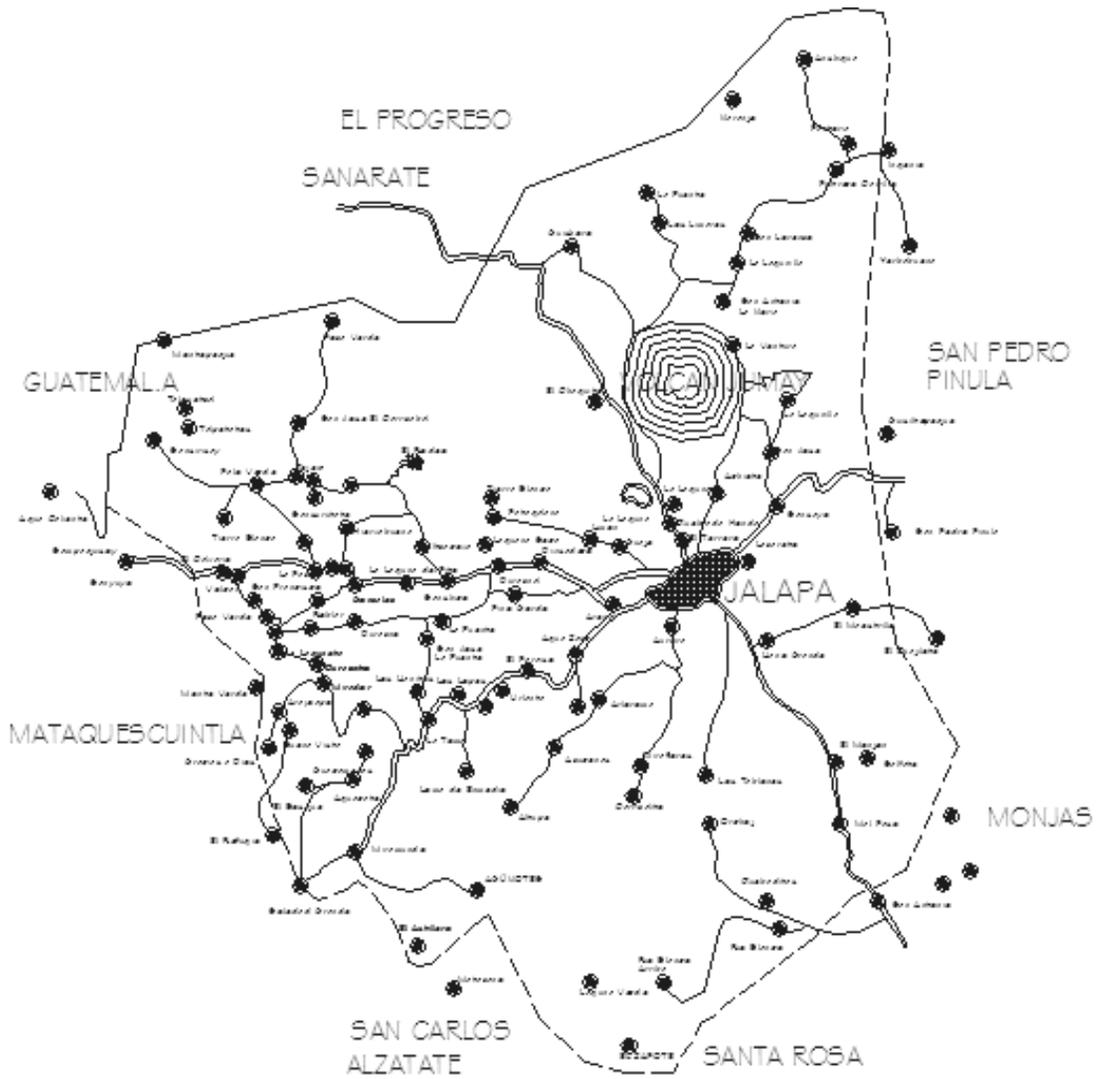
#### ALDEAS

Carrizal	Chaguite	El Paraíso	El Bosque
El Durazno	El Rodeo	La Fuente	Loma De Enmedio
La Paz	Los Limares	Los Izotes	Miramundo
Palo Verde	Potrero Carrillo	Rio Blanco	Sanyuyo
San Jose Carrizal	Tatasirire	Urlanta	Yerbabuena

#### CASERIOS

Altupe	Divisadero	El Duraznal	El Pito
El Roblar	El Terrero I	El Rodeo	Lazareto
Los Llanitos	La Laguneta	Llano Grande	Pata Galana
Sansayo	Sansirisay	San Lorenzo	Suquinay
Sansurutate	Tierra Blanca	Urayansapo	Volcan Sanyuyo
Agua Zarca	Araisapo	Carrizalito	Itzacoba
La Pastoria	Rio Blanco Arriba	Suquinay	Volcan Paz
El Guaje	El Pinalito	Los Lopez	La Lagunilla

Figura 1. Mapa Municipio de Jalapa y sus Aldeas



Fuente: Municipalidad de Jalapa



### **1.2.2 División administrativa**

Se ejecuta a través de un concejo municipal electo cada cuatro años, las alcaldías auxiliares y últimamente a través de los COCODE (Consejo Comunitario de Desarrollo). El consejo esta compuesto por un alcalde, 3 síndicos, 8 concejales y 3 vocales.

### **1.3 Recursos naturales**

A continuación se detallan los diversos recursos naturales de los cuales se dispone para el desarrollo de las diferentes actividades económicas y de recreación social.

#### **1.3.1 Suelo**

El municipio de Jalapa esta conformado en su mayor parte por los suelos de las series Alzatate, Camacha, Mongoy y Jalapa los cuales cubren dos terceras partes de la superficie, la serie Alzatate, Camacha y Jalapa se refieren a los suelos con pendiente que varían del 12 al 45% o mayores, aptos generalmente para cultivos permanentes, bosques, vida silvestre, recreación y conservación de cuencas. La serie Mongoy son suelos en topografía suavemente ondulada o con inclinaciones no mayores a 12% son profundos aptos para variedad de cultivos. A continuación se presenta la característica de los perfiles de los suelos en el municipio de Jalapa.

Tabla I Tipos de suelos de Jalapa

Serie	Símbolo	Material Madre	Relieve	Drenaje interno	Suelo superficial		
					color	textura	Espesor
Camacha	Cm	Ceniza volcánica de color claro	Ondulado a quebrado	Bueno	Café muy oscuro	Franca friable	50 cm.
Alzatate	Ae	Ceniza o toba volcánica cementada pomácea	Fuertemente ondulado o escarpado	bueno	Café oscuro	Franca friable	25-35 cm.
Mongony	Mg	Lava máfica	Escarpado	Regular	Café oscuro	Franco limo Gravos o friable	15-30 cm.
Jalapa	Jl	Ceniza volcánica de color claro	escarpado	bueno	Gris oscuro	Franco arenoso fina, suelta friable	10-15 cm.

Fuente: Diagnóstico Agro-socio-económico MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación) 2002.

### 1.3.2 Bosques

El municipio todavía cuenta con áreas de bosque, pero si se compara con la cantidad que había apenas hace 20 años, el área ha disminuido considerablemente; actualmente solo existe una pequeña parte del territorio Jalapaneco que se explota para uso forestal. Sin embargo en los últimos años el área de bosque natural se ha ido sustituyendo por bosque de cafetalero, reduciendo así el impacto de la deforestación, también se han conservado áreas como el pínalón que se encuentra en la comunidad Ladinos Pardos que cuenta con un bosque natural de aproximadamente 3 km<sup>2</sup> de superficie, bosque húmedo en Miramundo, y otras pequeñas áreas. A continuación se muestra una tabla estadística para el departamento de Jalapa.

Tabla II Área de bosques en el departamento de Jalapa (Ha)

DEPARTAMENTO		BOSQUE	NO BOSQUE	OTROS
<b>JALAPA</b>		24,441.00	178,714.17	283.95
	<b>MUNICIPIO</b>	<b>BOSQUE</b>	<b>NO BOSQUE</b>	<b>OTROS</b>
<b>JALAPA</b>	JALAPA	9,537.78	59,044.95	58.68
	MATAQUESCUINTLA	10,939.28	12,783.15	109.17
	MONJAS	284.86	14,530.86	21.60
	SAN CARLOS ALZATATE	1,327.65	7,661.61	5.04
	SAN LUIS JILOTEPEQUE	506.94	20,504.70	36.09
	SAN MANUEL CHAPARRON	30.62	12,863.61	10.80
	SAN PEDRO PINULA	1,813.88	51,325.29	42.57

Fuente: Diagnóstico Agro-socio-económico MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación) 2002.

### **1.3.2.1 Bosque húmedo subtropical**

Ocupa el 35% del territorio del municipio, siendo un equivalente 194 kilómetros cuadrados, su altura oscila entre los 1000-1500 metros sobre el nivel del mar y una precipitación anual entre 1000 a 2000 mm su temperatura varia entre los 20 y 28 grados centígrados.

### **1.3.2.2 Bosque húmedo montano bajo subtropical**

Ocupa el 55% del territorio del municipio un equivalente a 249 kilómetros cuadrados, su altura oscila entre los 1500- 2000 metros sobre el nivel del mar y un precipitación anual entre 1500- 2000 mm. Su temperatura promedio anual es de entre 15-24 grados centígrados.

### **1.3.2.3 Bosque muy húmedo montano subtropical**

Ocupa el 10% del territorio del municipio equivalente a 55 kilometros cuadrados, siendo esta las partes más altas dentro de toda la región de oriente con una altura que varia entre 2000- 2500 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación anual que varia entre 2000- 4000mm. Su temperatura promedio varia entre 12- 18 grados centígrados.

## **1.3.3 Hidrografía**

El municipio posee una hidrografía bien definida, de las cuales todas la vertientes desembocan en la cuenca del Motagua, los ríos más grandes como el río Jalapa y río Miramundo nacen en la parte Oeste montañosa del municipio

y descienden el primero hacia el este y el segundo hacia el Norte ambos considerados dentro de la cuenca del Motagua.

Estos grandes ríos se forman de pequeñas cuencas de otros ríos mas pequeños; el río Jalapa se forma del río el Golfito, el río Agua Zarca, río Urlanta y río Altupe. El río Miramundo se forma de un gran nacimiento en la parte mas alta al oeste de la montaña jalapaneca, y a todo lo largo de su cuenca van contribuyendo pequeños riachuelos como el río Poza Verde, río Quintanilla, los cuales van a desembocar al río Los Plátanos.

### **1.3.3.1 Ríos**

Los ríos de mayor importancia son el río Jalapa y el río Miramundo los cuales abastecen de agua potable a gran parte del área rural y del casco urbano de Jalapa.

Estos ríos se forman de cuencas de otros ríos más pequeños; el río Jalapa se forma del río el Golfito, el río Agua Zarca, río Urlanta y río Altupe, este río atraviesa todo el departamento hasta llegar a Zacapa.

El río Miramundo se forma de un gran nacimiento en la parte más alta al oeste de la montaña jalapaneca, y a todo lo largo de su cuenca van contribuyendo pequeños riachuelos como el río Poza Verde, río Quintanilla, los cuales van a desembocar al río Los Plátanos.

También tenemos otros ríos como el Ostua, río Frío, Orchoj, Aguijotes y río Blanco; que pasan por el territorio del municipio.

## 1.4 Demografía y situación social

### 1.4.1 Población

Según los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en el año 2002, el municipio de Jalapa cuenta con 23,256 viviendas y 105,796 habitantes, de los cuales 51,566 son hombres y 54,230 mujeres, compuesto de niños, adultos y ancianos.

Rangos de edad censo 2002		%
00-06	24,645	23.294
07-14	23,713	22.414
15-64	53,285	50.366
65 y mas	4,193	3.926
Total	105,796	100.000

#### 1.4.1.1 Población por área geográfica.

En los datos que se presenta a continuación se tomaran en cuenta el área poblada considerada urbana y el área rural.

	Población	%
Urbana	34,374	32.49
Rural	71,422	67.51

### 1.4.1.2 Población económicamente activa (PEA)

Está conformada por hombres y mujeres que proporcionan la fuerza de trabajo en la producción de bienes y servicios; incluye a los patronos, trabajadores asalariados. Los que colaboran en una unidad económica familiar, sin remuneración y las personas que trabajan o están en busca del mismo. Según datos del censo de 1994 proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística, la PEA ascendió a un total de 20,683 habitantes lo que representa el 24.94% del total de la población. Para el año 2002 se elevó a 53.4% lo que constituye un aumento de 28.46%, pese a la emigración existente que se ha dado durante este período. No obstante este se atribuye a que el índice aumento con relación a 1994. A continuación se presenta el cuadro de la Población Económicamente Activa (PEA).

Tabla III. Cuadro de Población económicamente activa

Actividad Económica	Población Económicamente Activa	
Total	65,454	100.00
Agricultura	49,310	75.34
Pecuario	383	0.59
Artesanal	2,233	3.41
Agroindustria	1,430	2.18
Industrial	232	0.35
Servicios	11,866	18.13

Fuente: Diagnóstico Agro-socio-económico MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación) 2002.

Como resultado de lo anterior, las personas no llenan los requisitos necesarios en el mercado laboral y recurren a vender la fuerza de trabajo por debajo de su valor y ocuparse en otras actividades para poder subsistir.

### 1.4.1.3 Empleo, sub-empleo y desempleo

Para demostrar las fuentes de empleo y sub-empleo en el municipio, así como el desempleo existente se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla IV Empleo, desempleo y subempleo

Descripción	Habitantes	
Total	3,527	100.00
Empleo	2,884	81.54
Desempleo	494	13.97
Sub-empleo	159	4.50

Fuente: Diagnóstico Agro-socio-económico MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación) 2002.

### 1.4.1.4 Idioma

El idioma predominante en el 100% del municipio es el castellano.

### 1.4.1.5 Religión

Jalapa ha sido durante toda su historia tradicionalmente católico, pero en los últimos tiempos ha crecido considerablemente la religión protestante; observando la población con los siguientes datos; el 65% es Católica, 29% es protestante y el 6% restante se divide entre sabáticos, mormones, testigos de Jehová y otras.

### **1.4.2 Tipo de vivienda**

Según datos de existentes el tipo de vivienda predominante en Jalapa tomando en cuenta el casco urbano y el área rural son:

15% de las viviendas

- Muros de block, ladrillo tayuyo
- Techo de losa de concreto reforzado o prefabricada
- Piso de granito, cerámica etc.

30% de las viviendas

- Muros de block
- Techo de lamina
- Piso de concreto

45% de las viviendas

- Muros de adobe
- Techo de lámina
- Piso de concreto o adobe

10% de las viviendas

- Paredes de lepa o tabla
- Techo de lámina o paja
- Piso de tierra

### **1.4.3 Vías de acceso**

Jalapa cuenta con dos carreteras principales de acceso, por el nor.-oeste tiene la RN-19 que comunica la CA-9 con la CA- 2 atravesando todo el departamento comunicando Jalapa con Monjas y sus Anexos.

También por el sur-oeste tiene la RN-18; que atraviesa todo el departamento desde Guatemala comunicando Matequescuintla, Jalapa, San Pedro Pinula y San Luis Jilotepeque hasta Ipala, Chiquimula. El terreno del futuro relleno sanitario está ubicado aproximadamente a 6 km con rumbo sur-este sobre la RN-19 destino a Monjas.

## **1.5 Análisis de la situación actual**

Durante toda la historia las municipalidades de todo el país no se han preocupado por cuidar el medio ambiente, por lo que la proliferación de botaderos de basura a cielo abierto se ha dado en la mayoría de los municipio del país, y Jalapa no es la excepción, en Jalapa actualmente existe un botadero de basura el cual en los últimos 12 años se le ha dado un tratamiento el cual consiste en hacer capas de basura y de tierra, sin tener tratamiento de lixiviados lo cual puede generar contaminación en las capas freáticas y tratamiento de biogás.

En los últimos años las leyes guatemaltecas en tema ambiental han crecido a pasos agigantados, lo cual ha hecho que las municipalidades busquen la manera de tratar sus desechos sólidos eficientemente, con medidas de mitigación adecuadas para cada tipo de población.

### **1.5.1 Educación ambiental**

Actualmente los vecinos que tienen recolección domiciliar de basura no pone importancia a la clasificación de basura, ya que actualmente no se aprovecha ningún tipo de reciclaje en la basura domiciliar; pero dado el nivel de educación promedio en la cabecera departamental con un programa educativo para facilitar la clasificación y algún tipo de incentivo por parte de las autoridades se puede lograr plantear objetivo para la educación ambiental a mediano plazo.

### **1.5.2 Organización y situación del servicio de recolección de basura domiciliar.**

Actualmente la recolección domiciliar de basura está en manos de empresas privadas, las cuales tienen sus rutas y horarios establecidas según la conveniencia de la empresa y la generación de desechos en determinadas áreas toda la basura recolectada por estas empresas se desecha en el basurero municipal, la basura que se genera en espacios públicos es recolectada por el tren de aseo municipal y es desechada en el basurero municipal.

La municipalidad recibe Q. 10.00 por camionada tirada en el basurero, proveniente de recolección domiciliar.

### **1.5.3 Tipo y volumen de desecho en las áreas públicas**

En las áreas públicas, tomando en cuenta parques, calles, el mercado municipal, el rastro municipal y botaderos clandestinos pequeños, se producen en promedio diario, 11 m<sup>3</sup> haciendo a la semana un total de 77 m<sup>3</sup>.

## **2. SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1 Aspectos del Relleno Sanitario**

#### **2.1.1 Marco conceptual**

Los rellenos sanitarios con compactación mecanizada son la tecnología apropiada para municipalidades medianas y grandes que producen una cantidad diaria de basura que no sería factible manejar completamente a mano. Estos municipios disponen generalmente de fondos más adecuados y también de personal técnico capacitado.

En el relleno sanitario mecanizado trabajan generalmente uno o dos tractores compactadores que realizan los trabajos de colocación, compactación y cubierta de los desechos; y las excavaciones y el transporte necesario para suministrar nuevo material de cobertura. Los trabajos de mantenimiento se pueden hacer manualmente o con apoyo de maquinaria, dependiendo de la disponibilidad y necesidad de estas máquinas (por ejemplo, excavación de cunetas manualmente o con retroexcavadora).

En el cuadro se dan algunas recomendaciones indicando en qué situación se preferiría qué tipo de relleno sanitario.

Tabla V Consideraciones de población para diseño.

Situación	Relleno Manual	Relleno con compactación mecanizada
Municipio muy pequeño < 5,000 hab.	Siempre se recomienda	No
Municipio pequeño <50,000 hab	Se recomienda generalmente	Se recomienda si se puede compartir con otros municipios cercanos
Municipio mediano 50,000-200,000 hab.	Solamente en circunstancias especiales (no mano de obra especializada, terreno basto, mano obra barata)	Se recomienda generalmente.
Municipio grande > 200,000 hab.	No	Siempre se recomienda

Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales (Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica Eva Röben DED/ Municipalidad de Loja, Ecuador 2002)

Observando el cuadro anterior podemos definir que la mejor técnica para el municipio de Jalapa, según datos estadísticos de población es el relleno de compactación mecanizada.

### 2.1.2 Definición

Un relleno sanitario es un lugar destinado a la disposición final de desechos o basura, es un método de ingeniería para la disposición de residuos sólidos en el suelo de manera que se le dé protección al ambiente, mediante el esparcido de los residuos en pequeñas capas, compactándolos al menor volumen práctico y cubriéndolos con suelo al fin de día de trabajo, previniendo los efectos adversos en el medio ambiente;

Se toman múltiples medidas para reducir los problemas generados por otros métodos de tratamiento de la basura como son los tiraderos, dichas medidas son, por ejemplo, el estudio metódico de impacto ambiental,

económico y social desde la planeación y elección del lugar hasta la vigilancia y estudio del lugar en toda la vida del vertedero.

### **2.1.3 Métodos de Relleno Sanitario**

La forma del Relleno Sanitario depende de la topografía del terreno previsto para ese uso. Las formas más comunes para un Relleno Sanitario se resumen

Formas comunes de rellenos sanitarios

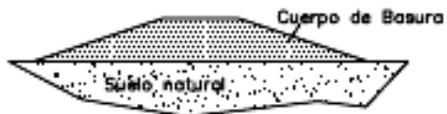
Relleno manual y Relleno con compactadora

- Excavación de celdas en un terreno plano
- Construcción de celdas terraceadas sobre un talud
- Colina artificial sobre un terreno plano
- Relleno en una quebrada seca
- Relleno al lado de un talud
- Relleno de un hueco o una fosa.

El método varía según varias condiciones, ya sean financieras, por la topografía del lugar, el tamaño del terreno, etc. Véase figura 3.

Figura 3. Formas posibles del cuerpo de basura .

1. Construcción de una colina artificial sobre un terreno plano

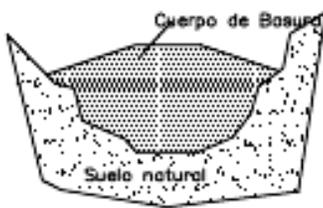


2. Construcción del relleno al lado de un talud

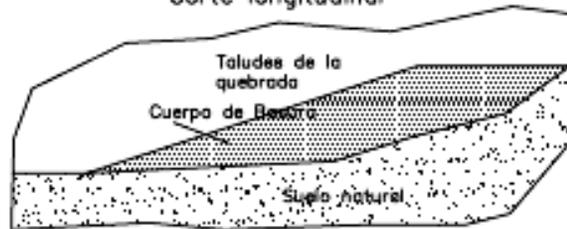


3. Construcción del relleno en una quebrada seca

Corte transversal

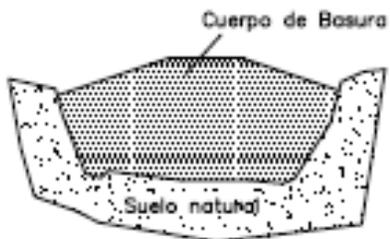


Corte longitudinal

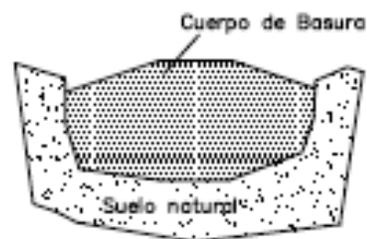


4. Construcción del relleno en una fosa

Corte transversal



Corte longitudinal



Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales (Servicio Aleman de Cooperación Social-Técnica Eva Röben DED/ Municipalidad de Loja, Ecuador 2002)

### **2.1.3.1 Método de trincheras o zanja**

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Hay experiencias de excavación de trincheras de hasta de 7 metros de profundidad.

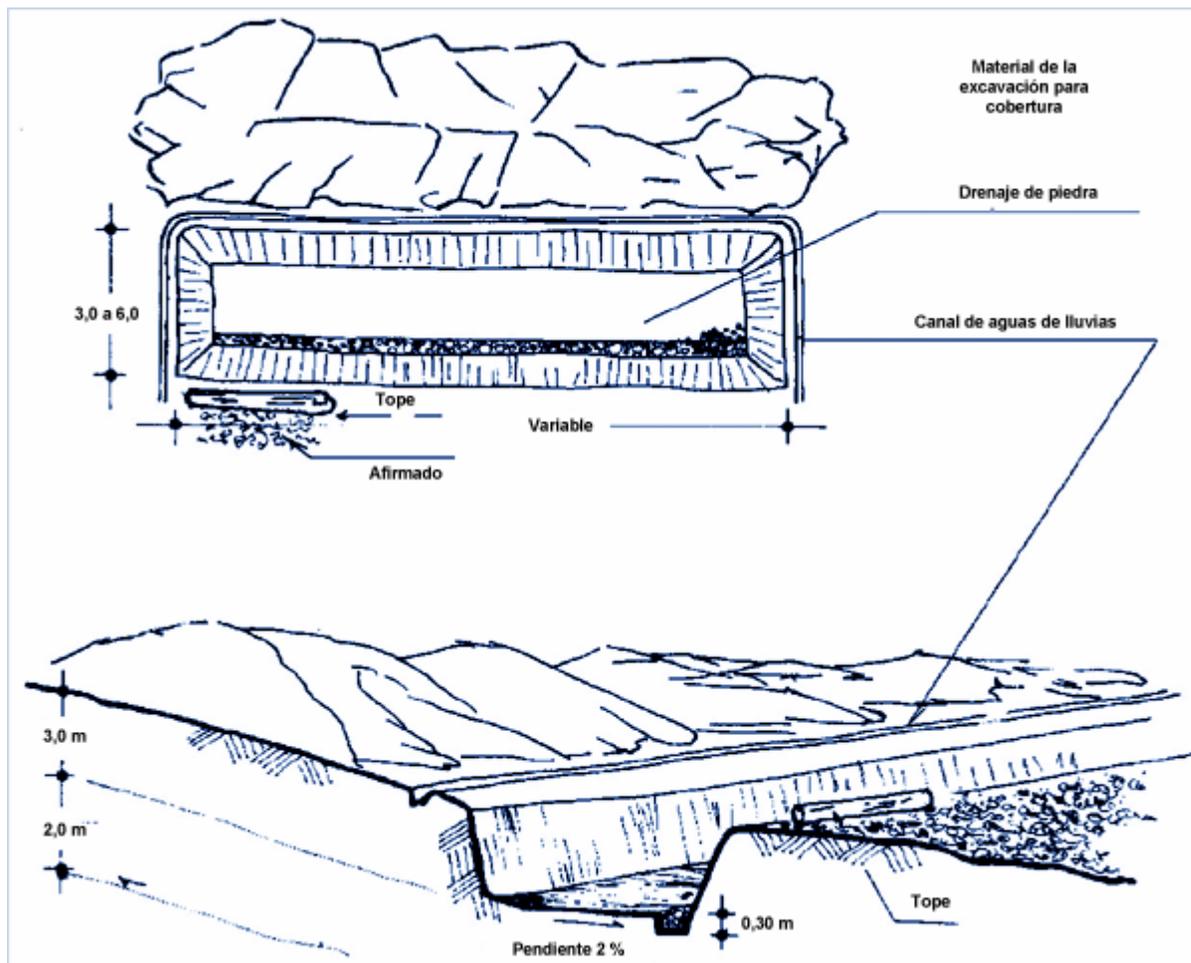
Los residuos sólidos municipales se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra excavada. Se debe tener especial cuidado en periodos de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas.

De ahí que se deba construir canales perimétricos para captarlas y desviarlas e incluso proveer a las zanjas de drenajes internos. En casos extremos, se puede construir un techo sobre ellas o bien bombear el agua acumulada. Sus taludes o paredes deben estar cortados de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo.

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

Figura 4. Método de trinchera o zanja



Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales (Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica Eva Röben DED/ Municipalidad de Loja, Ecuador 2002)

### **2.1.3.2 Método de área**

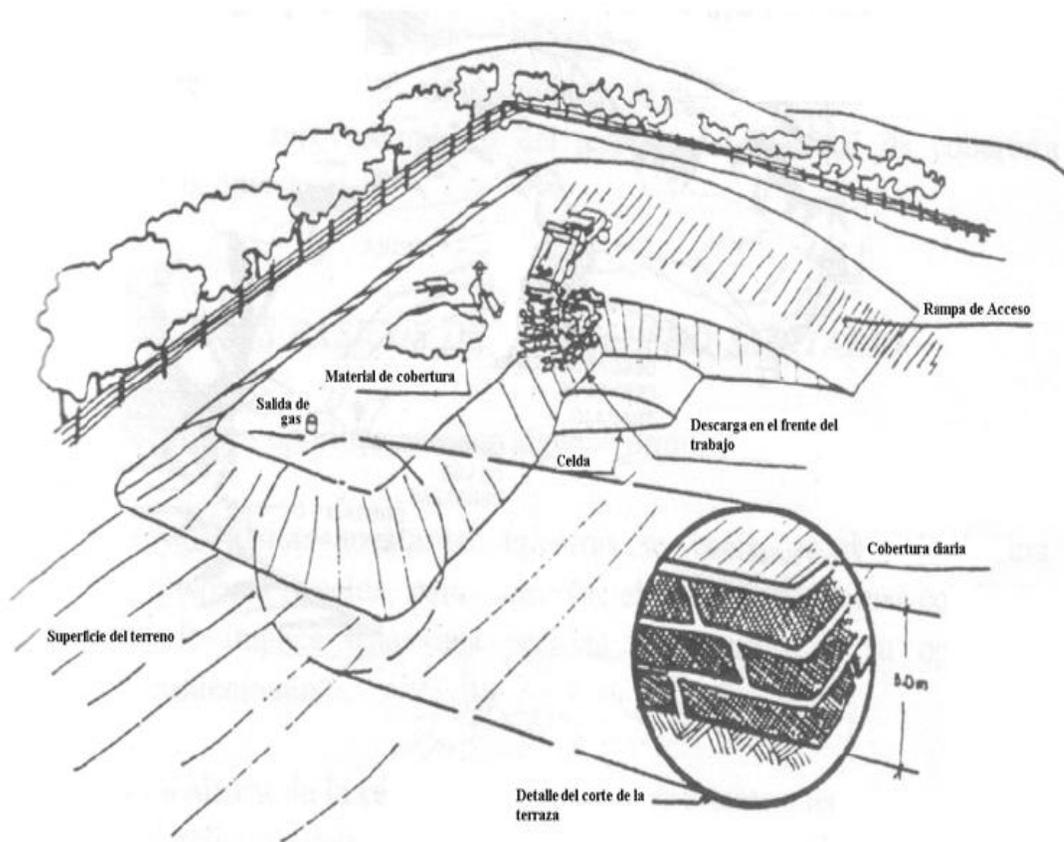
En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno. Figura 4

Se adapta también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno, o en su defecto se debe procurar lo más cerca posible para evitar el encarecimiento de los costos de transporte. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba. Véase figura 5

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno, es decir, la basura se vacía en la base del talud, se extiende y apisona contra él, y se recubre diariamente con una capa de tierra de 0.10 a 0.20 m de espesor; se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 30 grados en el talud y de 1 a 2 grados en la superficie.

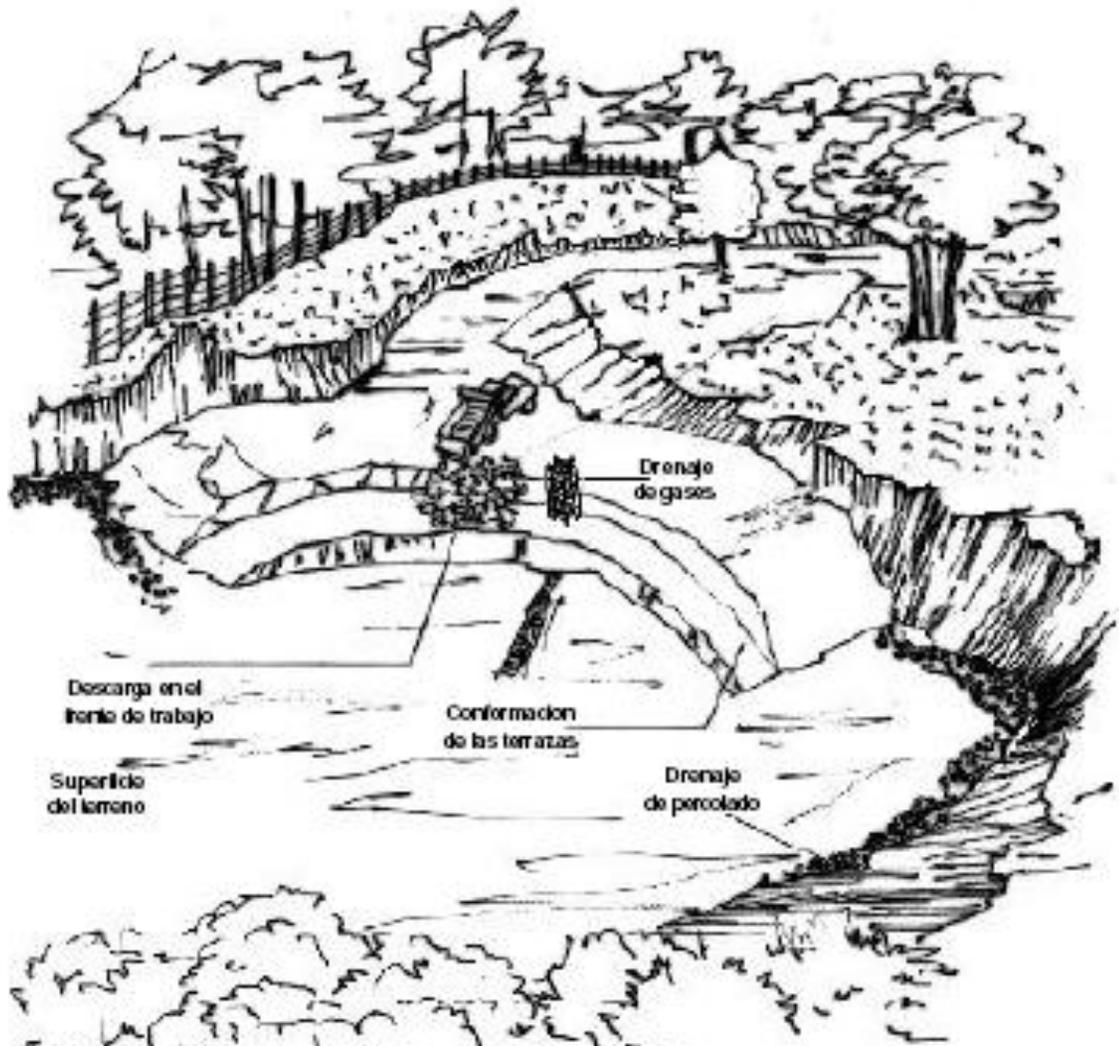
Figura 5 Método de área

Método de área



Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales (Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica Eva Röben DED/ Municipalidad de Loja, Ecuador 2002)

Figura 6. Método de área para rellenar depresiones

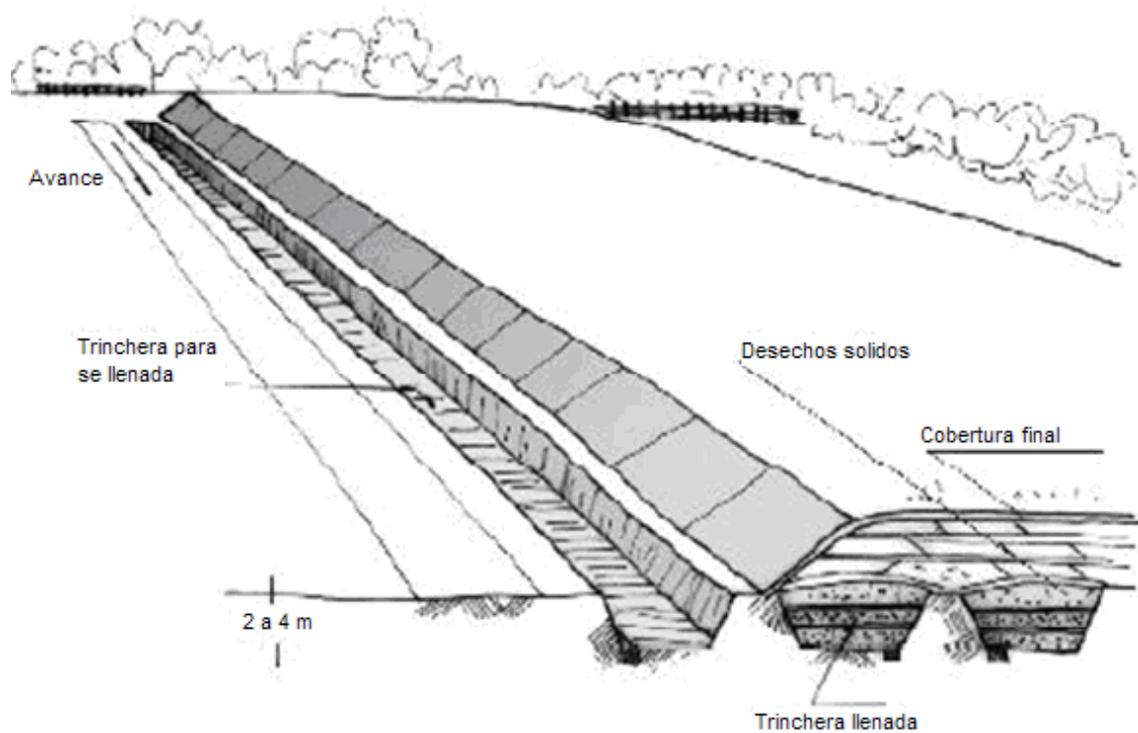


Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales (Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica Eva Röben DED/ Municipalidad de Loja, Ecuador 2002)

### 2.1.3.3 Método combinado de área y trinchera

Dado que estos dos métodos de construcción de rellenos sanitarios tienen técnicas similares de operación, es posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados.

Figura 7. Método combinado



Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales (Servicio Aleman de Cooperación Social-Técnica Eva Röben DED/ Municipalidad de Loja, Ecuador 2002)

#### **2.1.3.4 Método de pozo**

Constituye al usualmente empleado para el vertido de los residuos, se emplean antiguos pozos de extracción de áridos abandonados, los cuales constituyen puntos de deterioro urbanos difíciles de recuperar. El proceso consiste en el perfilamiento del fondo y paredes del pozo y su impermeabilización con geomembranas o arcilla.

Dada la alta tasa de disposición de residuos urbanos, estos pozos han sido rápidamente recuperados y reinsertados al entorno mediante la construcción de áreas verdes.

#### **2.1.4 Principios básicos de operación del relleno sanitario.**

Se considera de beneficio mencionar algunos principios básicos del funcionamiento y conceptos de un relleno sanitario.

- Supervisión permanente del Relleno Sanitario, mientras se está rociando o recubriendo la basura.
- La basura debe compactarse en capas de 15 a 30 cm.
- La profundidad del Relleno no debe ser excesiva, probablemente no más de 2.50 m, ya que hay datos que confirman que se han hecho trincheras de hasta 7 m de altura, esto depende de la estabilidad del suelo.

- Toda la basura recibida diariamente debe quedar cubierta con una capa temporal de tierra o material similar de por lo menos 0.10 a 0.60 m de espesor.
- Adoptar medidas para evitar el esparcimiento de papeles u otro tipo de desperdicios fuera del recinto del Relleno Sanitario.

### **2.1.5 Ventajas del relleno sanitario:**

- Es con frecuencia el sistema de eliminación de desechos sólidos más económico.
- Su lugar de localización puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponible, reduciendo así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- Los terrenos empleados para estos pueden ser recuperados convirtiéndose en áreas recreativas, como parques, campos deportivos, áreas verdes, etc.
- La inversión inicial es baja comparada con la de otros métodos de eliminación.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- Genera empleos de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los municipios como Jalapa.

- Recuperar gas metano en los rellenos sanitario, lo que constituye una fuente alternativa de energía, aunque estas recuperaciones son solo de apoyo ecológico ya que no son muy rentables cuando los rellenos no son de gran magnitud.
- Se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.
- En el relleno sanitario se puede eliminar toda clase de basuras.

#### **2.1.6 Desventajas del relleno**

- La adquisición del terreno constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se genera por parte de la población de los alrededores, ocasionada por la falta de información técnica sobre los rellenos sanitarios, ya que están acostumbrados a los botaderos a cielo abierto existentes.
- La desconfianza a las autoridades locales de no realiza una adecuada, operación y mantenimiento del relleno.
- Existe un alto riesgo de transformarse en un botadero a cielo abierto si no se la da continuación a los procesos establecidos de operación por falta de voluntad política por parte de las autoridades municipales.
- Debe de tener una buena planificación sobre todo con una buena concientización del ciudadano, para adoptar medidas pertinentes puede

provocar contaminación del suelo, aire, agua y desvalorización de terrenos aledaños.

- Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas, si no se toman las debidas precauciones.
- Obstrucciones en las tendencias del crecimiento de la población.
- Se puede presentar contaminación en las aguas subterráneas y superficiales cercanas si no se toman las debidas precauciones.
- La falta de personal calificado en las poblaciones de hace que la supervisión no sea rutinario, causando que en la etapa de construcción y operación no se lleve el procedimiento adecuado para obtener una eficiencia máxima y evitar fallas futuras.

### **2.1.7 Líquido percolado o lixiviado**

El lixiviado es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto materia en suspensión como disuelta, generalmente se da en ambos casos. Este líquido es más comúnmente hallado asociado a Rellenos sanitarios, en donde, como resultado de las lluvias percolando a través de los desechos sólidos y reaccionando con los productos de descomposición, químicos, y otros compuestos, es producido el lixiviado. Si el Relleno Sanitario no tiene sistema de recogida de lixiviados, éstos pueden alcanzar las aguas subterráneas y causar, como resultado, problemas medioambientales y/o de salud. Típicamente, el lixiviado es anóxico, ácido, rico en ácidos orgánicos, iones sulfato y con altas

concentraciones de iones metálicos comunes, especialmente hierro. El lixiviado tiene un olor bien característico, difícil de ser confundido y olvidado.

Los peligros de los lixiviados, son debidos a altas concentraciones de contaminantes orgánicos y nitrógeno amoniacal. Microorganismos patogénos y sustancias tóxicas que pueden estar presentes, son a menudo citadas como las más importantes, pero el contenido de microorganismos patogénos se reduce rápidamente en el tiempo en los Rellenos Sanitarios, aplicándose esto último al lixiviado fresco.

Geológicamente, es el proceso de eliminación de los constituyentes solubles de una roca, sedimento, suelo, escombrera... por las aguas de infiltración.

### **2.1.8 Drenaje de gases**

Un relleno sanitario no es otra cosa que un digestor anaeróbico, en el que debido a la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos, no solo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición natural o putrefacción de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio ocurre en dos etapas; aerobia y anaerobia.

**La anaerobia**, es la predomina en el relleno sanitario y produce cantidades apreciables de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) así como trazas de gases de olor repugnante, como ácidos sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) y mercaptanos.

**La aerobia**, es la etapa en la que el oxígeno está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados siendo rápidamente consumido.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen, los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno, aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir pudiendo originar altas concentraciones de metano con el consiguiente de la explosión en las áreas vecinas. Por lo tanto es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y conducción de estos gases.

Este control se puede lograr, construyendo un sistema de drenaje vertical en piedra colocándolo en diferentes puntos del relleno sanitario para que esos sean evacuados a la atmósfera, como este gas es inflamable se puede quemar simplemente encendiendo fuego en la salida del drenaje una vez concluido el relleno; también, se puede aprovechar este gas como energía en empleo de una pequeña cocina para calentar alimentos, como lámparas para iluminar el terreno o como abastecimiento de energía para industrias donde se utilicen hornos (solo si están en las cercanías del relleno).

## **2.2 Consideraciones de diseño para un relleno sanitario**

El relleno sanitario mecanizado se presenta como una alternativa técnica y económica tanto para las poblaciones urbanas y rurales como para las áreas marginales de algunas ciudades que generan más de 20 toneladas diarias de basura, siendo este el caso de Jalapa.

Por la cantidad producida en las ciudades de esta magnitud hace ineficiente un relleno manual, por lo que las consideraciones para un relleno deben de ser tomadas en cuenta sobre este fundamento.

Sin embargo, es preciso hacer un estudio la caracterización de la basura que se produce en dentro de la población, ya que por la vocación agrícola que tiene Jalapa, se puede considerar un compostaje o lombricultura para la materia orgánica reduciendo la cantidad de basura a depositar en el relleno y así darle más vida útil y bajar considerablemente la cantidad depositada en el relleno pudiéndolo tratar como relleno manual.

### **2.2.1 Planeación**

El relleno sanitario es una obra de ingeniería en la que gran parte de problemas potenciales se evitan con una buena planificación desde las etapas iniciales, puesto que de esta manera resulta mas sencillo y económico que si se efectúan correcciones en el transcurso de las operaciones.

La planeación inicial desarrollara las bases para las diferentes actividades a cumplir tales como; selección del sitio diseño construcción; operación y mantenimiento; y teniendo en cuenta que se debe contar con la información básica sobre la población a servir, la procedencia, la calidad y cantidad de desechos sólidos a disponer, los posibles sitios disponibles, el uso futuro del terreno una vez terminado el relleno, los recursos para su financiamiento y la asesoría de un profesional competente.

La planeación inicial deberá incluir un programa de información pública que explique cuales son las ventajas y desventajas de la implementación del relleno.

El apoyo público es una de las metas que debe procurar cualquier administración local que esté interesada en construir esta obra de saneamiento básico, puesto que, sin este apoyo, es muy probable que la misma no pueda llevarse a la práctica.

Toda comunidad debe estar enterada que para este tipo de obras es necesario tener recursos para su financiamiento, tanto para estudios de diseño como para su construcción, operación y mantenimiento.

## **2.2.2 Selección del sitio**

Para la selección del sitio deberán tomarse consideración aquellos lugares donde la operación del relleno sanitario conduzca a mejorar el terreno o la mejor opción en factibilidad. La buena selección del sitio eliminara en el futuro muchos problemas operacionales.

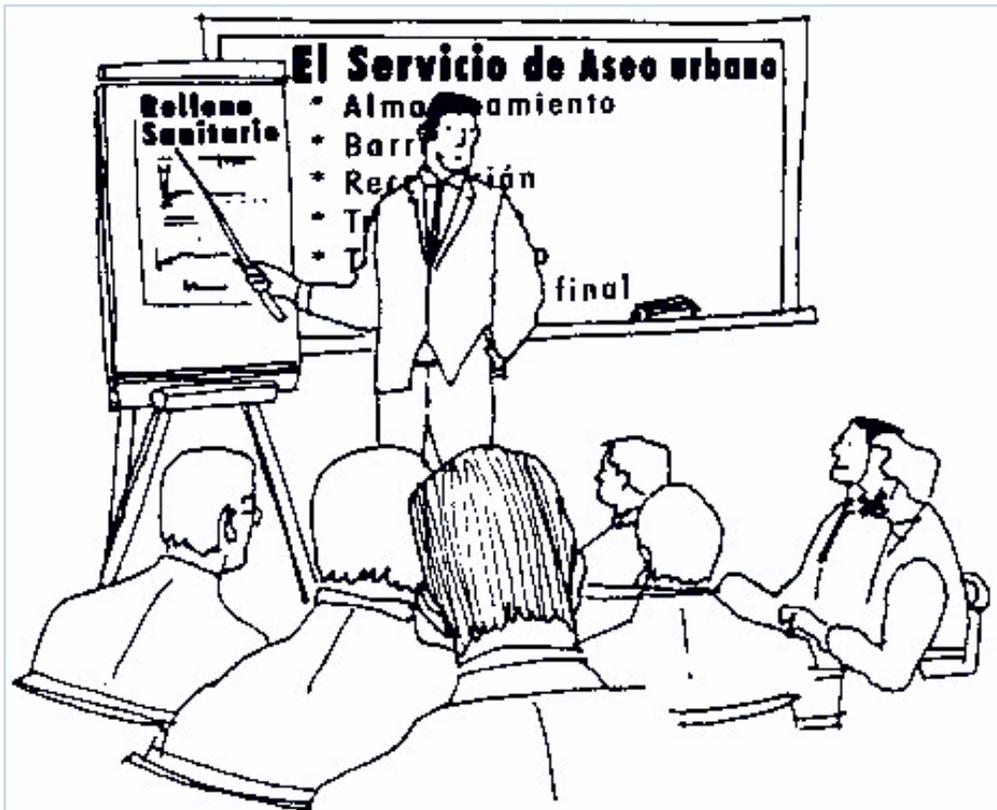
### **2.2.2.1 Participación comunitaria**

#### **2.2.2.1.1 Autoridades locales**

La elección debe hacerse en consulta con las autoridades locales de planificación, salud y protección del agua.

- Primero, el ingeniero sanitario, ambiental o técnico en saneamiento y un delegado de la administración local determinarán cuáles son los sitios disponibles y adecuados para construir un relleno sanitario. Para ello es importante emplear herramientas de apoyo como mapas de la ciudad, planos topográficos, fotos aéreas, etc.
- Segundo, el ingeniero o técnico especialista —apoyado en el análisis y el dictamen que sobre el terreno— preparará un informe con el orden de elegibilidad de los sitios preseleccionados para la construcción del relleno sanitario. Se recomienda incluir algunos cálculos y diseños preliminares, con un estimado de su vida útil y el costo de las obras.
- Tercero, la decisión final estará supeditada a razones administrativas y políticas, teniendo en cuenta la opinión pública, por lo que se deberá presentar el proyecto ante el concejo municipal para que se apruebe el acuerdo respectivo y, si el terreno no es propiedad del municipio, se autorice al alcalde la realización de las negociaciones y de las transferencias presupuestales para la adquisición del terreno y la construcción del relleno con todas sus obras complementarias.
- Cuarto, ordenar el levantamiento topográfico (en aquellos casos en que se lo considere necesario), elaborar cálculos y diseños definitivos del relleno sanitario, estimar costos, buscar su financiación y proceder a su ejecución.

Figura 8. Presentación del proyecto ante las autoridades locales



Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.

### 2.2.2.1.2 Opinión pública

Desde el inicio del proceso de selección, el público debe tener la oportunidad de participar, comentar y objetar las propuestas realizadas. En todos los casos, es esencial asegurar el apoyo de los distintos sectores de la población durante las fases de selección, diseño, construcción, operación, mantenimiento y uso futuro del relleno.

Este aspecto es muy importante dada la confusión que existe en las comunidades, que pueden creer que un relleno sanitario es un botadero de basura a cielo abierto. Se recomienda, entonces, efectuar un programa de educación sanitaria, con énfasis en el saneamiento ambiental, a fin de contribuir a la protección de la salud y de evitar la contaminación. Estos son los aspectos más críticos en las escuelas y colegios locales, asociaciones comunitarias, organizaciones no gubernamentales, etc. También se recomienda hacer uso de los medios de comunicación y hasta de la influencia de las iglesias locales.

La propuesta de construir un relleno sanitario para darle solución al problema puede verse obstaculizada, e incluso rechazada, si la población vecina no participa en programas de educación sanitaria y negociación dirigidos por el gobierno local e instituciones ambientales. En consecuencia, se debe buscar que los vecinos entiendan que el problema de la basura es complejo y no se resuelve abandonándola en los alrededores de su vecindario; también, para que acepten la obra, hay que persuadirlos de que los sistemas de tratamiento son complementarios al relleno sanitario.

### **2.2.2.2 Aspectos técnicos**

Desde el punto de vista técnico, el ingeniero sanitario debe tener en cuenta los siguientes factores.

#### **2.2.2.2.1 Localización**

Se recomienda que el relleno sanitario esté ubicado en la dirección o el sentido de crecimiento de la urbanización; sin embargo, para evitar conflictos con los vecinos, lo mejor es que este sitio comience a poblarse cuando

concluya la vida útil de la obra; de esta manera, la comunidad podrá beneficiarse con un parque o una zona verde.

Debe tenerse cuidado al seleccionar sitios en terrenos que puedan estar en zonas arqueológicas o áreas de protección especial, lo que implica elevar consultas al Instituto Nacional de Cultura o a la autoridad competente para obtener los respectivos permisos. No se deberá construir rellenos en lotes que estén debajo de líneas de alta tensión.

Desde el punto de vista del servicio de aseo urbano, la ubicación del terreno juega un papel importante en cuanto a la distancia al centro urbano (plaza principal) y el tiempo que tarda el vehículo recolector en llegar a su destino final, porque de ello depende el número de viajes diarios con cargas de basura que este pueda hacer. Esto repercute en la cobertura del servicio de recolección y el costo del transporte de los desechos. Por lo tanto, el sitio no debe estar a más de 30 minutos de ida y regreso del centro del poblado.

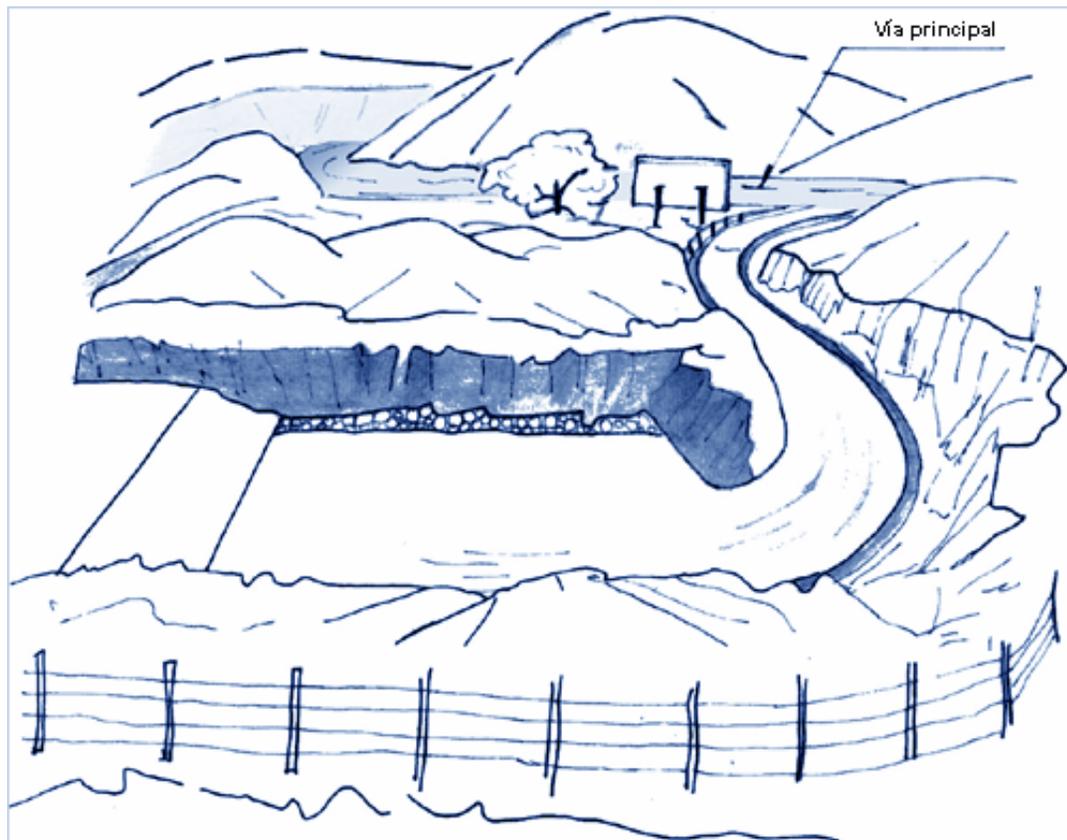
La cercanía del relleno permitirá, además, una mayor vigilancia y supervisión por parte de la comunidad, que de esta forma podrá evaluar la calidad de su operación y mantenimiento. Una vez terminada su vida útil, el relleno podrá ser utilizado por los vecinos, de acuerdo con las propuestas del proyecto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

Algunos especialistas recomiendan que los linderos del terreno de un relleno sanitario sean trazados a una distancia mínima de 200 metros del área residencial más cercana. A la hora de emitir un juicio en particular, es conveniente analizar las variables anotadas y, en especial, las condiciones del suelo y del entorno. No hay que olvidarlo: cada caso es único y amerita su propia evaluación.

#### 2.2.2.2.2 Vías de acceso

El terreno deberá estar cerca de una vía principal para que sea de fácil acceso y resulten más económicos el transporte de los y la construcción de la vía de penetración interna. Esta deberá permitir el ingreso fácil, seguro y rápido de los vehículos recolectores en todas las épocas de año.

Figura 9. Vía de acceso a las instalaciones



Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.

### **2.2.2.2.3 Condiciones hidrogeológicas**

Antes de negociar sobre el terreno, es importante analizar el tipo de suelo sobre el que se construirá el relleno sanitario, el cual deberá ser impermeable, es decir, arcilloso; de lo contrario, se debe impermeabilizar con una capa de arcilla compactada de 0,30 metros de espesor o, en última instancia, con una geomembrana de PVC4 o polietileno de alta densidad. En algunos casos, es conveniente probar la permeabilidad del suelo que servirá de base al futuro relleno a fin de evitar la contaminación del acuífero.

Lo anterior es posible, ya que al no existir agua en la basura, el proceso de descomposición bacteriano no se produce o es muy lento, razón por la cual se generan muy pocas cantidades de lixiviado y biogás, que quedan retenidos en el interior del relleno. Conviene recordar que la capacidad de campo de la tierra de cobertura y la basura influye para que no se liberen líquidos, máxime cuando la compactación en estos rellenos manuales es considerada débil.

Igualmente, se requiere evaluar la profundidad del manto freático o aguas subterráneas. Se recomienda tener por lo menos una distancia de 1,0 metros entre el nivel freático y los residuos sólidos cuando se tenga material limo-arcilloso.

### **2.2.2.2.4 Vida útil del terreno.**

Es deseable que la capacidad del sitio sea suficientemente grande para permitir su utilización por un mínimo de cinco años, a fin de que su vida útil se compatibilice con la gestión, los costos de adecuación y las obras de infraestructura. Pero esto no quiere decir que si se dispone de terrenos con una

capacidad menor, estos deban ser descartados. Es probable que en estos terrenos pequeños se pueda construir obras piloto que permitirán ganar la confianza de la población, con el objeto de acceder después a otros con una mayor vida útil.

La extensión del terreno requerida para la construcción de un relleno sanitario manual en una población pequeña, teniendo en cuenta la generación diaria per cápita de residuos, la densidad de compactación del relleno, el volumen del material de cobertura, la profundidad o altura del relleno y las áreas adicionales para la infraestructura y retiros como zonas de amortiguamiento de impactos ambientales.

Para poblaciones de mayor tamaño, se considera que el técnico deberá realizar los cálculos con más cuidado.

#### **2.2.2.2.5 Material de cobertura**

El terreno debe tener abundante material de cobertura de fácil extracción y con buen contenido de arcilla, dada su baja permeabilidad y elevada capacidad de absorción de contaminantes. Cuando esta sea escasa en el sitio, se deberá garantizar su adquisición en forma permanente y suficiente, tomando en cuenta su disponibilidad en lugares vecinos en donde los costos de transporte no sean muy altos. De no ser así, es preferible desechar el lugar porque corre el riesgo de convertirse en un botadero a cielo abierto.

#### **2.2.2.2.6 Conservación de los recursos naturales**

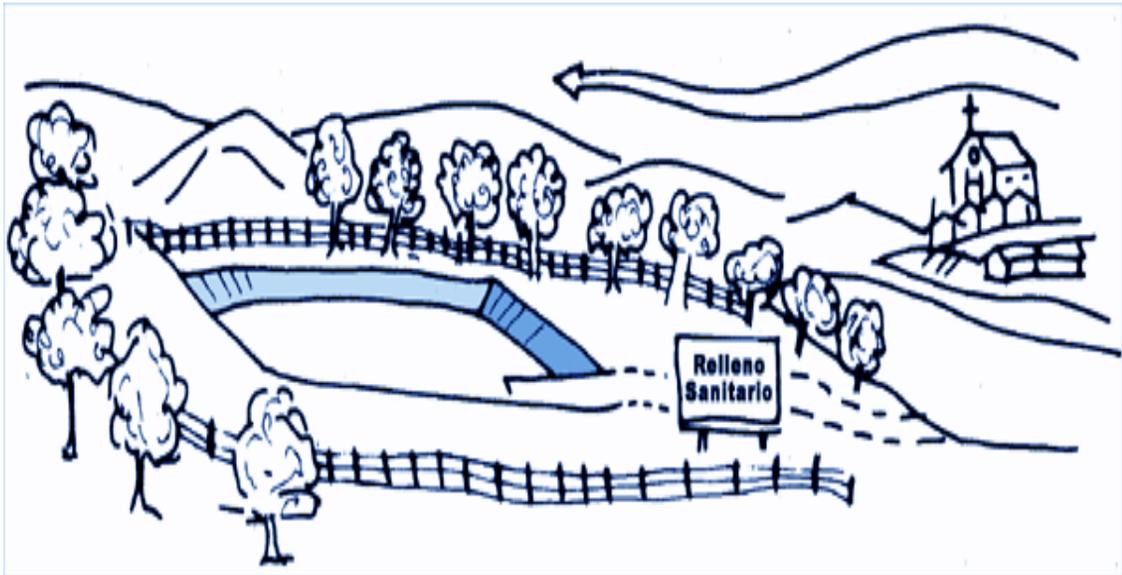
El terreno deberá estar ubicado aguas abajo de la captación del agua destinada para el consumo humano y, en general, de las fuentes de agua superficial. Lo ideal sería que estuviese en una área aislada, de poco valor comercial, en una zona marginal; es decir, donde el relleno sanitario no tenga un alto potencial de contaminación.

#### **2.2.2.2.7 Condiciones climatológicas**

La dirección del viento predominante es importante debido a las molestias que puede ocasionar la descarga de los residuos y las labores de extracción de tierra y cobertura; a los papeles, el material liviano y el polvo que se levantan, y también al posible transporte de malos olores a las áreas vecinas. Por ello, el relleno sanitario deberá estar ubicado de tal manera que el viento circule desde el área urbana hacia él; en caso contrario, para contrarrestar esta molestia se deben sembrar árboles y vegetación espesa en toda la periferia del relleno. La vegetación, además, impide que los vecinos y transeúntes observen las operaciones de disposición de los residuos y le da una mejor apariencia estética a la obra.

La precipitación pluvial es otro factor de vital importancia, por lo que se recomienda contar con registros de lluvias y períodos secos, a fin de estimar la cantidad de agua que cae en la zona de estudio. Estos datos pueden ser proporcionados por las instituciones nacionales de meteorología o las empresas de servicios de agua y drenaje. Aun cuando la precipitación pluvial se expresa en milímetros por año, conviene tener los registros mensuales de varios años para el dimensionamiento de las obras de drenaje perimetral y de lixiviado.

Figura 10. Dirección del viento en relación a la ubicación de la ciudad



Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.

#### 2.2.2.2.8 Costos

Una vez preseleccionados los terrenos más adecuados para la construcción del relleno sanitario, es prioritario averiguar a quién pertenece la propiedad, si está en venta o es factible de negociar y especialmente cuál es su valor. Es frecuente que el propietario quiera especular con su valor cuando se entera del interés del municipio por el terreno. El alcalde podría apelar al recurso legal de "expropiación", con lo que el avalúo del predio se hará de acuerdo con los criterios de un valuador.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es el costo que requieren las obras de infraestructura a fin de ingresar y preparar el terreno y de hacerlo apto para recibir los residuos de la población. Siempre es conveniente calcular el valor de las obras y, por supuesto, compararlo con los recursos de que dispone el municipio para que en el futuro no se abandone el proyecto por falta de presupuesto. Si estas inversiones resultan muy altas y se prevé que están fuera de las posibilidades del municipio, es mejor buscar otro terreno.

#### **2.2.2.2.9 Propiedad del terreno**

Un proyecto de relleno sanitario deberá iniciarse solo cuando el municipio o ayuntamiento tenga en su poder el documento legal que acredite la propiedad sobre el terreno, cuando esté autorizado por las respectivas autoridades y, de otro lado, cuando sea aceptado por la mayoría de la comunidad vecina, teniendo en cuenta su utilización futura.

El saneamiento fiscal del terreno es fundamental antes de iniciar la construcción de la infraestructura y la operación del relleno sanitario.

#### **2.2.2.2.10 Limitaciones y uso del suelo**

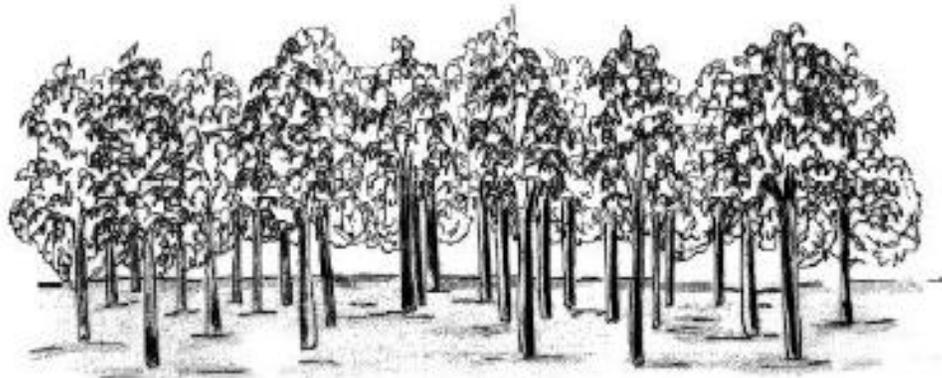
Es importante consultar con la oficina de planificación territorial del municipio o con estudios hechos en relación al crecimiento demográfico y el uso agrícola del terreno para no perjudicar en el futuro cercano el crecimiento en ambos casos. Se recomienda que el crecimiento de la urbanización se produzca en dirección al sitio seleccionado, pero no antes de que concluya su vida útil para bajar los costos de transporte y no al contrario.

### 2.2.2.2.11 Uso en el futuro

En todo proyecto de construcción de un relleno sanitario deberá contemplarse desde el principio el uso que se le dará al terreno una vez terminada la vida útil de la obra, a fin de integrarlo al ambiente natural transformándolo en una zona verde, área deportiva, jardín, vivero o en un bosque. Conviene recordar que la utilización final del relleno sanitario está limitada por la extensión del terreno el bajo grado de compactación, la cercanía al centro poblado y los costos para su adecuación.

Una buena estrategia para presentar el proyecto es entregar los planos del diseño de ingeniería con el diseño artístico o paisajístico que tendría el terreno cuando concluya su vida útil y, de ser posible, acompañado de una maqueta, puesto que las formas tridimensionales podrán ser mejor entendidas, sobre todo por los vecinos.

Figura 11. Uso en el futuro del Relleno Sanitario.



Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales  
O.P.S.

### **2.2.2.3 Metodología para la selección**

#### **2.2.2.3.1 Análisis preliminar**

Las visitas de campo se realizarán conjuntamente con las autoridades locales de salud y del ambiente. En estas visitas es conveniente contar con planos urbanísticos de la región, en escala 1:10.000 ó 1:25.000, con el propósito de ubicar los posibles sitios con respecto a las vías principales (salidas y entradas) hacia el área urbana, a las corrientes de agua más próximas y a la distribución de los suelos típica de la región.

Una vez en la oficina de planificación local, con ayuda del plan regulador, se consideran los usos del suelo y sus restricciones, así como las futuras zonas de expansión del área urbana, todo esto con el objeto de analizar su compatibilidad con el relleno sanitario que eventualmente se construiría en un lugar determinado.

#### **2.2.2.3.2 Investigación de campo**

Los mejores sitios visitados serán investigados con mayor detalle. Por ejemplo, se evaluará si existen pozos de abastecimiento de agua para consumo, las características del suelo y el nivel freático; además, se tratará de identificar puntos de referencia, accidentes geográficos, nacimientos de agua en el terreno, caminos y construcciones importantes.

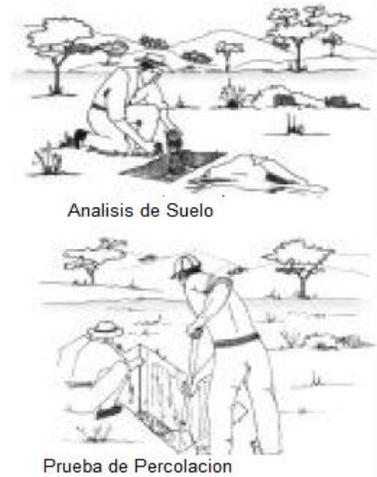
Conviene recordar que una de las decisiones iniciales puede ser la integración de los sistemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos, lo que influirá en la localización del sitio y en la extensión del terreno. Sin embargo, en este caso, los criterios de selección para la construcción del relleno serán determinantes.

## 2.2.2.4 Actividades para el diseño, construcción y operación.

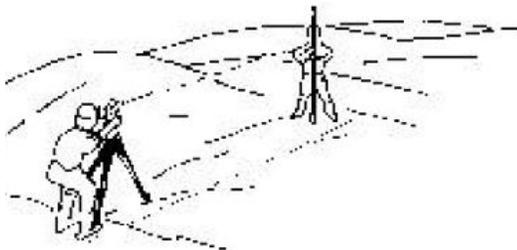
### 2.2.2.4.1 Estudios de campo



1. Identificación del sitio



2. Análisis hidrogeológico



3. Levantamiento topográfico



4. Elaborar diseño

Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.

Inversión inicial  
Diseño,  
terreno,  
infraestructura.

Operación y  
mantenimiento



5. Análisis de costos

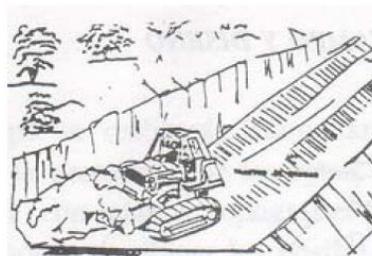
6. Presentación a autoridades

Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.

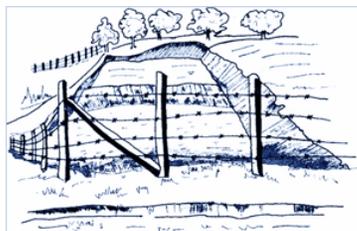
### 2.2.2.4.2 Preparación del terreno y construcción de obras



1. Limpieza de terreno



2. Construcción de vía de acceso



3. Encerramiento del terreno



4. Siembra árboles perimetral



5. Drenaje perimetral



6. Preparación de suelo soporte



7. Drenajes internos

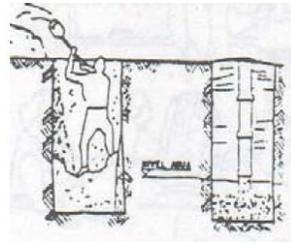


8. Preparación de drenajes de gas

Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.



9. Construcción de la caseta de control e instalaciones sanitarias



10. Construcción de pozos de monitoreo



11. Diseño y ubicación del cartel de Identificación y visita al lugar con Líderes de áreas vecinas.

Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.

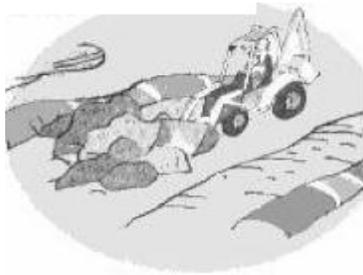
### 2.2.2.4.3 Operación y mantenimiento



1. Compra de equipo y herramienta



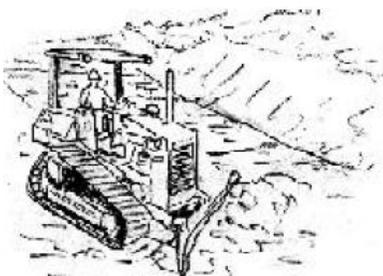
2. Adquisición de elementos de protección de los trabajadores



3. Inicio de la operación del relleno



4. Clausura de botadero



5. Mantenimiento permanente

Operacion y mantenimiento



6. Preparación de presupuesto anual

#### **2.2.2.4.4 Actividades del proyecto**

Las actividades siguientes servirán para orientar y programar las actividades de las obras del relleno sanitario.

##### Actividades

##### Identificación de sitio a rellenar y sus alrededores

- Selección del sitio
- Levantamiento topográfico
- Estudios y diseño

##### Infraestructura periférica

- Vías de acceso
- Drenaje pluvial
- Desvió y aislamiento de eventuales cursos de agua

##### Infraestructura del relleno

- Limpieza y desmonte
- Cortes
- Preparación del suelo de soporte
- Drenaje de líquido percolado
- Drenaje de gases
- Acceso interno
- Drenaje pluvial interno

#### Construcción auxiliares

- Cerca perimetral
- Arborización perimetral
- Caseta o portería
- Valla publicitaria
- Instalaciones sanitarias
- Pozo de monitoreo

#### Clausura de Botaderos

- Exterminio de roedores y artrópodos
- Cubrimiento con tierra y apisonado
- Cercado
- Avisos

#### Inicio de operación del relleno

### **2.2.2.4.5 Incluyen en el proyecto de relleno**

#### **2.2.2.4.5.1 Levantamiento topográfico**

Una vez definido el sitio para la construcción del relleno se procederá a realizar un levantamiento topográfico con detalles a escala 1:1000-1:1500, con curvas de nivel a cada medio metro, para contar con mayor precisión en terrenos planos, para la elaboración de cálculos y el diseño definitivo del relleno sanitario.

El levantamiento topográfico del terreno, así como la elaboración de planos podrá ser contratado por el municipio, aunque este estudio es parte del aporte del epesista hacia el municipio.

#### **2.2.2.4.5.2 Diseño del proyecto**

El diseño materializa la concepción de la obra en general y tiene como objetivo orientar su desarrollo y planificar su construcción; además, permite presentarlo ante las autoridades del municipio y a la comunidad para su promoción y búsqueda de financiamiento.

El diseño básico contemplará la delimitación del área total del sitio y del terreno que deberá ser rellenado sucesivamente e indicará el método de construcción, el origen de la tierra de cobertura y la disposición de las obras de infraestructura. Además, en las memorias se presentará el cálculo de la vida útil del relleno, su uso futuro y el costo global estimado del proyecto.

#### **2.2.2.4.5.3 Detalles del proyecto**

El diseño se deberá presentar en un máximo de 10 planos que contengan como mínimo los dibujos en planta y los diversos perfiles del proyecto, tales como:

- La configuración del terreno original y la delimitación del área total.

- La adecuación inicial del terreno y la disposición en planta de las obras de Infraestructura y construcciones auxiliares.
- Detalles de las obras de acceso, drenajes principales y construcciones auxiliares.
- El orden del proceso constructivo para orientar la operación del relleno.
- Las configuraciones parciales del relleno de acuerdo con el avance.
- La configuración final del relleno, incluido su tratamiento paisajístico.

### **2.3 Diseño del relleno sanitario**

Una vez legalizada la propiedad del terreno, se puede proceder a contratar los estudios y diseños del relleno sanitario y de su infraestructura. Para estos estudios, el ingeniero proyectista o contratista deberá recopilar la información básica y realizar necesariamente una o varias visitas de campo a fin de reconocer el terreno.

Para evaluar el sitio, el técnico llevará consigo el plano topográfico, el cual debe contener la descripción original del terreno (alturas y depresiones), un gráfico o cuadro que indique las cantidades de residuos y la tierra necesaria como cobertura que se estima se acumularán entre los próximos 10 años como mínimo. La visita es importante para identificar la zona de llenado y sus alrededores, así como para localizar las obras de infraestructura y construcciones auxiliares, tales como el trazo de la vía de acceso, los drenajes,

el patio de maniobras, la caseta de vigilancia. En esta etapa, además, se evalúa el método de relleno, la fuente de material de cobertura, la distribución y el diseño de los terraplenes de residuos para, finalmente, empezar a definir la secuencia de construcción.

### **2.3.1 Información básica**

Aspectos demográficos, aspectos generales de los desechos, cálculo de volumen necesario, volumen de residuos sólidos, volumen del relleno necesario, cálculo del área requerida, selección del método, capacidad volumétrica del sitio, cálculo de la vida útil, cálculo de celdas, etc.

### **2.3.2 Aspectos demográficos**

#### **2.3.2.1 Población**

Es necesario conocer el número de habitantes meta para definir las cantidades de residuos sólidos que se han de disponer. Hay que anotar que en la producción de estos residuos se debe discriminar entre la producción rural y la urbana. La primera presentará menos exigencias por ser más bien reducida, si bien la recolección resulta más difícil.

En cambio, la producción urbana es más notoria por razones de concentración, aumento de población y desarrollo tecnológico y urbanístico, de ahí que merezca especial atención.

### 2.3.2.2 Proyección de la población

Resulta de suma importancia estimar la población futura que tendrá la comunidad por lo menos entre los próximos 5 a 10 años, a fin de calcular la cantidad de residuos que se deberá disponer diaria y anualmente a lo largo de la vida útil del relleno sanitario.

El crecimiento de la población se podrá estimar por métodos matemáticos, o bien vaciando los datos censales en una gráfica y haciendo una “proyección” de la curva dibujada.

A continuación, un ejemplo de método matemático referido al crecimiento geométrico; es decir, al de las poblaciones biológicas en expansión, para el cual se asume una tasa de crecimiento constante. La siguiente expresión nos muestra su cálculo:

$$Pf = Po(1 + r)^n$$

donde:

Pf = Población futura

Po = Población actual

r = Tasa de crecimiento de la población

n = (t final – t inicial) intervalo en años

t = variable tiempo (en años)

El área urbana del municipio y sus aldeas mas cercanas en aquel entonces, ahora considerados barrios o colonias; cuenta actualmente utilizando proyección con base al censo 2002 de INE.

Po = 41,572 hab.      r= tasa de crecimiento 3%      n= valuando para 20 años

Población futura, incluyendo un año trámite y un periodo útil de 20 años.

$$Pf = 41,571(1 + 0.03)^{21} = 77,336hab.$$

Este dato junto con los siguientes se necesitara posteriormente para el cálculo de volumen, área requerida y vida útil para los desechos sólidos a disponer.

### **2.3.3 Caracterización de los desechos sólidos**

La generación y composición de los desechos que serán manejados, podemos decir que para el cálculo de producción el sector residencial es predominante, siendo las demás actividades tan incipientes que su consideración no alcanza a afectar de manera apreciable la cantidad total de residuos sólidos, salvo los provenientes de los mercados.

### **2.3.3.1 Composición**

#### **a) Sector Residencial**

La basura residencial (o desechos sólidos domésticos) está compuesta principalmente de papel, cartón, latas, plásticos, vidrios, trapos y materia orgánica.

En los estudios realizados sobre producción de basura en pequeñas localidades (menos de 40.000 habitantes), no se han encontrado grandes diferencias entre los diferentes estratos socioeconómicos de la población.

#### **b) Sector comercial**

El comercio representa un índice en la producción de residuos sólidos representativo, pero no muy significativo y la actividad comercial suele combinarse con la vivienda.

La composición de los desechos de la actividad comercial en estas comunidades es similar a la del tipo residencial, si bien predominan los materiales de empaque (papel, cartón, vidrio, plástico, textil y madera).

#### **c) Sector industrial**

La actividad industrial existente es casi nula, de manera que es de esperar que sus desechos sólidos no presenten características especiales. Por ende, salvo pocas excepciones, no es significativa para el análisis de estas poblaciones.

d) Plaza de mercado

La zona de mercado presenta un carácter más definido, dado que allí se concentran los expendios de carne, pescado, vegetales, frutas, abarrotes y otros, lo que indica que gran parte de los residuos es de materia orgánica y solo una muy pequeña es material de empaque; para estos desechos puede ser recomendable la producción de compostaje con métodos manuales.

e) Tren de aseo público

El servicio de barrido de vías y limpieza de áreas públicas contribuyen a la producción de desechos. Estos están compuestos básicamente de hojas, hierba, cáscaras de frutas, además de papeles, plásticos, latas, vidrios, palos y un alto contenido de tierra.

f) Sector institucional

Para el caso de establecimientos especiales como escuelas y colegios, se puede considerar, sin gran margen de error, que la generación de desechos sólidos no es muy significativa con respecto al resto; su composición es similar a las anteriores.

El hospital o centro de salud en esta población suelen ser instituciones clasificadas como del primer nivel de atención, poco especializadas y con un mínimo número de camas, aunque en este casos es de mediana magnitud.

Sin embargo, en cuanto al tipo de desechos que producen, es necesario distinguir entre los clasificados como de origen residencial (limpieza, cocina, basura común) y los originados por sus actividades específicas y que son

potencialmente infecciosos: materiales punzocortantes y de curación, vísceras provenientes del quirófano, etc., todos estos llamados residuos biológico-infecciosos, para los cuales se sugiere un manejo, un tratamiento y una disposición final especiales.

### 2.3.3.2 Producción per cápita

La producción per cápita de desechos sólidos se puede estimar así:

$$Ppc = \frac{Drs}{Pob \times Cob}$$

Donde:

Ppc= producción per capita (kg. /hab. - día)

Dsr= Desechos sólidos recolectados

Pob= población área urbana

Cob= cobertura de recolección

En Jalapa se recolectan un promedio de 35 m<sup>3</sup> al día entre semana o sea 17.5 Ton/día en toda la semana.

$$Ppc = \frac{17,500Kg}{41572 \times 0.80} = 0.526Kg / hab - dia$$

Es de tomar en cuenta que este dato solo corresponde a la ppc de la población urbana, pero para fines de estudio se tomara este dato como base.

### 2.3.3.3 Producción total

La producción total al inicio esta dado por la producción per capita de todos los habitantes que se toman en cuenta en el estudio, por lo cual tenemos lo siguiente:

$$Pt = Ppc \times Pob$$

Donde:

Pt= Producción total diaria (Kg-día)

Ppc = producción per capita (Kg/hab-día)

Pob= población inicial área urbana.

Entonces tenemos:

$$Pt = 0.526Kg / hab - día \times 41,572 = 21,866.87Kg - días$$

### 2.3.3.4 Proyección de producción total

La producción anual de desechos sólidos debe ser estimada con base en las proyecciones de la población y la producción per cápita. Como ya se mencionó, también se tomara en cuenta a la población del área rural mas cercana; no mas de 6 km. de distancia. La proyección de la población se calcula mediante métodos matemáticos, pero en lo que se refiere al crecimiento de la ppc difícilmente se encuentran cifras que den idea de cómo puede variar anualmente.

No obstante, para obviar este punto y sabiendo que con el desarrollo y el crecimiento urbano y comercial de la población los índices de producción aumentan, se calculara la producción per cápita total para cada año, con un incremento de 0.5 % anual.

Año inicial 2010

Taza de crecimiento = 3%

Incremento de ppc anual= 0.5%

Tabla VI Crecimiento poblacional y producción anual de desechos

Año	Población	Ppc (kg/hab/dia)	Ppc anual Kg./hab	Produccion total al dia (kg/dia)	Producción anual total
2010	42819	0.5286	192.950	22,635.41	8,261,923.91
2011	44104	0.5313	193.915	23,431.04	8,552,330.53
2012	45427	0.5339	194.884	24,254.64	8,852,944.95
2013	46789	0.5366	195.859	25,107.19	9,164,125.97
2014	48193	0.5393	196.838	25,989.71	9,486,245.00
2015	49639	0.5420	197.822	26,903.25	9,819,686.51
2016	51128	0.5447	198.811	27,848.90	10,164,848.49
2017	52662	0.5474	199.805	28,827.79	10,522,142.91
2018	54242	0.5501	200.804	29,841.09	10,891,996.24
2019	55869	0.5529	201.808	30,890.00	11,274,849.90
2020	57545	0.5557	202.817	31,975.78	11,671,160.88
2021	59272	0.5584	203.832	33,099.73	12,081,402.18
2022	61050	0.5612	204.851	34,263.19	12,506,063.47
2023	62881	0.5640	205.875	35,467.54	12,945,651.60
2024	64768	0.5669	206.904	36,714.22	13,400,691.25
2025	66711	0.5697	207.939	38,004.73	13,871,725.55
2026	68712	0.5725	208.979	39,340.59	14,359,316.70
2027	70773	0.5754	210.023	40,723.42	14,864,046.69
2028	72896	0.5783	211.074	42,154.84	15,386,517.93
2029	75083	0.5812	212.129	43,636.59	15,927,354.03
2030	77336	0.5841	213.190	45,170.41	16,487,200.53

### **2.3.3.5 Densidad**

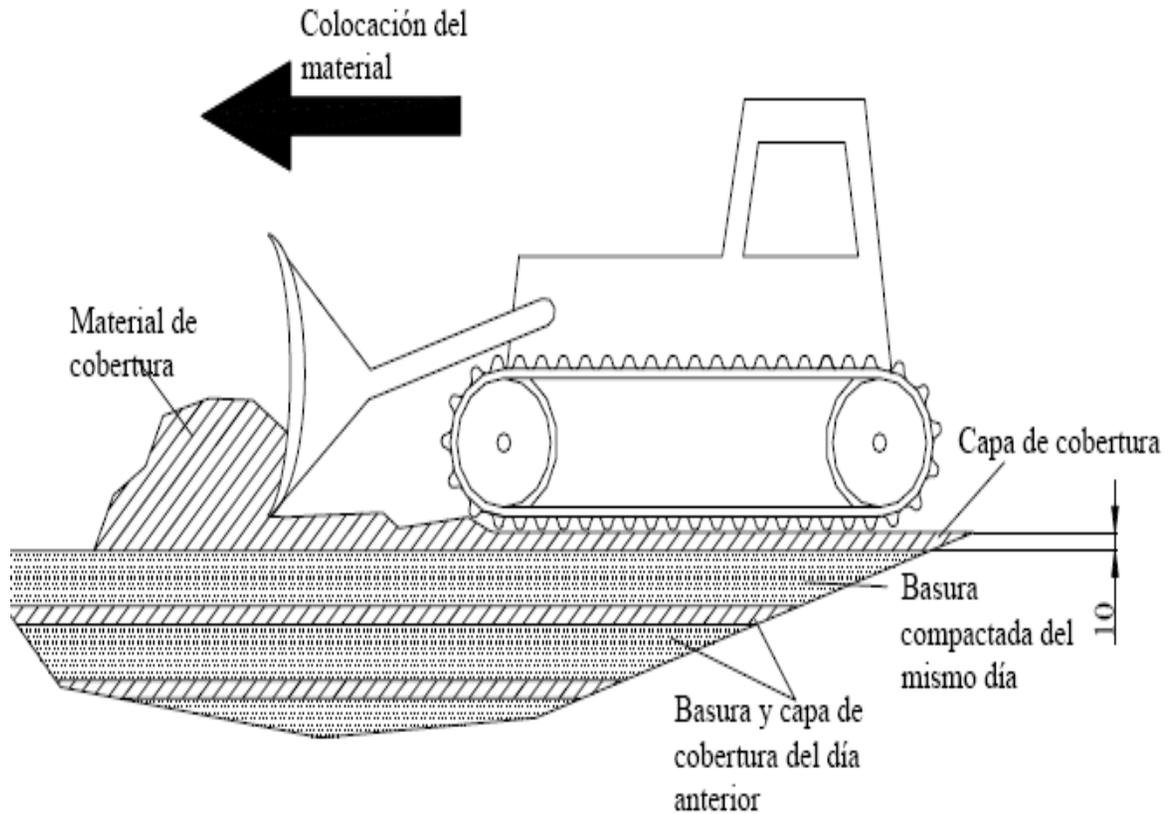
La mejor compactación (hacia 0.81 t/ m<sup>3</sup>) se logra si los desechos se colocan en capas delgadas de un espesor de menos de 30 cm.

El operador del tractor puede determinar el espesor de la capa bajándose para hacer un control visual, o su ayudante puede colocar una estaca con medidas para visualizar las medidas actuales.

Se debe cubrir la basura descargada cada día al fin de la jornada con una capa de tierra. La cantidad del material usado para la cobertura debe ser entre 1/5 y 1/3 de la basura enterrada.

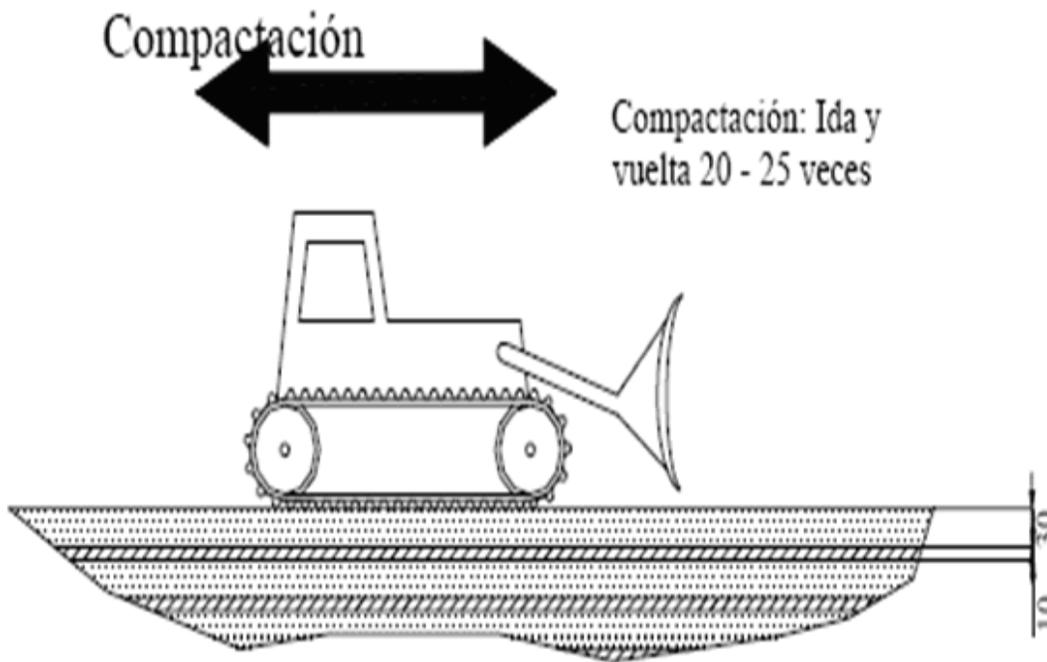
Si se entierran 50 m<sup>3</sup>/d de basura, se debe utilizar 13 - 15 m<sup>3</sup> de tierra para la cobertura

Figura 12. Ejemplo de colocación de material de cobertura.



Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales (Servicio Aleman de Cooperación Social-Técnica Eva Röben DED/ Municipalidad de Loja, Ecuador 2002)

Figura 13. Ejemplo de compactación de material de cobertura



Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales (Servicio Aleman de Cooperación Social-Técnica Eva Röben DED/ Municipalidad de Loja, Ecuador 2002)

Se recomienda dividir el relleno en franjas diarias. El área de una franja se calcula considerando la cantidad de basura que se entierra y el espesor de la capa; por ejemplo  $30 \text{ t/d} = 60 \text{ m}^3/\text{d}$ ; con una espesor de 0.3 m se debe construir una franja diaria de  $200 \text{ m}^2$ . Es preferible hacer franjas estrechas y largas para minimizar el número de idas y vueltas del tractor en el ejemplo:  $5 \text{ m} \times 40 \text{ m}$  o  $6 \text{ m} \times 33 \text{ m}$ .

### 2.3.3 Cálculo de volumen necesario

Los requerimientos de espacio del relleno sanitario están en función de:

- La producción total de desechos sólidos, la cobertura de recolección; la condición crítica de diseño es recibir el 100% de los desechos sólidos.
- La densidad de los desechos sólidos estabilizados en el relleno sanitario mecanizado.
- La cantidad del material de cobertura (20-33%) del volumen compactado de desechos sólidos.

### 2.3.4 Volumen de residuos sólidos

Con los dos primeros parámetros se tiene el volumen diario y anual de residuos sólidos compactados y estabilizados que se requiere disponer, es decir:

$$V_{diario} = \frac{C_{rp}}{C_{rc}}$$

$$V_{\text{anual}}_{\text{ compactado}} = V_{\text{diario}} \times 365$$

donde:

$V_{\text{diario}}$  = Volumen de residuos por disponer en un día ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$V_{\text{anual}}$  = Volumen de residuos en un año ( $\text{m}^3/\text{año}$ )

$\text{CRc}$  = Cantidad de residuos compactados ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$\text{DSp}$  = Cantidad de residuos producidos ( $\text{kg}/\text{día}$ )

365 = Equivalente a un año (días)

$\text{Drsm}$  = Densidad de los residuos sólidos compactados mecánicamente ( $700\text{-}800 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).

Entonces tenemos;

Compactado

$$V_{\text{diario}} = \frac{22,635.41 \text{Kg} / \text{dia}}{750 \text{Kg} / \text{m}^3} = 30.181 \text{m}^3$$

$$V_{\text{anual}} = 30.181 \text{m}^3 \times 365 \text{días} = 11,016.17 \text{m}^3 / \text{año}$$

### 2.3.5.1 Material de cobertura

El material de cobertura equivale al 20 a 33% del volumen de los desechos recién compactados.

$$m.c. = V_{diario} \times (20 - 33\%)$$

donde :

$V_{diario}$  = volumen de residuos por disponer en un día ( $m^3/día$ )

m.c. = material de cobertura con la cantidad adecuada para optimizar la operación.

Entonces tenemos;

$$m.c. = 30.181 m^3 / dia \times (20\%) = 6.036 m^3 / dia \_ de \_ material$$

### 2.3.6 Volumen de relleno necesario

Con los resultados obtenidos de las formulas se puede calcular el volumen del relleno sanitario para el primer año, así:

$$V_{rs} = V_{anual \_ esatbilizado} \times F.m.c.$$

donde :

VRS = Volumen del relleno sanitario (m<sup>3</sup>/año)

m. c. = material de cobertura (20 a 33% del volumen recién compactado de desechos)

F.m.c. = Factor de material de cobertura

Estos datos se adjuntan a la Tabla VII para determinar el volumen total ocupado durante la vida útil del relleno, así como los valores anuales para la planificación.

$$V_{rs} = 11,016.07 \times 1.20 = 13,219.28m^3 / dia.$$

### **2.3.7 Cálculo de área requerida**

Con el volumen se puede estimar el área requerida para la construcción del relleno sanitario, con la profundidad o altura que tendría el relleno. Esta solo se conocerá si se tiene una idea general de la topografía.

El relleno sanitario debe proyectarse para un mínimo de cinco años y un máximo que el terreno permita. Sin embargo, algunas veces es necesario diseñarlo para menos de cinco años si se considera la dificultad de encontrar terrenos disponibles. Este tiempo se llama vida útil o período de diseño.

Si el municipio cuenta con maquinaria para la compactación de la basura, el relleno se puede diseñar como una gran colina artificial, lo que permite un uso óptimo del terreno.

El área requerida para la construcción de un relleno sanitario manual depende principalmente de factores como:

- Cantidad de desechos sólidos que se deberá disponer;
- Cantidad de material de cobertura;
- Densidad de compactación de los desechos sólidos;
- Profundidad o altura del relleno sanitario;
- Áreas adicionales para obras complementarias.

El área necesaria se calcula de la manera siguiente para el relleno compactado:

$$A = \frac{V_{relleno}}{f}.$$

A: Área necesaria para el cuerpo de basura (ha)

Vrelleno: Volumen necesario para el relleno (m<sup>3</sup>)

f: Factor volumen/área.

Ese factor se calcula como la altura promedio del relleno m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>; el área total del relleno será calculado como:

$$A_t = A_{bsura} \times F_i$$

Fi = Factor que considera el área complementaria de infraestructura, para las vías de acceso, vías de circulación interna, caseta de control y si se consideran plantas de lombricultura o compostaje. Este factor se considera entre 20-40%; para nuestro caso se considerará 30%.

Tabla VII. Área necesaria, producción de basura y volumen necesario del relleno.

Año	Población	Producción de basura (t/d)	Basura la relleno (t/a)	Basura al relleno (m3/a)	Volumen necesario (m3/a)	Área necesaria (ha)
2010	42819	22.635	8,261.92	10,327.40	12,392.89	
2011	44104	23.431	8,552.33	10,690.41	12,828.50	
2012	45427	24.255	8,852.94	11,066.18	13,279.42	
2013	46789	25.107	9,164.06	11,455.07	13,746.08	
2014	48193	25.989	9,485.99	11,857.48	14,228.98	
2015	49639	26.903	9,819.60	12,274.49	14,729.39	
2016	51128	27.848	10,164.52	12,705.65	15,246.78	
2017	52662	28.827	10,521.86	13,152.32	15,782.78	
2018	54242	29.841	10,891.97	13,614.96	16,337.95	
2019	55869	30.890	11,274.85	14,093.56	16,912.28	
2020	57545	31.975	11,670.88	14,588.59	17,506.31	
2021	59272	33.099	12,081.14	15,101.42	18,121.70	
2022	61050	34.263	12,506.00	15,632.49	18,758.99	
2023	62881	35.467	12,945.46	16,181.82	19,418.18	
2024	64768	37.714	13,765.61	17,207.01	20,648.42	
2025	66711	38.004	13,871.46	17,339.33	20,807.19	
2026	68712	39.340	14,359.10	17,948.88	21,538.65	
2027	70773	40.723	14,863.90	18,579.87	22,295.84	
2028	72896	42.154	15,386.21	19,232.76	23,079.32	
2029	75083	43.636	15,927.14	19,908.93	23,890.71	
2030	77336	45.170	16,487.05	20,608.81	24,730.58	
					<b>376,280.92</b>	<b>9.41</b>

El área necesaria para depósito de residuos es de 9.41 ha en una vida útil de 20 años con una altura promedio de 4 metros, considerando la máxima compactación 800 kg/m<sup>3</sup>, este dato puede variar de acuerdo al método que se elija y el lugar donde se elija, así como si se reciclado se desecha por completo lo recolectado.

### **2.3.8 Selección del método**

El relleno de una fosa se realiza generalmente en lugares donde ya existen fosas causadas por una actividad anterior, por ejemplo fosa de mina cantera, que se pueden utilizar para la disposición final de los desechos sólidos. Es verdad que no se recomienda ese tipo de relleno por las causas siguientes:

- El acceso con equipamiento (compactadora, excavadora etc.) es difícil

- No hay como evacuar las aguas lixiviadas; se deben bombear, lo que aumenta los costos operativos. Si no se bombean, causan contaminación de las capas freáticas y transforman el cuerpo de basura en un pantano.

En muchos casos, el nivel de la más alta capa freática es arriba del fondo de la fosa.

En ese caso, las aguas lixiviadas se mezclan directamente con las aguas subterráneas y las contaminan. La evacuación de las aguas lixiviadas es más fácil en los rellenos construidos en una quebrada o al lado de un talud. Aquí surge otro problema.

La estabilidad del suelo se logra más difícilmente; cuando hay taludes fuertemente inclinados o sitios donde existen fuentes de agua bajo del cuerpo

de basura, pueden ocurrir caídas de terreno (en el relleno serían caídas de basura). Se debe calcular muy bien el talud del cuerpo de basura para eliminar ese riesgo; además se debe estar seguro que no hay nacimientos de agua en el terreno. Si se hace un relleno al lado de un talud o en una quebrada, el drenaje de las aguas de lluvia es muy importante.

Desde el punto de vista de la seguridad y control de emisiones, la topografía más apta es el área plana. Aquí se debe solamente nivelar el terreno para asegurar una pendiente mínima, a fin de evacuar las aguas lixiviadas por pendiente natural. La desventaja del terreno plano es que ese tipo de terreno ya se utiliza en muchos casos para la agricultura o urbanizaciones y tiene un precio más elevado que los terrenos inclinados.

### **2.3.9 Capacidad Volumétrica del sitio**

A partir de la vida útil de la zanja, se calcula el volumen por cada periodo de tiempo, esto nos servirá para determinar la vida útil del relleno en total y a su vez la capacidad volumétrica total.

$$V_z = \frac{t \times Dsr \times m.c.}{Drsm}$$

donde:

$V_z$  = Volumen de la zanja ( $m^3$ )

$t$  = Tiempo de vida útil (días) (se recomienda de 60 a 90 días)

$Dsr$  = Cantidad de desechos sólidos recolectados (kg/día)

$m. c.$  = Material de cobertura (20% del volumen compactado)

$Drsm$  = Densidad de los desechos sólidos en el relleno ( $kg/m^3$ ).

Entonces tenemos:

$$V_z = \frac{60 \text{ dias} \times 22,635.41 \text{ Kg} / \text{ dia} \times 1.20.}{750 \text{ Kg} / \text{ m}^3} = 2173 \text{ m}^3$$

La capacidad volumétrica total del sitio se calcula considerando los datos que se muestran en los siguientes temas.

$$C_{vs} = V_z \times N$$

Donde:

$C_{vs}$ = Capacidad volumétrica del sitio

$V_z$ = Volumen de cada zanja

$N$ = Cantidad de zanjas construibles

### **2.3.9.1 Dimensiones de la zanja**

La profundidad de la zanja, que debe ser de 2 a 4 metros de acuerdo con el nivel freático, tipo de suelo y de equipo y costos de excavación.

El ancho de la zanja, que debe medir entre 3 y 6 metros (ancho del quipo). Esto es conveniente para evitar el acarreo de larga distancia de la basura y el material de cobertura, lo cual implica mejores rendimientos de trabajo. Así, la operación puede ser planeada dejando un lado para acumular la tierra y el otro para la descarga de los desechos. Dependiendo del grado de compactación y del clima, se puede usar la superficie de una zanja terminada para la descarga de los residuos.

El largo está condicionado al tiempo de duración o vida útil de la zanja. Entonces se tiene que :

$$L = \frac{V_z}{a \times h_z}$$

donde :

$l$  = Largo o longitud de la zanja (m)

$V_z$  = Volumen de la zanja (m<sup>3</sup>)

$a$  = Ancho (m)

$h_z$  = Profundidad (m)

Entonces tenemos según los datos anteriores,

$$L = \frac{2173.00m^3}{4.00 \times 4.00} = 135.81 \approx 136.00m$$

### 2.3.10 Vida útil del terreno

Podemos conocer el área requerida sólo si se conoce la profundidad promedio del relleno sanitario. Sin embargo, en la práctica nos encontramos con un terreno al que hay que calcularle la vida útil.

En lo que respecta al método de zanja, una vez calculado su volumen, suponemos un factor para las áreas adicionales (separación entre zanjas, vías de circulación, aislamiento, etc.) y luego se estima el número de zanjas que se podrían excavar en el terreno. Así:

$$N = \frac{At}{F \times Az}$$

donde :

n = Número de zanjas

At = Área total del terreno (m<sup>2</sup>)

F = Factor para áreas adicionales de 1.2 a 1.4 (30% para nuestro caso)

Az = Área de la zanja (m<sup>2</sup>)

Entonces tenemos:

$$N = \frac{153,443.26m^2}{1.30 \times 544m^2} = 217.23 \text{ _zanjas}$$

La vida útil estará dada por:

$$Vu = \frac{tz \times N}{365}$$

donde :

Vu = Vida útil del terreno (años)

tz = tiempo de servicio de la zanja (días)

$$Vu = \frac{60días \times 217.23}{365} = 35.71años$$

Eventualmente la vida útil real del terreno puede ser mas o puede ser de acuerdo al crecimiento poblacional y el crecimiento o disminución de la generación de basura, también puede variar si se recicla o se desechan toda la basura recolectada. Por eso se calcula con los datos del año inicial.

Con estos datos anteriormente calculados tenemos que la capacidad volumétrica total del relleno es;

$$Cv = 2173.00m^3 / zanja \times 217.23Zanjas = 472,127.71m^3$$

### **2.3.11 Cálculo de la celda diaria**

Como se sabe, la celda diaria está conformada básicamente por los residuos sólidos y el material de cobertura y será dimensionada con el objeto de economizar tierra, sin perjuicio del recubrimiento y con el fin de que proporcione un frente de trabajo suficiente para la descarga y maniobra de los vehículos recolectores.

Las dimensiones y el volumen de la celda diaria dependen de factores tales como los siguientes:

- La cantidad diaria de desecho que se debe disponer.
- El grado de compactación.
- La altura de la celda más cómoda para el trabajo manual.
- El frente de trabajo necesario que permita la descarga de los vehículos de recolección.

Para el caso de un Relleno Sanitario mecanizado se recomienda para un mayor grado de compactación hacer capas de basura de 0.30 m con material de cobertura de acuerdo al porcentaje recomendado. En base a estos datos calculamos la celda o el área diaria, considerando de la siguiente manera:

## Cantidad de residuos sólidos que se debe disponer

La cantidad de basura para diseñar la celda diaria se puede obtener de dos maneras:

A partir de la cantidad de basura producida diariamente, es decir:

$$Cdrs = \frac{Cdsp \times 7dsemana}{dhab}$$

Donde :

Cdrs = Cantidad media diaria de residuos sólidos en el relleno sanitario (kg/día)

Cdsp = Cantidad de desecho sólidos producidos por día (kg/día)

dhab = Días hábiles o laborables en una semana (normalmente 5 ó 5.5 días)

Entonces tenemos:

$$Cdrs = \frac{22,635.74Kg / dia \times 7d}{5dhab} = 31,690.04Kg / dhab$$

## Volumen de la celda diaria

$$Vc = \frac{Cdsd \times m.c.}{Dscm}$$

Donde :

$V_c$  = Volumen de la celda diaria (m<sup>3</sup>)

$D_{scm}$  = Densidad de los desechos compactados en el relleno sanitario semi-mecanizado, 600-800 kg/m<sup>3</sup>

$C_{dsd}$  = cantidad de desecho sólidos diarios ( m<sup>3</sup>)

m. c. = Material de cobertura (20-33%)

Entonces tenemos:

$$V_c = \frac{31,690.04 \text{ Kg / dia} \times 1.20}{750} = 50.70 \text{ m}^3$$

### Área de la celda

$$A_c = \frac{V_c}{h_c}$$

Donde:

$A_c$  = Área de la celda (m<sup>2</sup>/día)

$h_c$  = Altura de la celda (0.30 m para máxima compactación)

$$Ac = \frac{50.70m^3}{0.30m} = 169.00m^2$$

### **Largo de la celda**

$$L = \frac{Ac}{a}$$

Donde:

Ac= area celda

a= ancho de trinchera o zanja

Entonces tenemos:

$$L = \frac{169.00m^2}{4.00m} = 42.25m$$

Con este dato podemos definir que se tomara aproximadamente 4.5 días en cubrir toda la zanja basura, con el largo de diseño que se calculo anteriormente.

## **2.3.12 Descripción de las características del relleno sanitario**

### **2.3.12.1 Ubicación**

El predio del relleno sanitario se ubica aproximadamente a 6 km al sur-este de la cabecera departamental sobre la carretera RN-19 dirección al municipio de Monjas.

### **2.3.12.2 Área destinada a la disposición final del Relleno Sanitario**

El área destinada para el relleno sanitario será de 153,443.26 m<sup>2</sup> el cual será acondicionada y optimizado para la disposición de desecho sólido de origen urbano, en esta área se construirán las obras complementarias, vías de circulación, planta de tratamiento y toda la infraestructura necesaria para la operación y mantenimiento.

### **2.3.12.3 Cantidad y composición de los residuos sólidos tratados en el Relleno Sanitario**

Los residuos tratados en el relleno serán en su mayoría de origen domiciliar predominante la cantidad orgánica, aunque también se podrá aceptar basura de jardín y basura pública. Aunque no se recomienda aceptar los desechos comúnmente conocidos como ripio, ya que esto entorpece la operación dentro del relleno y no es necesario contar con ello como material de cobertura debido a que se contara con el mismo material de las trincheras.

La cantidad de residuos al día se estima que será de 22.635 toneladas de las cuales en su mayoría serán recolectados por las empresas que prestan ese servicio en la cabecera. Es importante mencionar que de los desecho urbanos provenientes de la recolección domiciliar la materia orgánica de fácil descomposición es predominante 62 %, mientras el resto son inorgánicos.

### Descripción porcentaje

	Domiciliar	institucional	comercial
Muestra	100%	100%	100%
Orgánico	62%	32%	52%
Inorgánico	38%	68%	48%

### Resultados peso y porcentaje de residuos inorgánicos del municipio

#### Descripción porcentaje

	Domiciliar	Institucional	Comercial
Papel	12%	16%	13%
Plástico	10%	38%	10%
Vidrio	6%	5%	3%
Metal	6%	2%	4%
Diversos	4%	7%	18%

Entre los materiales diversos están considerados, telas, gaucho, hule, madera, duroport, etc.

## **2.3.12.4 Características del relleno sanitario**

### **2.3.12.4.1 Infraestructura de control de entrada y salida.**

En esta área del relleno se toman en cuenta oficinas administrativas, vestidores para los trabajadores de patio, garita de seguridad y estacionamiento para vehículos.

### **2.3.12.4.2 Vías de circulación**

Las vías de circulación en este caso, se tomaran en cuenta alrededor de las trincheras para la descarga de basura ya sea clasificada o sin clasificar claro que el diseño variara de acuerdo con las condiciones de la topografía, se tendrá que remover la capa vegetal, tendrán un ancho de 6 metros y con buena transitabilidad en época lluviosa; de no ser así se tendrá que balastar la superficie de rodadura.

### **2.3.12.4.3 Módulos y celdas de disposición**

Las trinchera se construirán con un ancho de 4 metro, 136.00 m de largo y 4 m de profundidad.

La disposición de los desecho sólidos se realizara la trinchera dejando una capa de 0.30 m de grosor con una cobertura de 0.06 m. la trinchera tienen una barrera natural de suelo el cual es prácticamente impermeable, así también se construirán canales para la evacuación de lixiviados.

#### **2.3.12.4.4 Sistema de monitoreo y control**

El sistema de monitoreo y control del relleno sanitario constará de por lo menos:

Un sistema de entrada-salida que controle la cantidad y características diarias de los desechos que entre en el relleno y controlar la salida para evitar congestión en las vías internas.

Un sistema de control con la producción de lixiviados que se realice en cada etapa de tratamiento hasta la descarga final.

Un sistema de control con el personal, equipo y maquinaria de operación, par llevar datos estadístico y así ir optimizando el funcionamiento.

#### **2.3.12.4.5 Sistema colector de lixiviados y planta de tratamiento.**

El sistema colector de líquidos lixiviado consiste en un canal que conduce lo lixiviados de toda la trinchera a un colector principal, este canal puede ser construido de varias formas, ya sea una zanja rellena de piedra, se pueden utilizar llantas viejas rellenas de piedra, tubos con perforaciones para que filtre el agua a través de ellos.

El colector principal va a dar a una planta de tratamiento en este estudio se recomendará un tipo sin embargo un especialista puede sugerir otro tipo de tratamiento más económico o adecuado al tipo de características que presentan los lixiviados.

#### **2.3.12.4.6 Sistema de drenaje de gases**

Este consiste en piedras colocada en alambre o malla de gallinero y cuatro soportes de madera alrededor, de 0.30 x 0.30 m , a una altura de 4 m.

El sistema de venteo de gases en la salida con tubo de Hg. Con perforación en la parte enterrada, la cual llegará a 0.80 m de profundidad.

#### **2.3.12.4.7 Vida útil del terreno**

La vida útil del terreno se estima para de 35 años, para una cantidad volumétrica total de 472,127.71 m<sup>3</sup> de residuos con el material de cobertura incluido.

#### **2.3.12.5 Descripción de actividades del relleno sanitario.**

Las actividades a realizar en un relleno sanitario se pueden enumerar de la siguiente manera:

- actividades de control de ingreso y egreso de vehículos recolectores y particulares.
- Actividades de descarga y compactación de residuos sólidos urbano.
- Actividades de cierre de celda y clausura de módulos.
- Actividades de mantenimiento general del predio.
- Actividades de control y monitoreo.

### **2.3.12.5.1 Actividades de cierre de celda y clausura de Zanjas**

Cubrir por completo la basura compactada con una capa de tierra de 0,06 a 0,10 metros de espesor cuando la celda haya alcanzado la altura máxima. Compactar la celda hasta obtener una superficie uniforme al final de la jornada.

Una vez completada la primera celda, la segunda podrá ser construida de inmediato al lado o sobre la primera, siguiendo siempre el plan de construcción del relleno sanitario. En los períodos secos se recomienda que los vehículos transiten por encima de las celdas terminadas para darles una mayor compactación.

Al terminar la operación de la trinchera o zanja, se realiza una cobertura de material de suelo de 0.60 m de espesor, par evitar el escape de gases por medio de grietas que se forman por asentamientos con el tiempo.

### **2.3.12.5.2 Aspectos hidrológicos**

En la cabecera municipal posee una hidrografía bien definida de las cuales todas la vertientes desembocan en la cuenca del Motagua, los ríos más grandes como el Río Jalapa y Río Miramundo nacen en la parte oeste montañosa del municipio y descienden el primero hacia el este y el segundo hacia el norte ambos considerados dentro de la cuenca del Motagua. En la parte montañosa del oeste existe parte de bosque, en el valle de la cabecera la mayoría del terreno esta ocupada por el área urbana y otras alrededor son un poco áridas y no aptas par cultivos o vocación forestal. Observando estas condiciones el terreno en cuestión se considera apto en condiciones

hidrológicas para la construcción del relleno sanitario. Las propiedades de tierra en el terreno en consideración se observa una superficie semi-plana rodeada de montañas a todo el rededor.

### 2.3.12.5.3 Balance hídrico

El balance hídrico no es más que la aplicación del principio de la conservación de masa (ecuación de la continuidad) a una cierta región definida por unas determinadas condiciones de contorno. En esta región, que tiene un volumen conocido y durante un cierto período de tiempo en el que se realiza el balance, la diferencia entre el total de entradas y el total de salidas debe ser igual al cambio de agua en almacenamiento en ese volumen, todo ello medido en masa, aunque puede y suele realizarse en volumen si las densidades pueden considerarse constantes, como es normal.

Para dicho balance se cuenta con la siguiente información obtenida en el campo, y en datos proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrológica (INSIVUMEH) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA)

Fórmula del balance hídrico:

$$Q = P - Deficit$$

$$Q = P - (Evaporacion + infiltracion)$$

P = Precipitación

Déficit = Evaporación + Infiltración

Q = Caudal de escurrimiento

$$\text{Área del terreno} = 153,443.26 \text{ m}^2$$

#### Evaporación:

- $E = 1360\text{mm} / \text{año} \times \frac{1\text{año}}{365\text{días}} = 3.73\text{mm} / \text{dia}$
- $E = 3.73\text{mm} / \text{dia} \times \frac{1\text{mts}}{1000\text{mm}} = 0.00373\text{m} / \text{dia}$
- $E = 0.00373\text{m} / \text{dia} \times 153,443.26\text{m}^2 = 0.00373\text{m} / \text{dia}$
- $E = 572.34\text{m}^3 / \text{dia} \times \frac{1000\text{mts}}{1\text{m}^3} \times \frac{1\text{dia}}{86,400\text{seg}} = 6.62\text{mts} / \text{seg}$

#### Infiltración:

- $I = 0.00000000056\text{m} / \text{seg} \times 153,443.26\text{m}^2 \times 1000\text{mts} / \text{m}^3 = 0.085\text{mts} / \text{seg}$

#### Precipitación:

- $P = 1400\text{mm} / \text{año} \times \frac{1\text{año}}{365\text{días}} = 3.84\text{mm} / \text{dia}$
- $P = 3.84\text{mm} / \text{dia} \times \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}} \times 153,443.26\text{m}^2 = 589.222\text{m}^3 / \text{dia}$
- $P = 589.222\text{m}^3 / \text{dia} \times 1000\text{mts} / \text{m}^3 \times \frac{1\text{dia}}{86,400\text{seg}} = 6.819\text{mts} / \text{seg}$

$$Q = 6.89\text{mts} / \text{seg} - (6.62\text{mts} / \text{seg} + 0.085\text{mts} / \text{seg}) = 0.113\text{mts} / \text{seg}$$

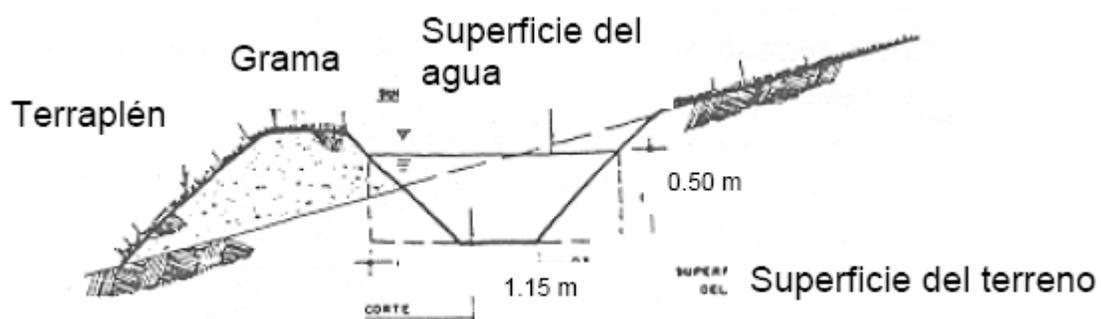
En base a este análisis del terreno, se le encuentra apto para llevar a cabo el proyecto mencionado. Los cuerpos de agua del terreno escurren por una quebrada natural que atraviesa el terreno en solamente en invierno, la cual quedara protegida al momento de realizar un proyecto de cualquier magnitud.

También por las pruebas realizadas, se determino que nivel freático y calidad del agua subterránea no se ven amenazados con este proyecto debido a que en al realizar las pruebas del infiltración del suelo los resultados indicaron que este tipo de suelo es apropiado por ser poco permeable, ya que es un suelo de arena-pomez con un porcentaje de finos y grava haciendo un suelo bien

compactado. Además la profundidad de ésta en promedio se encuentra a 164.05 pies.

Las aguas de lluvias que caen sobre las áreas vecinas al relleno sanitario muchas veces escurren hasta éste, causando serias dificultades de operación. Interceptar y desviar el escurrimiento del agua de lluvias fuera del las trincheras del relleno sanitario, contribuye significativamente a reducir el volumen del líquido lixiviado y también a mejorar las condiciones de la operación. Por lo tanto, es necesario construir un canal en tierra o suelo cemento de forma trapezoidal y dimensionarlo de acuerdo con las condiciones de precipitación local, área tributaria, características del suelo, vegetación y topografía en las periferias del terreno.

Figura14. Detalle de canal trapezoidal para drenaje de aguas pluviales en las periferias



Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.

### 2.3.12.6 Características del suelo

En el terreno de dicho proyecto es de un material con característica del perfil, material madre ceniza volcánica de color claro, relieve escarpado. Suelo superficial de color negro y de textura franco limosa y de consistencia friable espesor de 75 cms aproximadamente. Con subsuelo de arenas pomez, con poca grava color gris bien compactada.

Los porcentajes de tipo de suelo contenidos dentro de la muestra extraída del lugar, son los siguientes:

Arenas 79.70 %

Grava 8.65 %

Finos 11.65 %

Capacidad soporte de 90 t/m<sup>2</sup>

Cohesión Cu: 4.60 t/m<sup>2</sup>

Angulo de fricción interna  $\phi=35.61^\circ$

### 2.3.12.7 Detalles del proyecto

Producción total de basura Kg/día	22,635 kg/ día
Cantidad de basura al año	8,261.92 ton/año
Diseño de vida útil	20 años
Densidad de la basura (compactada)	0.80 ton/m <sup>3</sup>
Volumen relleno por año	10,326.40 m <sup>3</sup>
Volumen a rellenar del terreno	376,280.92 m <sup>3</sup>
Área total del terreno	153,413.74 m <sup>2</sup>
Espesor celda diaria	0.36 m
Altura de trinchera	4.00 m
Pendiente mínima del fondo	0.5 – 1.00%
Pendiente máxima del fondo	1.5%
Pendiente en superficies horizontales	2
Ancho de vías internas	6.00 m

El tipo de relleno a construir es el denominado método de trincheras, consiste en excavar periódicamente zanjas de tres a seis metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga.

Es de anotar que existen experiencias de excavación de trincheras hasta de 7 m de profundidad para relleno sanitario. La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra.

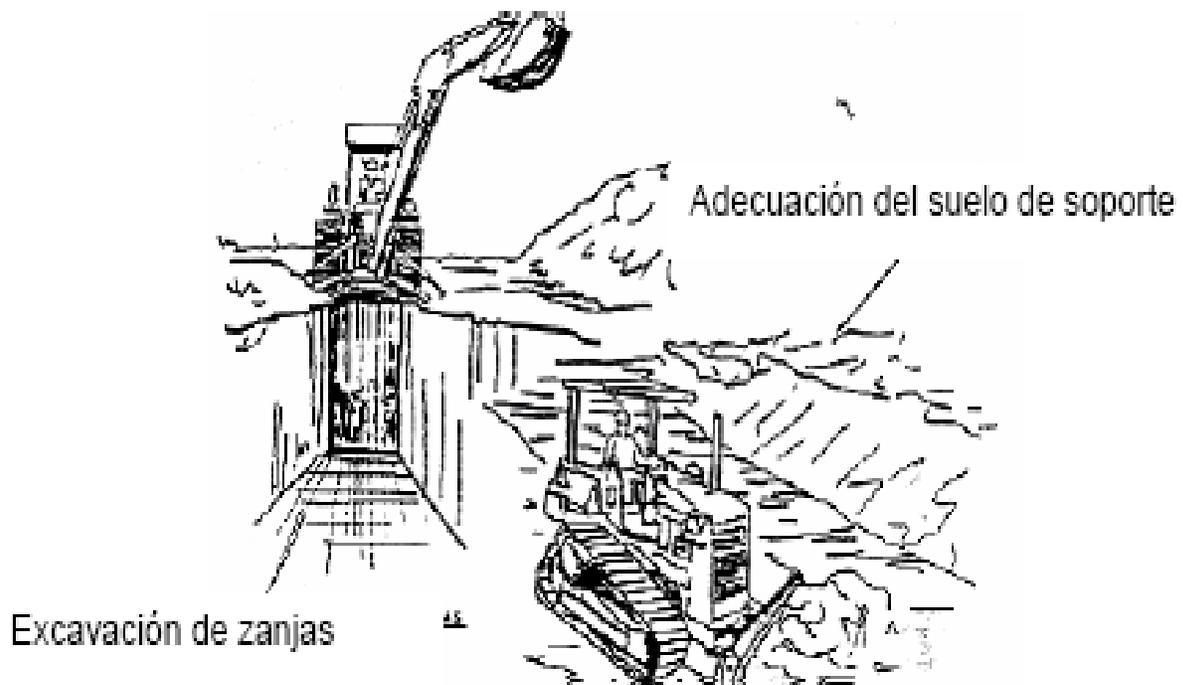
Se debe tener cuidado en época de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. Por lo tanto, se deben construir canales perimetrales para captarlos y desviarlos e incluso proveerlos de drenajes internos. En casos extremos, puede requerirse el bombeo del agua acumulada. Las paredes longitudinales de las zanjas tendrán que ser cortadas de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado.

La interceptación y el desvío del escurrimiento superficial de las aguas pluviales fuera del relleno contribuyen significativamente a la reducción del volumen de lixiviado y al mejoramiento de las condiciones de operación. El canal siempre deberá ser construido en la curva de nivel que garantice una velocidad máxima que no provoque una excesiva erosión.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie del suelo no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

Es de vital importancia construir un sistema de drenaje en el terreno que servirá de base al relleno sanitario antes del depósito de las basuras. En lo posible, este sistema debe retener el lixiviado en el interior del relleno, para dar lugar a un mayor tiempo de infiltración y disminuir su aparición a nivel superficial.

Figura 15. Moviendo de tierra para preparación de sitio



Fuente: Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica(Loja Ecuador 2002)

Apenas se pueda, las fuentes o pequeñas venas de agua existentes en el área del relleno deben ser desviadas y canalizadas antes del inicio de la operación. Además de interferir negativamente en la operación, su paso por la masa de residuos contribuirá al aumento del volumen del líquido lixiviado.

Construcción del sistema de drenaje. El sistema de drenaje consiste en una red horizontal de zanjas en piedra, interrumpiendo el flujo continuo del lixiviado por medio de pantallas en tapia y madera o incluso del mismo terreno. Los drenes se pueden construir así:

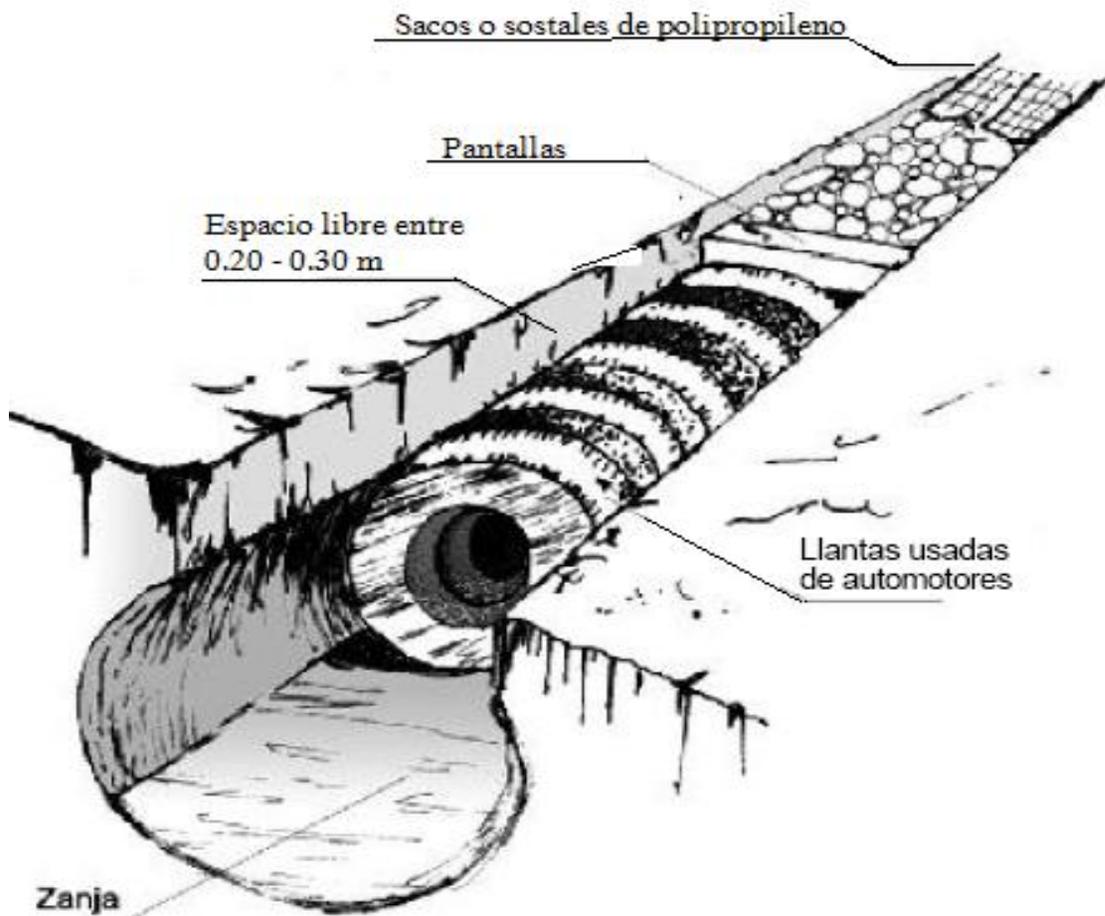
Se prepara el trazado por donde se ubicará el drenaje en el terreno el cual puede ser similar al de un sistema de alcantarillado (por ejemplo espina de pescado). Se excavan las zanjas y se construyen las pantallas cada 5 a 10m, con un ancho de 0.20 a 0.30 o simplemente se dejan intactos en la zanja estos pequeños espacios del suelo, para que el lixiviado pueda escurrir sin rebosar las zanjas, se les dará en el fondo una pendiente del 1% y un borde libre de unos 0.30 m. entre la pantalla y el nivel de la superficie.

Se llenan las zanjas con piedra de 4" ó 6", de manera que permitan más espacios libres para evitar su rápida fluidez. Una vez que se tengan las zanjas llenas con piedra se recomienda colocar sobre ellas un material que permita infiltrar los líquidos y retener las partículas finas.

Este efecto se consigue con ramas secas de helecho, pasto e incluso hierba, las que reemplazan el geotextil. Otra manera de construir este drenaje en la base del terreno, es utilizando las llantas desechadas de los automotores, con lo cual se aprovecha un material voluminoso de difícil manejo en el relleno, obteniendo una mayor capacidad de almacenamiento para el líquido lixiviado.

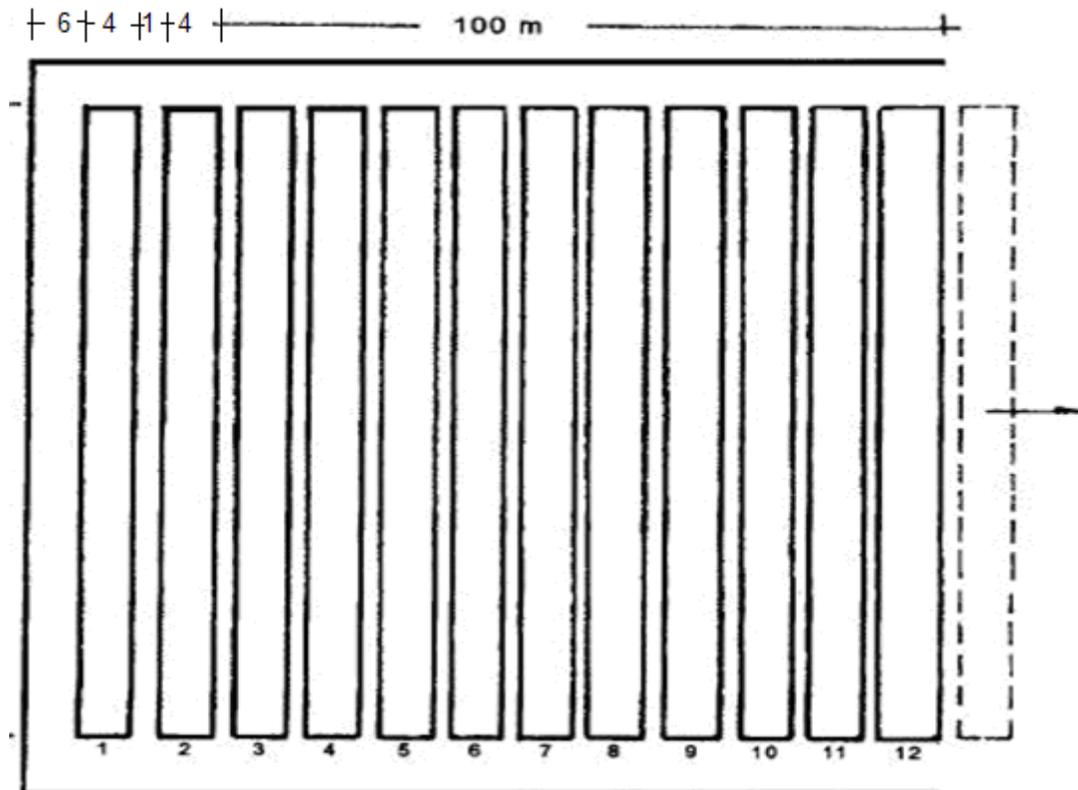
Una vez enterradas las llantas en sentido vertical una junto a la otra se coloca encima una capa de 0.20-0.30 m de piedra, y las ramas secas. Es de anotar que la zanja tendrá una conformación especial para recibir las llantas.

Figura 16. Detalle de drenaje interno de lixiviados



Fuente: Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica(Loja Ecuador 2002)

Figura 17. Ejemplo de distribución de zanjas



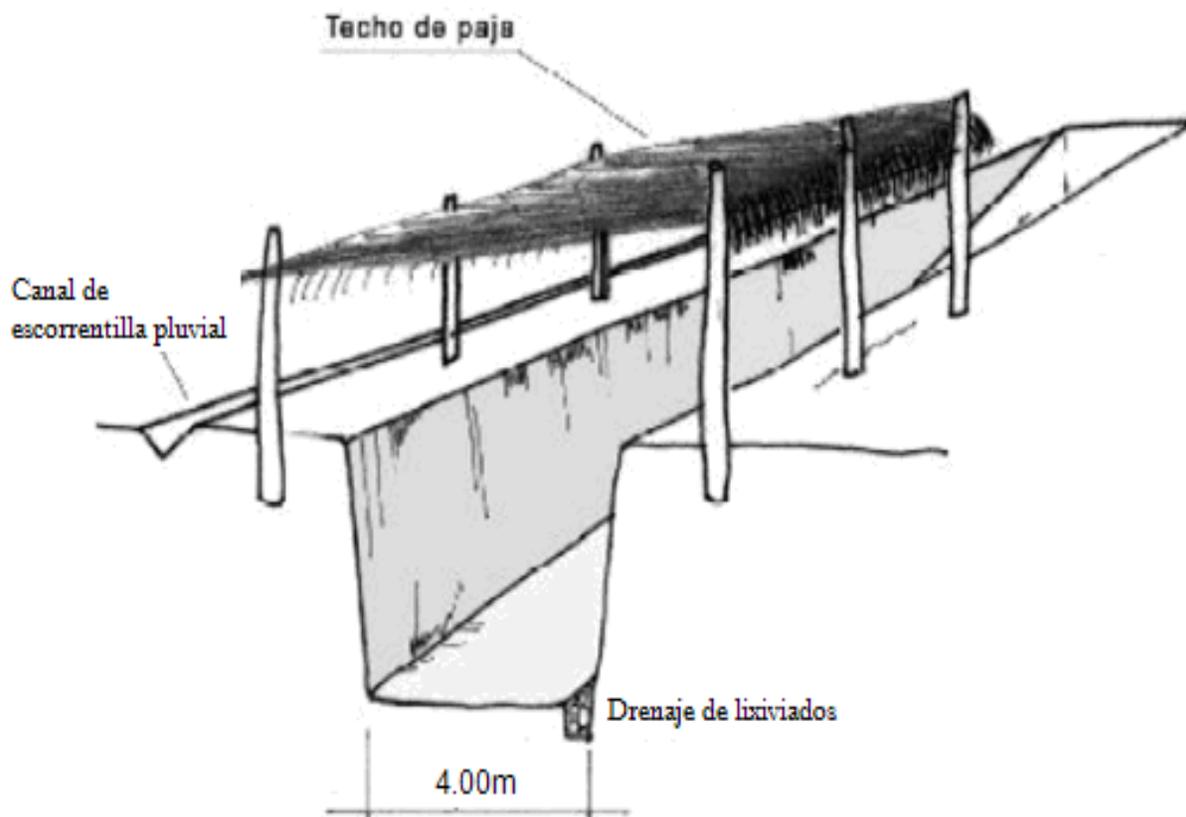
Fuente: Guía para el diseño, construcciones y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.

El control y almacenamiento de los lixiviados es un tema de suma importancia para este tipo de proyectos. Se pueden tomar las siguientes medidas para llevar a cabo este control.

El método más eficaz para controlar la lluvia es cubrir con un techo ligero de palma, paja o plástico (similar al de los invernaderos) toda el área superficial de las zanjas o de los terraplenes de basura; con ello se impedirá el ingreso de la lluvia que cae directamente sobre las zonas terminadas y el frente de trabajo.

Este método puede disminuir en 90 ó 95% la generación de lixiviado. En algunos pequeños rellenos este problema podría ser eliminado por completo.

Figura 18. Cubierta ligera para evitar el ingreso del agua de lluvia al relleno



Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales O.P.S.

- Sobredimensionar la red de zanjas de drenaje en el relleno sanitario.
- Construir el relleno de manera que se tengan áreas estrechas de trabajo; es decir, es preferible superponer las celdas, una encima de otra, apoyándolas sobre el talud del terreno y las celdas ya terminadas; dicho de otro modo, la obra se hace hacia arriba en lugar de extenderla en el terreno.
- Introducir en la rutina diaria el cubrimiento de celdas y áreas terminadas temporalmente con material plástico, a fin de impedir la infiltración del agua de lluvia a través de la basura y reducir así el volumen de lixiviado. Hay que señalar que la cantidad de material plástico requerida es pequeña, tomando en cuenta la poca extensión del relleno y el método de trabajo. También se puede utilizar el plástico que se ha desechado de los invernaderos de los grandes cultivos.

En caso de que el suelo no permita la infiltración o que el acuífero esté siendo usado como fuente de abastecimiento en una zona cercana se requerirá tratar el lixiviado.

Si cubrimos las áreas rellenas de residuos y el frente de trabajo con un techo ligero de palma, paja o plástico, no tendremos lixiviado, con lo que se

minimizarán todos los problemas y los costos de un tratamiento por lo demás incierto en algunos lugares.

Aun si se reduce por todos los medios posibles y económicamente factibles la producción de lixiviados, se tienen que considerar estos costos por supuesto en mucha menor magnitud.

Inmediatamente después de haber terminado algunas zonas del relleno, se procede a aplicar la cobertura final en cuya superficie se sembrará pasto o grama.

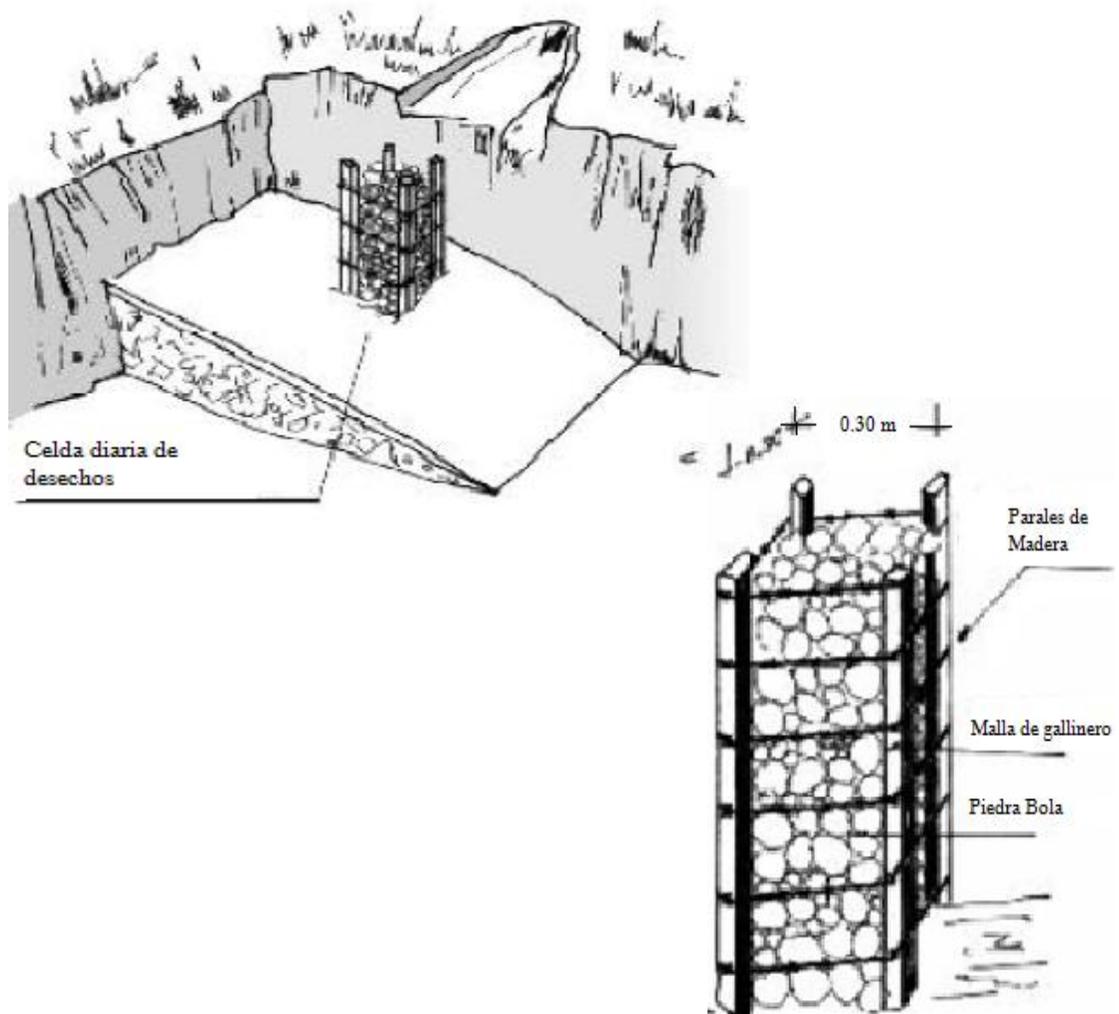
Otro tema importante a determinar es el de la mitigación o aprovechamiento de los gases producidos por el relleno.

El drenaje de gases está constituido por un sistema de ventilación en piedra o tubería perforada de concreto (revestida en piedra), que funcionará a manera de chimeneas o ventilas, las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie.

Estas chimeneas se construyen verticalmente a medida que avanza el relleno, procurando siempre una buena compactación a su alrededor; se recomienda instalarlas cada 20 ó 50 m, con un diámetro entre 0.30 y 0.50 m cada una, de acuerdo con el criterio del ingeniero.

A continuación se ilustra la manera de construir las chimeneas o ventilas de gases.

Figura 19. Drenaje de gases dentro de trincheras

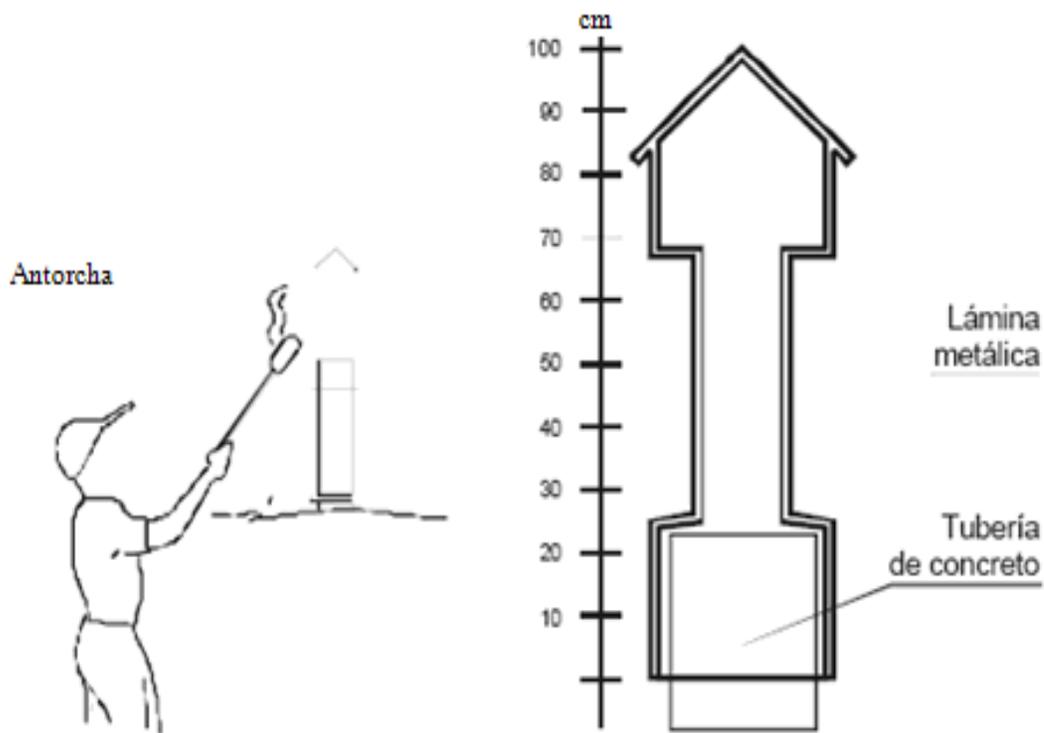


Fuente: Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica(Loja Ecuador 2002)

Prevista la conclusión de la última celda, se colocan dos tubos de concreto, el primero perforado para facilitar la captación y el drenaje de gases;

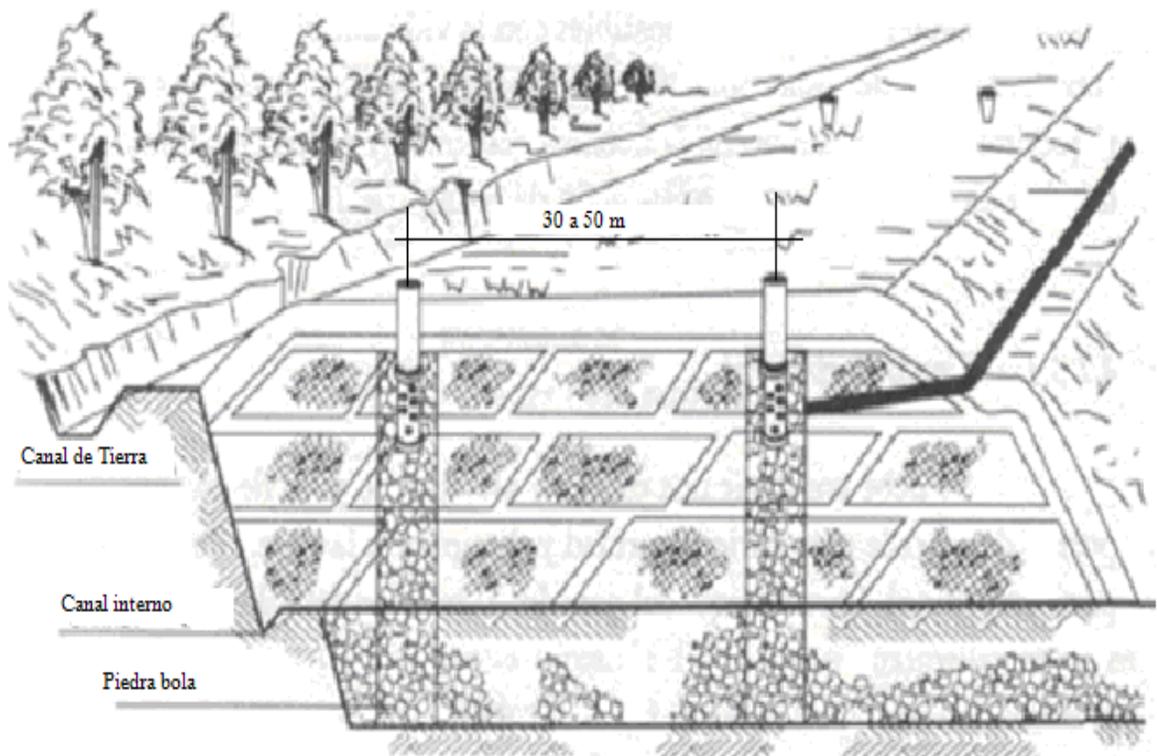
el segundo tubo, en cambio, no será perforado con el objeto de que el gas metano pueda ser quemado a la salida, y se eliminarán de paso los olores producidos por otros gases. A fin de facilitar la quema del metano, se recomienda la instalación de una estructura metálica y la preparación de un mechón para encender el gas a la salida del tubo para que funcione como antorcha.

Figura 20. Mechón y estructura metálica



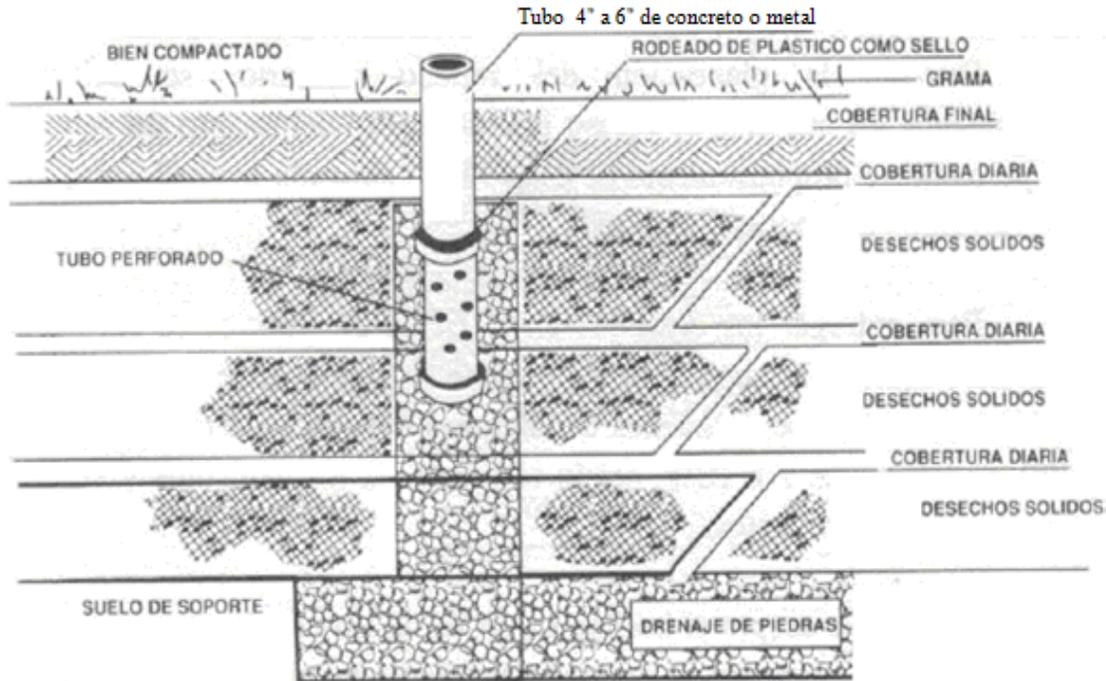
Fuente: Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica(Loja Ecuador 2002)

Figura 21. Distribución de chimeneas en relleno



Fuente: Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica(Loja Ecuador 2002)

Figura 22. Detalle de chimeneas terminadas



Fuente: Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica(Loja Ecuador 2002)

## 2.4 Consideraciones para el manejo de residuos sólidos y protección ambiental

Del impacto ambiental, se debe tener en cuenta que en toda alteración del ambiente producida por la intervención del hombre, independiente de la evolución natural del mismo, debe considerarse como un impacto ambiental, evidentemente la ejecución de un relleno sanitario es un ejemplo claro de una alteración ambiental originada por el hombre y se requiere por consiguiente efectuar un análisis previo y evaluación del impacto que su ejecución

ocasionará la modificación del medio ambiente puede ser positiva (elevación de un terreno anegadizo) o negativa (producción de olores si la ejecución es incorrecta). Se puede presentar en forma inmediata (circulación y trabajo de equipos ruidos) y/o mediata (alteración del paisaje) y tener carácter de estables y/o temporales existen metodologías (alteración del paisaje) y tener carácter de estables o temporales existen metodología recomendadas para efectuar esta evaluación que posibilitan el desarrollo de esta tarea.

En el caso de un relleno sanitario deben considerarse tres etapas perfectamente diferenciales durante las que se producen modificaciones en el terreno seleccionado y en zonas aledañas, estas etapas son preparación de infraestructura necesaria previa período de recepción de residuos, etapas de cierre y control del área rellenada en todos los casos en que se generan varios impactos negativos hay que analizar la acción correctiva para neutralizarlos o minimizarlos.

El impacto ambiental es cualquier alteración de las condiciones ambientales o creación de un nuevo conjunto de condiciones ambientales, adversas o beneficio, provocada por la acción humana o fuerza naturales.

Evaluación de Impacto Ambiental (EIA): instrumento de política, gestión ambiental y toma de decisiones formado por un conjunto de procedimientos capaces de garantizar desde el inicio de la planificación que se efectúe un examen sistemático de los impactos ambientales de un proyecto o actividad y sus opciones así como las medidas de mitigación o protección ambiental que sean necesarias para la opción a ser desarrollada. Los resultados deberán ser presentados a los tomadores de decisión para su consideración.

Leyes para la aplicación de la evaluación de impacto ambiental

El marco jurídico que norma, asesora, coordina y aplica todo lo concerniente al tema de mejoramiento del medio ambiente, vigente al mes de abril del 2009 son las leyes y reglamentos siguientes.

### **Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente**

Decreto No 68-86 y sus reformas. Decretos No 75-91, 1-93 y 90-2000 del Congreso de la República de Guatemala.

### **Ley de creación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales**

Decreto No 90-2000 y su reforma: decreto No 91-2000 del Congreso de la República de Guatemala.

Reglamento orgánico interno del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Acuerdo Gubernativo No 186-2001

### **Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental**

Acuerdo Gubernativo No 023-2003

Guatemala, 27 de enero de 2003

De acuerdo al Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental

**Artículo 14. Evaluación ambiental inicial.** Para efectos de poder determinar si un proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales, renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional y, por lo tanto, requiere de un estudio de evaluación de impacto ambiental u otro instrumento de evaluación

ambiental, se llevará a cabo la evaluación ambiental inicial. La evaluación ambiental inicial considerará la relevancia del impacto ambiental, su localización con respecto a Áreas Ambientalmente Frágiles y Áreas con Planificación Territorial, con el objeto de determinar, como resultado del análisis realizado, el tipo y características del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental u otro instrumento de evaluación ambiental que corresponderá el proyecto, obra, industria o actividad relacionada. Las áreas de localización de los proyectos, obras, industrias o actividades, se agruparán en tres categorías básicas:

a) Áreas ambientalmente frágiles;

b) Áreas con planificación territorial, es decir, aquellos espacios geográficos, comúnmente urbanos, para los cuales el estado ha elaborado planes de desarrollo en función de criterios de planificación territorial (planes maestros, reguladores, etc.); y

c) Áreas sin planificación territorial por parte del Estado.

De la evaluación ambiental Inicial surgirá la recomendación relativa al tipo de evaluación ambiental que deberá realizar el proponente o, en su caso, determinar que éste resulta innecesario. El formato e instrucciones para consignar la información, serán determinados por la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales en un manual específico que será aprobado mediante Acuerdo Ministerial. La información básica necesaria para que la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales pueda revisar y analizar cada caso, deberá ser recabada y proporcionada por el proponente.

**Artículo 15. Estudio de evaluación de impacto ambiental.** Es el documento técnico que permite identificar y predecir los efectos sobre el ambiente que ejercerá un proyecto, obra, industria o cualquier actividad

determinada y describe, además, las medidas para evitar, reducir, corregir, compensar y controlar los impactos adversos. Es un proceso de toma de decisiones y constituye el instrumento de planificación que proporciona un análisis temático preventivo reproducible e interdisciplinario de los efectos potenciales de una acción propuesta y sus alternativas prácticas en los atributos físicos, biológicos, culturales y socioeconómicos de un área geográfica determinada. Es un proceso cuya cobertura, profundidad y tipo de análisis depende del proyecto propuesto. Evalúa los potenciales riesgos e impactos ambientales en su área de influencia e identifica vías para mejorar su diseño e implementación para prevenir, minimizar, mitigar o compensar impactos ambientales adversos y potenciar sus impactos positivos.

**Artículo 16. Evaluación de riesgo ambiental.** Es la probabilidad de exceder un valor específico de consecuencias económicas, sociales o ambientales, en un sitio particular, y durante un tiempo de exposición determinado. Se obtiene de relacionar la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. El riesgo puede ser de origen natural, geológico, hidrológico, atmosférico o también de origen tecnológico o provocado por el hombre.

**Artículo 17. Evaluación de impacto social.** Es un proceso de evaluación y estimación de las consecuencias sociales y culturales ante cualquier proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad pública o privada que pudiera alterar el normal ritmo de vida de las poblaciones y en consecuencia afectar su calidad de vida.

**Artículo 18. Evaluación de efectos acumulativos.** Es el proceso consistente en analizar y evaluar sistemáticamente los cambios ambientales combinados, originados por la suma sistemática de los efectos de proyectos,

obras, industrias o en cualquier otra actividad desarrolladas dentro de un área geográfica definida. Los efectos acumulativos se refieren a la acumulación de cambios inducidos por el hombre en los componentes ambientales a través del espacio y del tiempo. Estos impactos pueden ocurrir en forma aditiva o de manera interactiva. La evaluación de efectos acumulativos es necesaria a fin de establecer planes de uso del suelo que sean conformes con la situación ambiental real del entorno y como forma para identificar las medidas correctivas, de mitigación, saneamiento y/o rehabilitación que deberían llevarse a cabo, a fin de restaurar el equilibrio ecológico en esos espacios geográficos que están siendo motivo de uso y administración.

#### **2.4.1 Tecnología de ingeniería ambiental**

En el enfoque de este proyecto esta la ingeniería y en la aplicación de tecnología en la administración ambiental y tratamiento seguro de los desechos sólidos. Sus actividades incluyen el diagnóstico inicial del problema y posibles tecnologías para resolverlo; estudio de la viabilidad técnica, social y ambiental, el diseño preliminar del sistema y el impacto ambiental, mecanismo y rutas de recolección diseño y construcción del relleno sanitario, manual de operaciones, capacitación de personal de operación y control de productividad y la calidad de la administración de la basura y los productos finales.

#### **2.4.2 Estructura legal y organizativa**

Este componente aborda los aspectos legales relacionados con la administración de la basura y la estructura organizativa necesaria para facilitar

la participación de la comunidad a través de las organizaciones locales representadas.

El proyecto involucra a las organizaciones desde el principio para asegurar la aceptación de los objetivos del mismo, propiciar un esfuerzo coordinado y participativo a nivel local que concentre y complemente los recursos de entes promotores de la protección al medio ambiente.

### **2.4.3 Cultura ambiental**

Este componente abordara los elementos de la cultura local (conocimientos, tradiciones, actitudes y practica) que afectan en forma positiva o negativa el medio ambiente y bajo el principio que la administración de la basura, es mas un problema cultural que tecnológico o económico.

Con base al conocimiento de estos elementos, se desarrollará un programa de trabajo tendiente a mejorar los niveles de información comunicación y educación social, las actividades involucraran las áreas de educación formal.

### **2.4.4 Organización de empresas y administración financiera**

Este componente esta centrado en el desarrollo, organización y administración de una empresa de desechos sólidos con fines de sostenibilidad y autosuficiencia en términos administrativos y financieros.

Este actualmente no está siendo utilizado más que con el fin de la recolección de basura domiciliar, la basura de calles, parque y mercados es recolectada por el tren de aseo municipal. La recolección de ambas partes no contempla en ninguna medida el manejo y aprovechamiento de los desechos sólidos municipales.

Este concepto se orienta a una concesión municipal que posibilite la participación de grupos privados, organizaciones locales, etc. en el manejo de la recolección clasificada y aprovechamiento de los desechos producido por la población; la municipalidad mantendrá la propiedad de la infraestructura, supervisara que la misma cumpla con las funciones establecidas en los reglamentos municipales para el manejo de los desechos sólidos y deberá recibir regalías establecidas en la concesión, las cuales se podrán utilizar en proyectos de mejoramiento ambiental.

#### **2.4.5 Usos productivos y aprovechamiento de los productos finales**

Este componente contempla el aprovechamiento integral de los desechos sólidos basado en el principio de rehusar, reciclar y reducir del aprovechamiento de los productos finales se contempla generar una parte de los ingresos de la planta, para los efectos de su sostenibilidad financiera.

La producción de abono orgánico al acopio, transformación y/o comercialización de productos inorgánicos y de material inerte son opciones contempladas dentro de las actividades del componente.

En términos ambientales, se espera obtener resultados positivos de la producción de compost y su aprovechamiento en actividades agrícolas, forestales y como medio para regenerar suelos, estos serán evaluados y medidos mediante estudios técnicos durante la vida del proyecto.

En el caso de los productos inorgánicos como el plástico y el aluminio se podrá comercializar.

En la mayoría de los casos no se toma en cuenta el gas como el producto final, pero en esta época de necesidad energética, el gas juega un papel importante dentro de segmento de producción de energía; ya que es

limpia y barata, pero si no es en volúmenes grandes no es rentable. En nuestro caso el gas producido del relleno se podría vender una fábrica de pisos cercana al lugar, sin provocar mayor inversión inicial, mas que la conducción apropiada y segura.

## 2.5 Costos del relleno

### 2.5.1 Costos iniciales

Tabla VIII Costos iniciales

No.	Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>Apertura del nuevo Relleno Sanitario</b>					
1	Adquisicion del terreno	Global	1	Q2,500,000.00	Q2,500,000.00
2	Cerca perimetral	M	1715	Q60.00	Q102,900.00
3	Limpieza y desmonte	M2	9432.5	Q7.00	Q66,027.50
4	Siembra de arboles perimetrales	unidad	2360	Q4.00	Q9,440.00
5	Movimiento de tierra	M3	2448	Q50.00	Q122,400.00
6	Tractor compactador (ver descripcion)	unidad	1	Q1,800,000.00	Q1,800,000.00
	Camion con volquete	unidad	1	Q500,000.00	Q500,000.00
	Vehículo para combustibles y lubricantes	unidad	1	Q150,000.00	Q150,000.00
	Herramientas y equipo	global	1	Q50,000.00	Q50,000.00
7	Vías de acceso	ml	800	Q123.00	Q98,400.00
8	Vías de circulación interna	ml	1500	Q123.00	Q184,500.00
9	Drenaje de gases	ml	18	Q265.00	Q4,770.00
10	Drenaje lixiviados trincheras	ml	136	Q135.00	Q18,360.00
11	Colector principal de lixiviado	ml	925	Q250.00	Q231,250.00
12	Construccion de edificio administrativo y Galeras	Global	1	Q250,000.00	Q250,000.00
13	Intalación hidráulica	Global	1	Q45,000.00	Q45,000.00
14	Rotulo	Global	1	Q3,500.00	Q3,500.00
<b>Clausura de botadero Actual</b>					
1	Estudio de clausura	Global	1	Q20,000.00	Q20,000.00
2	Cobertura con material	M3	10000	Q40.00	Q400,000.00
3	Jardinización	m2	6000	Q15.00	Q90,000.00
				<b>Total</b>	<b>Q6,646,547.50</b>

## 2.5.2 Costos de operación anual<sup>9</sup>

Tabla X Resumen de costos

No	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Salario de administración y operación de patio	Global	1	Q545,000.00	Q545,000.00
2	Equipo y herramienta	Global	1	Q45,000.00	Q45,000.00
3	Combustibles y lubricante	Global	1	Q115,000.00	Q115,000.00
4	Mantenimiento de maquinaria	Global	1	Q59,991.04	Q59,991.04
5	Cierre y adecuación de trinchera	m2	3264	Q30.64	Q100,008.96
				<b>Total</b>	<b>Q865,000.00</b>

Estos gastos de operación se sugiere que sean cubiertos por un arbitrio específico a cada servicio de recolección que este registrado, ya sea domiciliar, comercia, institucional etc.

También se puede considerar otra opción, es la concesión de la operación del relleno sanitario junto con la recolección, fijando un acuerdo para de beneficio para todas las partes involucradas, procurando que en no se eleven los precios tanto de recolección como de tratamiento de los desechos.

Los gastos totales durante el período de diseño, 20 años es de Q. 17, 300,0000.00.

### 2.5.3 Resumen de Costos

1	Costos iniciales	Q6,646,547.50
2	Costos de operación durante período de diseño (20 años)	Q17,300,000.00
	<b>Subtotal</b>	<b>Q23,946,547.50</b>
	Imprevistos 5%	Q1,197,327.38
	<b>Costo total del proyecto</b>	<b>Q25,143,874.88</b>

Costo total del proyecto Q. 25,143,874.88

Total en dólares (USA T.C.=\$.1.00/8.30) \$. 3,029,382.52

Como podemos observar la inversión anual no es elevada, y esto sin tomar en cuenta que durante proceso de reciclaje y el compostaje se obtendrán ingresos, muy posiblemente superiores a los gastos de operación, con estos ingresos se puede promover un programa de educación ambiental, así bajarán los costos de operación minimizando la etapa de clasificación.

## 2.5.4 Viabilidad económica

Recuperación de capital

$$R = Vp \left[ \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^{n-1}} \right]$$

Vp= Valor presente

I=7.00 % tasa de interés BCIE

n=20 años

$$R = 25,143,874.88 \left[ \frac{0.07 \times (1 + 0.07)^{20}}{(1 + 0.07)^{19}} \right] = Q.1,883,276.23$$

Valor Futuro a los 20 años

$$Vf = Vp(1 + i)^n$$

$$Vf = 25,143,874.88(1 + 0.07)^{20} = Q.97,298,861.95$$

La recuperación de capital de inversión y operación, deberá cubrirse con el cobro de un arbitrio específico a cada servicio registrado que existan dentro de las empresas de recolección. También se deberá aprovechar el tratamiento de los desechos sólidos producidos en el municipio, desde el compostaje hasta el comercio de metales y plásticos; los ingresos producidos por las ventas de estos servirán para la operación e implementación de programas de educación ambiental.

### 2.5.5 Cronograma de ejecución

Tabla XI Cronograma de ejecución

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
<b>Infraestructura Primaria</b>						
Rotulo de identificación	X					
Cerco perimetral	XXXXX					
Arborizacion	XXX	XXX				
Vías de acceso	XX					
Drenaje pluvial	XXX					
Acondicionamiento de cursos de agua		XXXXX	XX			
<b>Infraestructura interna del relleno</b>						
Posos de monitoreo		XXX				
Vías de circulación internas						
Estructuras complementarias (Edificio administración, y galeras)		XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX	XXXX
<b>Inicio de operaciones del relleno sanitario</b>						X

## **2.6 Operación y mantenimiento**

### **2.6.1 Maquinaria y equipo para la operación**

#### **Tractor compactador**

Descripción: Tractor pesado con pala larga y orugas o ruedas especiales..

Función:

1. Mover y colocar la basura descargada por los recolectores, compactar y cubrirla.
2. Si el material de cobertura se encuentra en el sitio del relleno mismo (caso ideal), el tractor compactador puede también excavar y traer el material de cobertura.
3. Hacer trabajos de preparación del suelo (excavación, colocación de la capa mineral etc.) para abrir un nuevo módulo del relleno.

#### **Tractor pequeño**

Descripción: Tractor común de construcción

Función: En rellenos muy grandes, donde se utilizan compactadores muy pesados, el segundo tractor sirve para excavar y traer el material de cobertura y hacer los otros trabajos de construcción (preparación del suelo etc.) necesarios.

#### **Camión viejo con volqueta o recolector fuera de servicio regular**

Llevar materiales de un lado del relleno a otro, traer material de cobertura; si existe una planta de lombricultura o de reciclaje sobre el relleno, trasladar materiales entre estas plantas y el sitio de disposición final.

## **Vehículos auxiliares**

- Rodillo para la compactación del suelo impermeable y para celdas diarias. Se necesita el rodillo cuando se prepara un nuevo módulo del relleno.

-Vehículo para traer y llevar el personal (en rellenos muy alejados, donde no hay transporte público).

-Vehículo para traer combustible y lubricantes al tractor compactador y, si hay, al camión.

El más importante entre estos vehículos es el tractor compactador.

Los tractores compactadores son tractores con orugas como los que se utilizan en la construcción civil, adaptados a las condiciones del relleno sanitario. Existen también compactadores con ruedas especiales que se construyen especialmente para la compactación de basura. Esos compactadores tienen la ventaja de trabajar muy eficientemente en la colocación y compactación de la basura. Por otra parte, no se pueden utilizar flexiblemente para otros trabajos necesarios en el relleno, ya que las ruedas especiales no son adecuadas para trabajos en suelos normales. Por esta razón, se recomienda la compra de un compactador especial solamente para rellenos muy grandes donde sería razonable y económicamente posible trabajar con un compactador, más un tractor común.

Se recomienda cumplir con los siguientes requerimientos para asegurar un trabajo confiable en el relleno, evitar que se dañe frecuentemente el compactador y ofrecer un ambiente de trabajo aceptable al operador de la máquina:

- Cabina de chofer cerrada (con ventanas que se pueden abrir y, si es posible, con aire acondicionado), con suelo impermeable al agua, protegida contra vibraciones y ruido.
- Chasis resistente contra basura gruesa, químicos agresivos o inflamables
- Protección del radiador con plancha de metal perforada
- Protección del radiador contra polvo en el aire de refrigeración (con filtro fino, ciclón separador y chimenea)
- Protección de los lados laterales del motor
- Pala grande (ancho hasta 4.40 m; alto hasta 2.20 m)

Los tractores compactadores compactan la basura con su peso que en el caso ideal cambia entre 16 - 36 toneladas. Los más grandes tienen motores con una potencia hasta 200kW, lo que les permite mover y compactar 80 - 100 toneladas de basura. Con un compactador de este tamaño se puede operar un relleno en el cual entran 800 toneladas diarias de basura fuera del diseño de este relleno.

Para los rellenos sanitarios más pequeños se recomiendan tractores compactadores más pequeños con una capacidad y un consumo adecuados a las necesidades del relleno. Se pueden utilizar tractores comunes de construcción, adecuándolos a las condiciones del relleno como lo descrito anteriormente.

También se necesita herramienta manual para hacer trabajos dentro del relleno sanitario, a continuación se mencionan algunas y para que se pueden utilizar :

## **Pala**

- Cargar, descargar y colocar basura suelta
- Cargar, descargar y colocar material de cobertura
- Excavar
- Mantenimiento de la fosa séptica y laguna de tratamiento biológico (excavación de sedimento)
- Mantenimiento y construcción de cunetas

## **Azadón**

- Aflojar el terreno
- Trabajos de arborización
- Mantenimiento de cunetas y canales de drenaje

## **Barra**

- Aflojar el terreno para excavaciones
- Trabajos de arborización
- Mantenimiento y construcción de cunetas y canales de drenaje

## **Piocha**

- Mullir el terreno para excavaciones
- Trabajos de arborización

- Mantenimiento y construcción de cunetas y canales de drenaje

Horquilla o diablo Carga y descarga de basura en fundas

### **Machete**

- Cortar palos para la construcción de chimeneas u otros trabajos de mantenimiento
- Afiliar palos y estacas
- Cortar árboles pequeños para la preparación del terreno

### **Martillo**

- Construcción y mantenimiento de chimeneas
- Mantenimiento de herramientas

### **Sierra**

- Cortar palos y otra madera

### **Carretilla**

- Transporte interno de insumos o materiales

## **2.6.2 Operación de patio**

Los pasos son los siguientes:

- Llegarán los camiones al relleno sanitario y descargarán en el área asignada para recepción de basura.

- El cargador frontal trasladará la basura al área específica del manejo de residuos y clasificación.
- Seguidamente las personas que laboran en el relleno sanitario empezarán a clasificar toda clase de residuos y los trasladarán hacia el área, ya clasificados y separados.
- Posteriormente entrará de nuevo en funciones el cargador frontal para realizar todo el traslado hacia los contenedores destinados para cada producto, listos para ser comercializados.

### **Criterios de operación y mantenimiento**

#### **Clausura del botadero municipal**

- Las labores en el relleno sanitario deben ser organizadas y supervisadas estrictamente para alcanzar los objetivos propuestos. Esto se logra con:
  - El control del ingreso de residuos sólidos (portería).
  - El control del flujo de vehículos (portería).
  - La orientación del tráfico y descarga (plaza de operaciones)
  - El descargue en el frente de trabajo (supervisor)
  - El control del tamaño y conformación de las celdas, con su respectivo material de cobertura (supervisor)
  - La distribución adecuada del programa de trabajo

- El buen mantenimiento de equipo, las herramientas y dotación de implementos de protección de los trabajadores (supervisor)
- La vigilancia para impedir el ingreso de animales y personas extrañas y la excavación de materiales de los residuos sólidos en las celdas ya conformadas.

En el relleno sanitario mecanizado o semi-mecanizado, como su nombre lo indica, la mayoría de operaciones están basadas en el trabajo desarrollado por maquinaria liviana o pesada, y, algunas por obreros del municipio. El número de trabajadores necesarios depende de la cantidad de desechos sólidos a enterrar, de las condiciones del clima y del método de construcción del relleno entre otros.

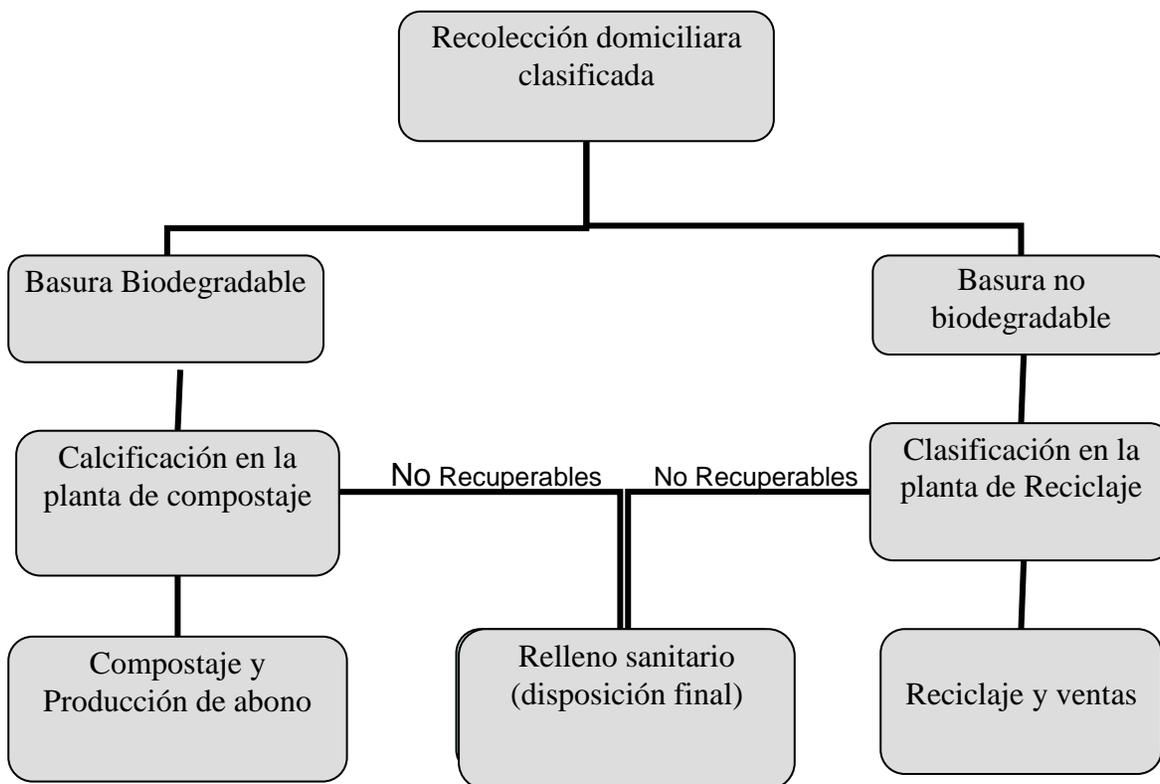
Es necesario contar además con un responsable o supervisor de aseo que tenga los conocimientos necesarios para dirigir esta obra en constante operación. La operación de la maquinaria depende de la cantidad de desechos sólidos que entren en el relleno, la cual puede ser constante (muy poco probable por la producción de desechos), y esporádica (solamente cuando se necesite conformar la celda diaria). A su vez dependen de la cantidad de desechos sólidos a enterrar en el relleno.

### **2.6.3 Clasificación y descarga**

En esta fase contratara de mano de obra no calificada, puede funcionar mediante una banda transportadora manual o mecánica, para minibar el tiempo en dicha etapa.

## Diagrama de operación interna con clasificación domiciliar

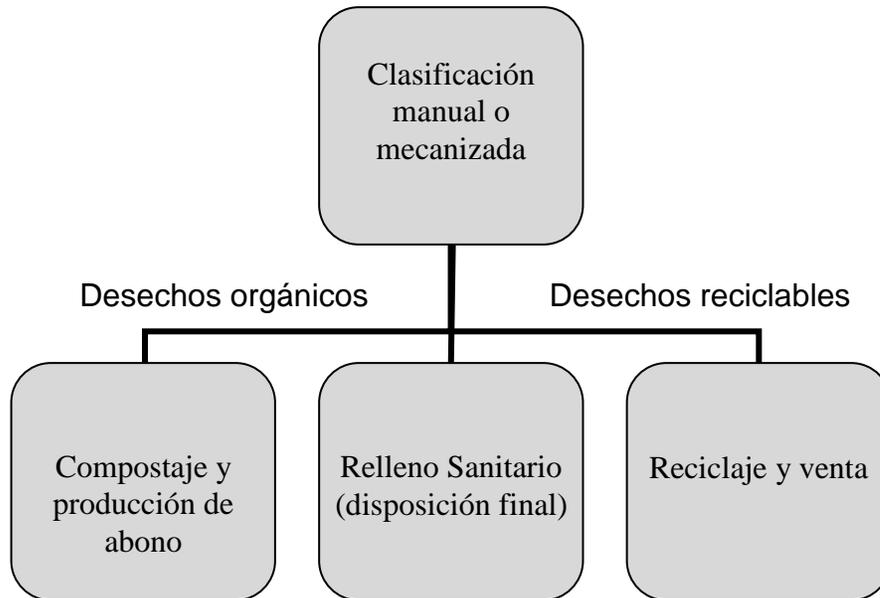
Figura 23. Diagrama con clasificación de desechos domiciliar.



Fuente: Diseño, construcción, y cierre de rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación-Técnica (Loja Ecuador 2002).

## Diagrama sin clasificación domiciliar

Figura 24. Diagrama sin clasificación de desechos domiciliar.



Fuente: Diseño, construcción, y cierre de rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación-Técnica (Loja Ecuador 2002).

### 2.6.4 Comercio y retiro del subproducto reciclable.

Ya clasificados los productos reciclables (plásticos, aluminio, cobre, etc.) se comercializara con empresas o personas que se dediquen a estas actividades.

### 2.6.5 Mantenimiento

El mantenimiento en un proyecto de esta magnitud de este periodo de vida útil es la parte mas fundamental para el correcto funcionamiento y operación del mismo por lo tanto se deben de tomar muy en cuenta los

siguientes puntos para lograr mantener en buenas condiciones de infraestructura y operación el relleno sanitario.

- **Recursos**

En los municipios como Jalapa, uno de los problemas administrativos más comunes es la falta de planificación del abastecimiento de materiales, de lo que depende todo buen trabajo de construcción, operación y mantenimiento de las obras.

De ahí que el administrador tiene que prever los recursos necesarios en el diseño del presupuesto anual de la municipalidad. En él se debe incluir el costo de las herramientas, piezas, mantenimiento para la maquinaria existente en la operación de patio, mantenimiento de los vehículos auxiliares y otros materiales de trabajo que se requieren en el relleno sanitario, así como un rubro de gastos mínimos para atender situaciones especiales e imprevistos, como reparaciones mínimas de infraestructura.

- **Supervisión**

A fin de mejorar la calidad del servicio de aseo en el municipios, se recomienda contratar a un profesional capacitado para administra, dirigir y organizar al personal, equipo y maquinaria para una mayor eficiencia en el manejo de los deshecho sólidos, quien se desempeñará como jefe o supervisor de limpieza, y, tendrá bajo su cargo la coordinación del encargado del tren municipal de aseo y el administrador del relleno sanitario.

Y servirá de interlocutor entre los usuarios, los trabajadores y la administración de todo lo que tenga relación con la limpieza del municipio.

- **Mantenimiento de drenajes**

Los canales perimetrales que se construirán para evitar la escorrentiilla superficial en la zona de las trincheras serán provisionales y servirán durante un periodo o dos de lluvias, por lo que necesitaran poco mantenimiento; sin embargo, esta no tendrán recubrimiento y en algunas zonas podrían ser dañadas, por lo que acciones preventivas de mantenimiento contribuirán a evitar mayores problemas que podrían dejar aislada o fuera de operación la zona de trabajo, en condiciones de fenómeno de lluvias de larga duración.

- **Vías de acceso**

Las vías de acceso, frente de trabajo, redes de drenaje pluvial y superficie terminada del relleno, deben mantenerse en buenas condiciones operativas.

El costo de la manutención de los accesos es inferior al de reparación por daño y paralización de un vehículo recolector. Por tal motivo, deben almacenarse pedruscos, restos de demolición y tierra adecuada. El frente debe ser organizado y limpio.

- **Mantenimiento de instalaciones auxiliares**

Limpiar y reparar las instalaciones auxiliares como: caseta, pila, pozo, así como la cerca perimetral; todas estas instalaciones necesitan reparaciones menores.

- **Control de salud de los trabajadores**

Los empleados municipales del relleno deberán tener las prestaciones laborales necesarias como I.G.S.S., también se llevara un registro de enfermedades y tratamiento.

- **Control de incendios**

En el área del relleno se deben evitar las quemas de papel, cartón, plásticos, etc. para no correr el riesgo de propiciar un incendio, dado que la descomposición de la basura produce metano que es un gas combustible; además, deteriora su aspecto asemejándolo a un botadero abierto.

- **Control de moscas**

El control de moscas en el relleno no debe ni puede hacerse con insecticidas. Su excesivo empleo no sólo origina la contaminación del ambiente, sino que también desarrolla en las moscas resistencia a los insecticidas lo cual a largo plazo no permite su control. Por lo tanto, debe disminuirse su uso al máximo. en cambio, el cubrimiento con la tierra debe ser el método principal. No obstante, como las moscas llegan con las basuras en los vehículos recolectores y en ocasiones resulta notoria su presencia se recomienda fumigar el área del relleno, con la periodicidad que se requiera en cada caso.

- **Control de costos**

Uno de los aspectos que los administradores municipales suelen descuidar es el análisis de rendimientos y costos del servicio de limpieza. Es necesario enfatizar la importancia de recolectar este tipo de información, tanto durante la etapa de inversión como de construcción, operación y

mantenimiento, puesto que su análisis nos permite buscar los máximos rendimientos con una mayor economía.

Lo que el municipio invierte en el relleno sanitario oscila entre 10 y 20% del presupuesto general para limpieza, lo cual sirve para demostrar que los costos de esta obra no son los elevados que muchos administradores locales creen.

## 2.7 Riesgo y vulnerabilidad

### 2.7.1 Evaluación de impacto ambiental inicial

Tabla XII Evaluación de impacto ambiental inicial.

No	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Tipo de impacto ambiental (de acuerdo con la descripción del cuadro anterior)	Indicar los lugares donde se espera se generen los impactos ambientales.	Manejo ambiental indicar que se hará para evitar el impacto al ambiente, trabajadores y/o vecindario
1	Aire	Gases o partículas (Polvo, monóxido de carbono, óxido de azufre, etc.)	Se producirá polvo en el proceso de cobertura y construcción	Las trincheras	Se regara con agua la capa Superficial del Material de cobertura.
		Ruido	No aplica	No aplica	No aplica
		Vibraciones	No aplica	No aplica	No aplica
		Olores	No aplica	No aplica	Por el método que se utilizara no deben producirse olores que afecten áreas vecinas
2	Agua	Abastecimiento de agua	Se abastecerá mediante un pozo mecánico.	No aplica	Se utilizara únicamente el agua necesaria para el consumo de los trabajadores y del personal administrativo.
		Aguas residuales ordinarias (aguas residuales generadas por	Dotación diaria será de 40lts/hab/día	El agua residual producida será por las necesidades fisiológicas de	Se trataran mediante una fosa séptica y posteriormente a un pozo de absorción,

		las actividades domésticas)		los trabajadores y su higiene personal.	debidamente diseñado por un ingeniero.
		Aguas residuales especiales (aguas residuales generadas por servicios públicos municipales, actividades de servicio, industriales agrícolas, pecuarias, hospitalarias).	Se producirán líquidos lixiviados, dentro de las trincheras por las aguas de lluvias	Las trincheras	Serán conducidas por un colector principal hacia una planta de tratamiento adecuado para este caso.
		Mezcla de las aguas residuales anteriores	No aplica	No aplica	No aplica
		Agua de lluvia	No aplica	No aplica	Se construirán canales periféricos y alrededor de las trincheras que conduzcan el agua pluvial a una quebrada natural que atraviesa el terreno,
3	Suelo	Desechos sólidos (basura común)	Los desechos se depositaran en trincheras en construidas en el suelo.	Área de operación	En el fondo de cada trincheras se colocará un geomembrana impermeabilizante con una capa de compost para que trabaje como biodigestor.
		Desecho Sólidos peligrosos (con una o más de las siguientes características: Corrosivos, reactivos, explosivos, tóxico, inflamables y bioinfecciosos)	Se depositaran en las trincheras	Área reoperación	En el fondo de cada trincheras se colocara un geomembrana impermeabilizante con una capa de compost para que trabaje como biodigestor.
		Descarga de aguas residuales (si va directa al suelo)	No aplica	No aplica	Los líquidos lixiviados serán tratados y posteriormente descargados.
		Modificación del relieve o topografía	Se modificará la topografía de acuerdo al diseño	El 70% del área total.	Reforestación y jardinería al final de operación.

4	Biodiversidad	Flora (árboles, plantas)	Se adecuara el terreno de acuerdo al diseño y necesidades de operación por lo habrá tala de pocos árboles	Varias	Se reforestara toda la periferia del terreno al inicio y durante la operación se reforestará todo el área.
		Fauna (animales)	No	No	No
		Ecosistemas	No	No	No
5	Visual	Modificación del paisaje	Afectara el paisaje durante la operación	Toda el área	Se recuperara mediante reforestación y embellecimiento.
6	Social	Cambio o modificaciones sociales, económicas y culturales, incluyendo monumentos arqueológicos	Mejoramiento de la sanidad pública y principia a educar a la población en el tema ambiental	No aplica	No aplica

### 2.7.2 Alteración ambiental

Los rellenos sanitarios son obras que consideran un tratamiento utilizado para la disposición de residuos sólidos que considera todas las medidas de control de la contaminación que garantizan la no existencia de riesgos para la salud de las personas y al medio ambiente, impermeabilización basal, sistema de captación y tratamiento de lixiviados, sistema de captación de gases. El proyecto basado en principios de ingeniería que llevan a confinar los residuos sólidos en celdas, reduciendo su volumen al máximo posible, incorpora técnicas que permiten controlar olores, vectores y líquidos.

Los rellenos sanitarios son actualmente la mejor solución posible para el tratamiento de los desechos sólidos, si bien su funcionamiento debe estar sujeto a un riguroso control para que las comunidades aledañas no se vean afectadas en el presente o futuro por su funcionamiento.

- La canalización de las aguas superficiales para evitar su contaminación con los desechos.
- La impermeabilización de las zonas para evitar la contaminación de las aguas profundas.
- Implementación de un programa para la detección de olores ofensivos.
- Control de emisiones de polvo, mediante riego periódico de vías destapadas, barrido continuo de la vía pavimentada y revisión de carpas y tolvas de vehículos que ingresan al relleno.
- Control de contaminación de aguas superficiales, mediante inspecciones continuas de las conducciones de lixiviado y limpieza general de cunetas y desagües.

### **2.7.3 Acción hídrica**

Debe prevenirse el flujo de agua que corre hacia el relleno y evitarse los problemas de erosión que pueden presentarse para cumplir con este requisito se requiere un sistema de control de cual se debe determinar el tamaño de las cunetas y alcantarillas, control de agua de escorrentía de prevenirse el escape de contaminantes y evitar erosión del sistema de cubierta mediante canales perimetrales, canales de sedimentación. Debe ubicarse gradiente arriba del relleno sanitario para evitar que el agua de escorrentía entre a la unidad, y gradiente abajo para recoger el agua de escorrentía de las partes cubiertas del relleno.

#### **2.7.4 Sismicidad**

Los macros deslizamientos y los movimientos de terreno desencadenados por sismos o lluvias pueden cambiar localmente la topografía de la zona, los deslizamientos presentan efectos directos causados por la deformación y el impacto de la masa en movimiento.

En toda instalación de relleno de residuos sólidos que se localice en una zona de impacto sísmico, las estructuras incluyendo las membranas, taludes y sistemas de control de aguas superficiales y de lixiviados, deberán estar diseñados para resistir la aceleración horizontal sísmica local. En este punto se definen lo que es una zona de impacto sísmico, lo que es la aceleración, etc.

Se define como zona de impacto sísmico, aquella que tiene una probabilidad del 10% o más, que la aceleración horizontal en roca dura (expresada como % de la fuerza de gravedad) exceda 0.10g en 50 años.

El sector se encuentra caracterizado por elementos estructurados dominantes representados por el sistema de fallas de Motagua al norte y la activa falla de Jalpatagua al sur, pero el área por el momento no sufre de agrietamientos, desprendimientos ni desplazamientos ni movimientos de masas que sean generados por movimientos de masa, que sean generados por movimientos sismos y pongan en riesgo la seguridad del personal o la operación del relleno.

## **2.8 Medidas de mitigación**

### **2.8.1 Sistema de evacuación de aguas lluvia**

En la época de verano es casi nula la producción de lixiviados dentro de un relleno sanitario pero en épocas de invierno la producción de lixiviados se dará en base a la cantidad de lluvia agua que entra al vertedero y la cantidad que se lixivia va a depender de varios factores como el agua consumida en la formación de gas de vertedero, el agua presente como vapor en el gas de vertedero y la fracción de agua en los residuos.

Se debe conservar en buen estado el drenaje pluvial periférico (canal en tierra, cunetas) y la superficie del relleno. Asimismo el frente de trabajo debe tener drenajes para no perjudicar el movimiento de los vehículos.

Canalización de las aguas superficiales para evitar la contaminación con los desechos.

Se recomienda ubicar el relleno en zonas sin uso de específico para evitar el riesgo de contaminación tanto de aguas superficiales como subterráneas.

La impermeabilización de las zonas para evitar la contaminación de las aguas profundas, Inicialmente el control de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales se efectuará mensualmente para luego realizarse con menor frecuencia, luego de confirmar que no hay contaminación por el relleno. Los parámetros a analizar son aquellos exigidos por la autoridad local o regional de control de la contaminación de las aguas.

## **2.8.2 Tratamiento o aprovechamiento de biogás**

Hay que recalcar que el aprovechamiento de los gases de relleno solamente tiene sentido ecológico.

Económicamente no es rentable. Los precios de venta de la energía eléctrica que se obtiene de la incineración de los gases de relleno no son iguales a los costos del tratamiento previo que debe sufrir el gas de relleno.

Las siguientes tecnologías están disponibles para el aprovechamiento del gas de relleno:

- Producción de energía mediante incineración en un motor
- Hornos incineradores
- Turbinas de gas
- Enriquecer el metano e ingresarlo a un ducto de gas natural
- Uso como combustible

La más sencilla entre estas tecnologías es la incineración mediante un motor, para la cual no se necesita una infraestructura especial. La energía eléctrica se produce independientemente del consumidor y el motor se puede adaptar a la cantidad de gas que es variable. Tiene sentido utilizar esta tecnología en lugares donde existe una planta con alto consumo de energía cerca del relleno (por ejemplo: planta de reciclaje mecanizada que está integrada en el relleno sanitario). Se utilizan motores Otto para este trabajo, y se pueden lograr un rendimiento entre 28 y 30 %. Si se aprovecha también de la energía calorífica, el rendimiento aumenta hacia 50 %.

Si se incinera el gas de relleno en hornos industriales se puede lograr un rendimiento bastante alto de 80 - 90 % y se baja el consumo de otros

combustibles. Se puede incinerar el gas de relleno en los hornos de fábricas de cemento o de ladrillos o para calentamiento en otras industrias. La incineración del gas de relleno tiene sentido si el relleno sanitario está ubicado muy cerca de la fábrica en cuestión.

Existen en Inglaterra y los EEUU algunas plantas donde se quema el gas de relleno en turbinas de gas.

Esta aplicación puede tener sentido si se trata de una gran cantidad de gas de relleno (central con una capacidad > 1 MW).

### **2.8.3 Tratamiento de lixiviados**

Existen diferentes tecnologías para tratar las aguas lixiviadas de un relleno sanitario. La selección del sistema depende del presupuesto disponible, de la cantidad de las aguas lixiviadas y del área disponible. En los subcapítulos siguientes, se describen los métodos más comunes de tratamiento de las aguas lixiviadas, y se dan recomendaciones en qué situación se puede aplicar qué tecnología.

#### **Degradación anaeróbica**

El tratamiento anaeróbico es una tecnología muy apropiada para aguas altamente contaminadas, como las aguas lixiviadas del relleno sanitario. No se necesita aireación y hay la posibilidad de utilizar el gas metano producido durante el proceso de degradación anaeróbica. Con el tratamiento anaeróbico, se puede bajar la concentración de contaminantes considerablemente, es decir que se logran concentraciones de DBO5 entre 1000 - 5000 mg/l y DQO entre 10 000 - 30 000 mg/l, lo que es todavía alto pero ya menos de la mitad de la concentración original.

En los rellenos sanitarios, la degradación anaeróbica se puede realizar durante la fase de fermentación agria. En esta fase, las aguas lixiviadas tienen un contenido extremadamente alto de contaminantes. Más tarde, durante la fermentación con producción de metano, ya no tiene impacto la degradación anaeróbica, ya que todo el proceso se realiza en un ambiente completamente anaeróbico.

Existen tres alternativas comunes para la degradación anaeróbica:

- Se construye un reactor anaeróbico que se utiliza para el pre-tratamiento de las aguas lixiviadas.
- Se integra una capa al fondo del relleno que sirve como filtro anaeróbico. Eso se hace de siguiente manera: Se pone una capa de basura fresca sobre la capa de drenaje y no se compacta esta capa, con el fin de que se realice la biodegradación aeróbica en esta capa de basura.

Ese trabajo se hace 2 - 3 meses antes de abrir el módulo en cuestión a la operación. Cuando esté lista la capa de basura (es decir, ya avanzado el proceso de biodegradación), se puede compactar.

La capa de basura debería tener un espesor de aproximadamente 2 m. Otra alternativa es poner una capa de compost sobre la capa de drenaje.

Si el municipio tiene una planta de compostaje, se puede utilizar el material grueso que sobre cuando se tamiza el compost listo. Sería suficiente un espesor de 0.5 m si se utiliza una capa de compost.

El uso del compost para la capa de filtro se recomienda especialmente para rellenos manuales donde no se puede acumular la basura verticalmente. La capa de basura biodegradada o de compost grueso funciona como filtro anaeróbico para las aguas lixiviadas.

Se recomienda construir este tipo de filtro anaeróbico para cada tipo de relleno sanitario, pues reduce considerablemente la contaminación de las aguas lixiviadas. No tiene costo adicional para el municipio.

- Se puede bombear el agua lixiviada y dispersar sobre el cuerpo de basura con un aspersor. En este caso, el cuerpo entero de basura cumple el papel de filtro anaeróbico y se reduce considerablemente la contaminación de las aguas lixiviadas.

Pero no se recomienda este sistema por causa de la contaminación olfatoria que se produce con los aspersores. Además puede ser demasiado elevado el costo de bombeo.

## Lagunas

Las lagunas son la alternativa más económica entre las alternativas consideradas (el tratamiento anaeróbico es un pre-tratamiento, no una alternativa), y además es un proceso muy eficaz. Los costos de inversión son muy bajos, y casi no existen costos operativos. El cuadro a continuación muestra los tipos más comunes de lagunas de tratamiento biológico:

Tabla XII

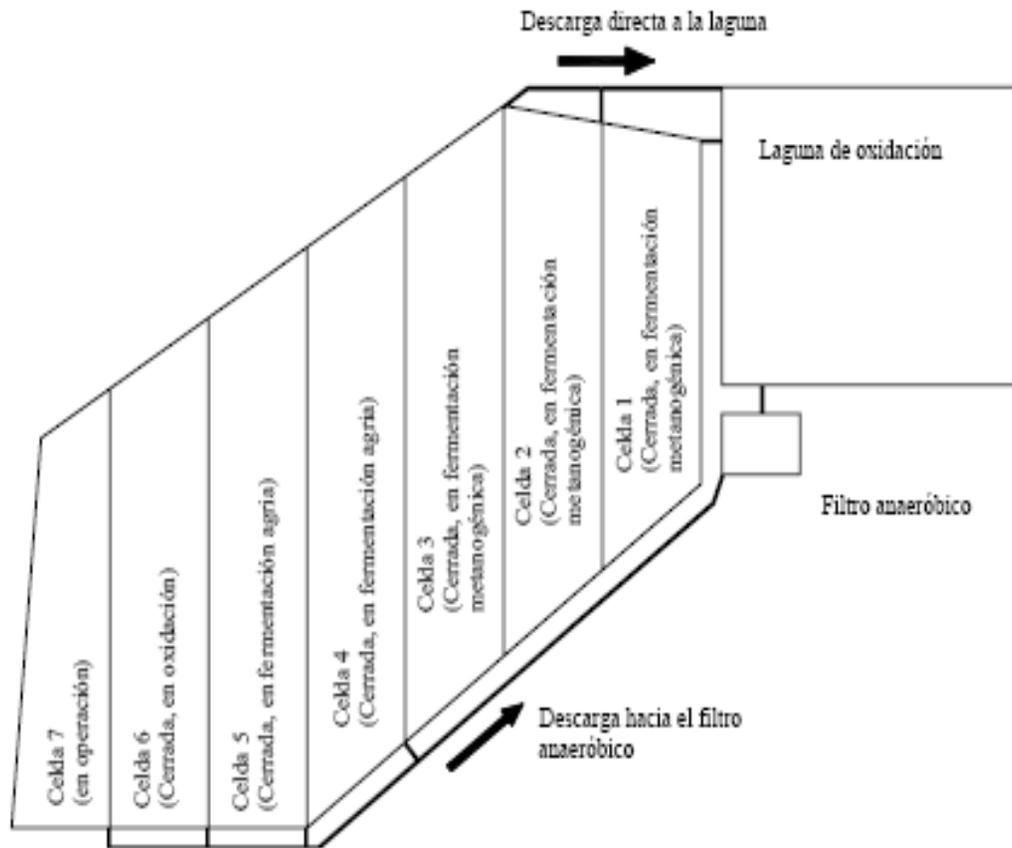
Laguna aerobia	Laguna de poca profundidad que mantiene oxígeno disuelto en todo el tirante de agua.
Laguna aireada	Estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se suple el abastecimiento de oxígeno por aireación mecánica o difusión de aire comprimido.
Laguna anaerobia	Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto, con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S). La laguna anaerobia es un sistema de pre- tratamiento!
Laguna de estabilización	Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad y periodos de retención considerable. En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural
Laguna de maduración	Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (anaerobia – facultativa – aireada – secundaria).
Laguna facultativa	Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

Pero tiene un gran inconveniente, Es verdad que se necesita un área muy extendida para asegurar un buen tratamiento de las aguas lixiviadas. La laguna no debe ser más profunda de 5 - 10 cm, y es necesario un tiempo de retención entre 30 y 50 días (menos en un clima caliente, más en un clima frío). El cuadro anterior menciona algunos ejemplos para el diseño de una laguna biológica.

El área necesaria para la laguna puede variar entre 50 % y 200 % del área del relleno. Los factores de influencia más importantes son el clima (precipitación y temperatura), el tipo de manejo del relleno (manual o compactado, buena o mala compactación) y la población. Se muestra que se puede reducir considerablemente el área de relleno, y por consecuencia la cantidad de las aguas lixiviadas, si se construye una planta de compostaje. Eso se recomienda especialmente para ciudades donde es fácil capacitar a los ciudadanos para clasificar los desechos biodegradables y donde existe un buen mercado para abono natural.

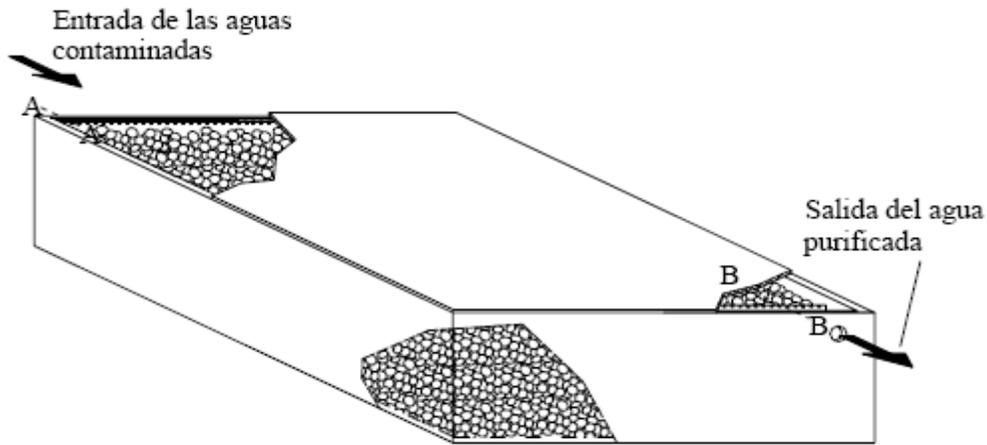
También existen otro tipos de tratamiento, tal es el caso de fosas sépticas con pozos de absorción, pero ahora con la ley descargas residuales, debido a la filtración que tiene el suelo del lugar y la cantidad de líquidos que se produciría en invierno, se puede considerar este método, con la autorización y diseño de un ingeniero sanitario autorizado por el Ministerio de Ambiente y determinar si es apropiado para esta situación.

Figura 25. Diagrama de líquidos lixiviados con lagunas

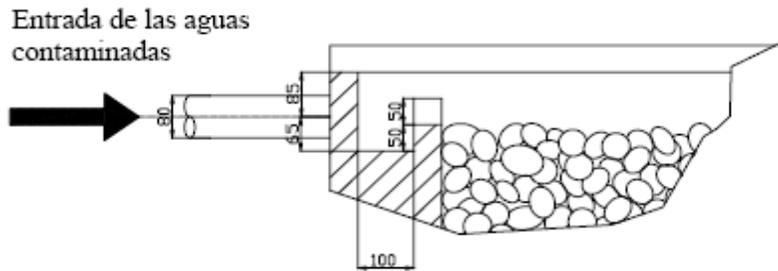


Fuente: Diseño, construcción, y cierre de rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación-Técnica (Loja Ecuador 2002).

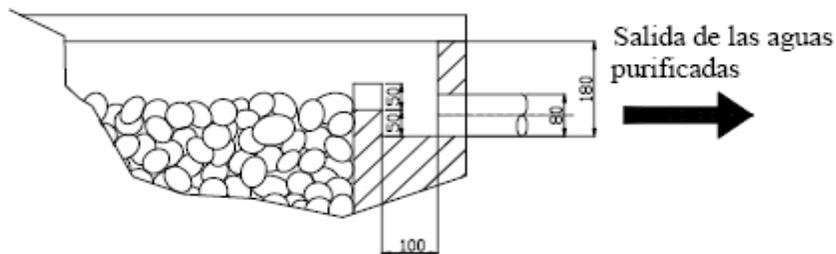
Figura 26. Reactor anaeróbico para tratamiento de líquidos lixiviados.



Corte A - A

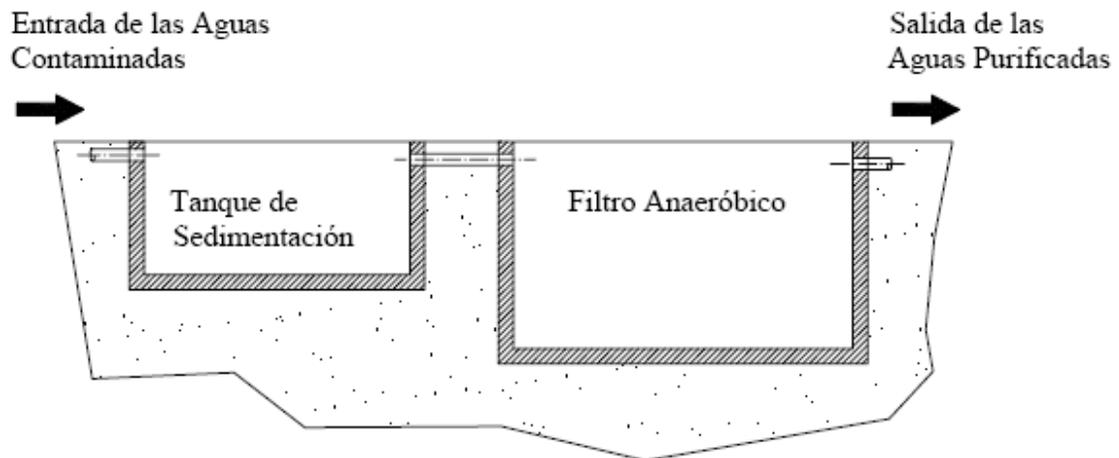


Corte B - B



Fuente: Diseño, construcción, y cierre de rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación-Técnica (Loja Ecuador 2002).

Figura 27. Secuencia de tanques para tratamiento anaeróbico



Fuente: Diseño, construcción, y cierre de rellenos Sanitarios Municipales Servicio Alemán de Cooperación-Técnica (Loja Ecuador 2002)

Se puede utilizar grava o piedra bola para rellenar el reactor anaeróbico. Es también posible utilizar pedazos de plástico (PVC duro, como se utiliza para recipientes) desechado. Esos pedazos deberían tener un tamaño de 5 - 7 cm. Con este relleno, se aumenta la superficie de reacción y se acelera el proceso de degradación, lo que permite construir un reactor más pequeño y más barato. Se recomienda construir el reactor para un tiempo de retención de 15 días como mínimo.

Para evitar que se colme el filtro anaeróbico, se recomienda construir una pequeña piscina de sedimentación, donde se van las aguas lixiviadas antes de ser conducidas al filtro anaeróbico. La figura 27 muestra una secuencia posible para el tratamiento con reactor anaeróbico.



## CONCLUSIONES

1. El manejo de los desechos sólidos está siendo ejecutado por la municipalidad de Jalapa de forma insuficiente, esto de acuerdo a sus posibilidades y limitaciones técnicas y financieras, por lo cual con este proyecto se generará un manejo de forma adecuada con una planificación inicial, durante la operación y clausura.
2. El costo inicial total es de Q.6,646,547.50, siendo uno de los mayores renglones de esta inversión la compra de equipo y maquinaria, junto con la adquisición del terreno, pudiendo reducir esta inversión con la donaciones de maquinaria por parte de países desarrollados .
3. La localización del terreno en evaluación es buena, ya que el crecimiento urbano se dirige con mayor crecimiento en la dirección sur, lo cual en mediano plazo bajará los costos de transporte al relleno y al final de la vida útil, los 153, 443.26 m<sup>2</sup> servirán de área verde para todos los barrios que se construirán.
4. El terreno se modificará de acuerdo al diseño y necesidades del relleno, en el cual se considera de comienzo un 25% del área para reforestar al inicio de las operaciones.

5. Según los análisis financieros, el proyecto es totalmente factible e incluso podría ser rentable a mediano plazo, esto con un arbitrio específico para cada servicio de recolección, cuyo incremento no debe ser mayor al 15% del precio actual.
  
6. Realizando correctamente este proyecto puede crear fuentes de trabajo de mano de obra no calificada, mediante el reciclaje y el compostaje o lomicultura, así como también ayudar al campesino en mejorar la producción de sus cultivos con abono orgánico a bajo costo y a la vez recuperar el suelo de sus tierras.

## RECOMENDACIONES

A las autoridades municipales de Jalapa.

1. Crear y promover un programa de educación ambiental, para la mejor información, participación y aceptación de la población beneficiada con este proyecto.
2. Gestionar donaciones de países desarrollados para la maquinaria necesaria de este proyecto.
3. Crear una unidad municipal, cuya función sea el control, coordinación, supervisión de manejo de desechos sólidos y la recolección de los mismos, el relleno sanitario debe contratar un ingeniero capacitado para supervisar y hacer cumplir las especificaciones técnicas, las medidas de operación, mitigación y aprovechamiento que se indican en el diseño.
4. A mediano plazo implementar la clasificación domiciliar como obligatoria y así ahorrar costos de operación dentro del Relleno Sanitario.
5. Si no se desea implementar un arbitrio específico para la recolección, se puede considerar la concesión de la recolección junto con la administración del relleno para reducir las tarifas actuales y a la vez cumplir con las especificaciones de diseño.

6. Si se da la concesión, debe de ser considerado un porcentaje de las utilidades que produzca el relleno para la municipalidad no menor al 25%, para con esto financiar programas de mejoras ambientales.
7. Si se administra de forma pública, no utilizar el equipo, herramienta, maquinaria, instalaciones y personal, para otras actividades que no sean del relleno sanitario.
8. Dada la concesión la unidad encargada para el control y manejo anteriormente descrita, debe velar por el cumplimiento de de los parámetro de diseño, y las medidas de mitigación de las posibles contaminaciones producidas por el Relleno Sanitario.

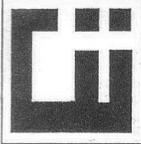
## BIBLIOGRAFÍA

1. Padilla Lemus, Carlos Alfredo. RELLENO SANITARIO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE MATAQUESCUINTLA, DEPARTAMENTO DE JALAPA.  
Trabajo de Graduación Ingeniero Civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2005.
2. Ruano Silva, Juan Salatiel. RELLENO SANITARIO Y TREN DE ASEO DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL PETAPA.  
Tesis de Graduación Ingeniero Civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1998. T (4,372)
3. Medrano Pérez, Justo Enrique. MANEJO, DISPOSICIÓN FINAL Y REGLAMENTO MUNICIPAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EN LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE SANTA CRUZ DE EL QUICHE.  
Tesis de Graduación Ingeniero Civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996.08 T(3,715)
4. López Herrera, Luís Rolando. MÉTODO DE DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS, RECOMENDADOS PARA LA CIUDAD DE GUATEMALA.  
Tesis de Graduación Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1977. 08 T(889)

5. Ing. Diego Daza Sierra, Asesor Regional en Residuos Sólidos, CEPIS-BS\*SDE/OPS. GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN, RELLENOS SANITARIOS.  
Organización Panamericana de la Salud.
  
6. Ortiz Alvarado, Julio Cesar. CONSIDERACIONES PARA DISEÑO Y MANEJO DE UN RELLENO SANITARIO.  
Tesis de Graduación Ingeniero Civil, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1984. 08T (1,732)
  
7. Röben, Eva. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y CIERRE DE RELLENOS SANITARIOS MUNICIPALES  
Servicio Alemán de cooperación Social-técnica, municipalidad de Loja, Ecuador 2002.

## APÉNDICES





**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR**

INFORME No. 294 S.S. O.T.No.: 25,506

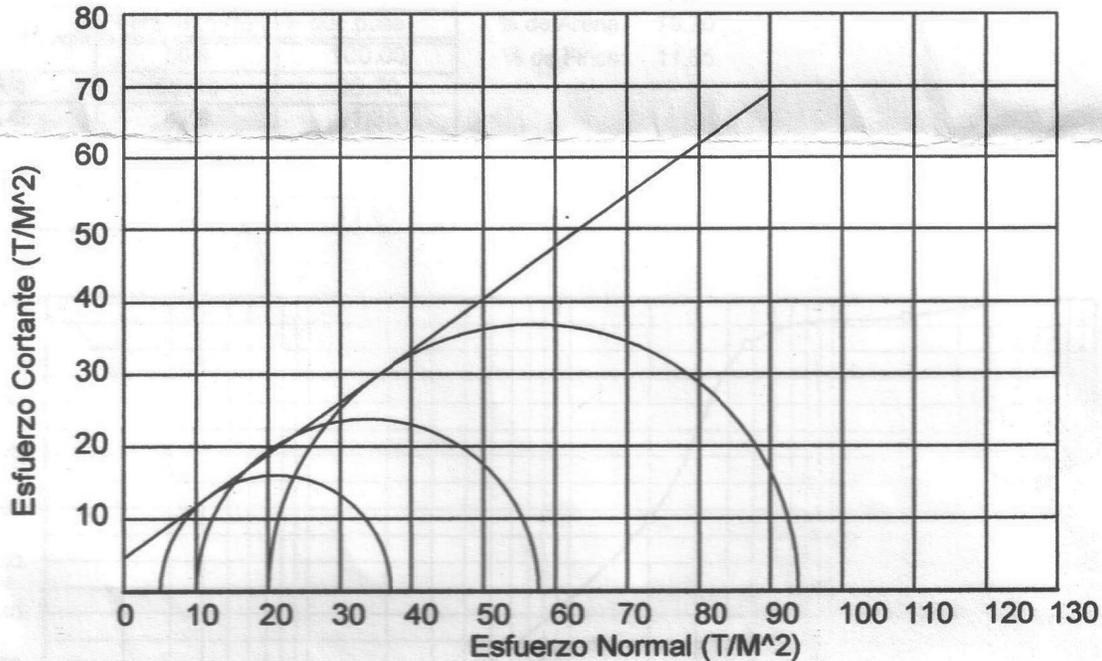
INTERESADO: Jose Alejandro Caceres Sandoval, carne 2003-13160

PROYECTO: EPS, Diseño de Relleno Sanitario.

UBICACIÓN: Municipio de Jalapa, Jalapa.

pozo: 1 Profundidad: 2.00 m Muestra: 1

Fecha: 15 de Julio de 2009



**PARAMETROS DE CORTE:**

<b>ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : <math>\phi = 35.61^\circ</math></b>	<b>COHESIÓN: <math>C_u = 4.60 \text{ T/m}^2</math></b>
---	--

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCION DEL SUELO: Arena Pomez, con poca grava, color gris.  
 DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m <sup>2</sup> )	32.04	47.67	73.84
PRESION INTERSTICIAL u(T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	2.0	3.5	6.5
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1.75	1.75	1.75
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1.94	1.94	1.94
HUMEDAD (%H)	9.1	9.1	9.1

Vo. Bo.

  
**Inga. Telma Maricela Cano Morales**  
**DIRECTORA CII/USAC**

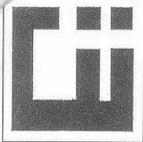


Atentamente,

  
**Ing. Omar Enrique Medrano Méndez**  
**Jefe Sección Mecánica de Suelos**



**Nuevos Teléfonos:**  
 Centro de Investigaciones de Ingeniería  
 Tels. (502) 2418-8000 ext. 86221 y 86209  
 Directos: (502) 2418-9115 - 2418-9121



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 008564

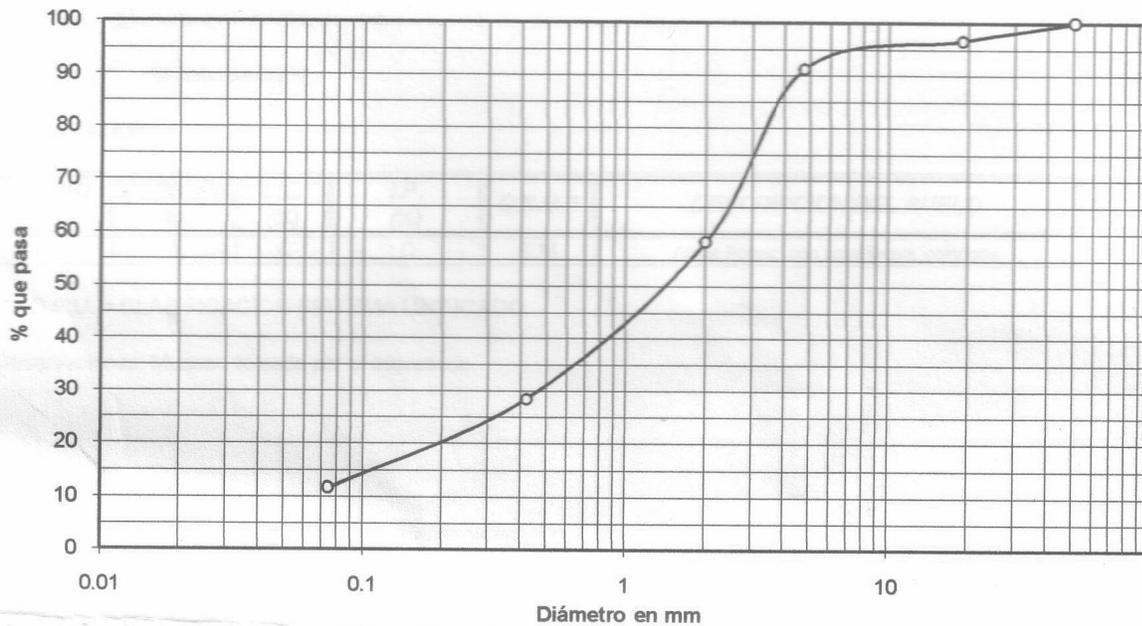
INFORME No. 295 S.S.

O.T. No. 25,506

Interesado: Jose Alejandro Caceres Sandoval, carne 2003-13160  
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices y lavado previo.  
 Norma: A.A.S.H.T.O. T-27, T-11  
 Proyecto: EPS, Diseño de Relleno Sanitario.  
 Procedencia: Municipio de Jalapa, Jalapa.  
 Fecha: 15 de Julio de 2009

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	50.8	100.00
3/4"	19.00	96.70
4	4.76	91.35
10	2.00	58.46
40	0.42	28.50
200	0.074	11.65

% de Grava: 8.65  
 % de Arena: 79.70  
 % de Finos: 11.65



Descripción del suelo: Arena Pomez, con poca grava, color gris.  
 Clasificación: S.C.U.: SW-SM P.R.A.: A-1-b  
 Observaciones: Muestra tomada por el interesado.



Atentamente,



Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
 DIRECTORA CII/USAC

*Omar Enrique Medrano Méndez*  
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
 Jefe Sección Mecánica de Suelos



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Nº 008565

INFORME No. 296 S. S.                      O.T.: 25,506

Interesado: Jose Alejandro Caceres Sandoval, carne 2003-13160  
Proyecto: EPS, Diseño de Relleno Sanitario.

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG  
Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Municipio de Jalapa, Jalapa.

FECHA: 15 de Julio de 2009

**RESULTADOS:**

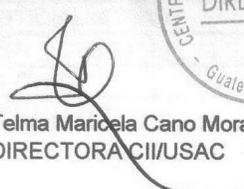
ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	C.S.U. *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	0	0	S.M.	Arena Pomez, con poca Grava, color gris.

(\*) C.S.U. = CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,

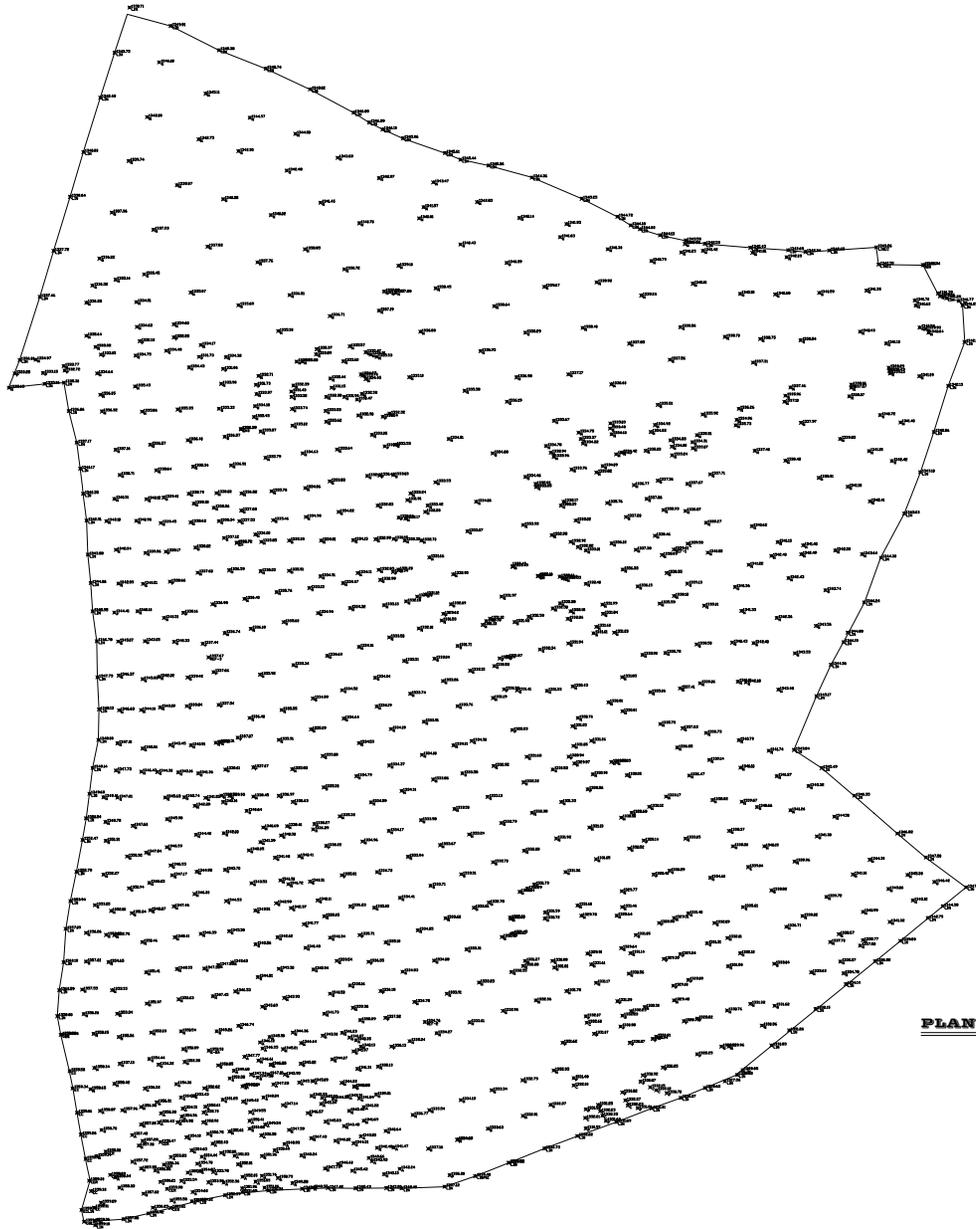
Vo. Bo.

  
Inga. Telma Mariela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

**Nuevos Teléfonos:**  
Centro de Investigaciones de Ingeniería  
Tels. (502) 2418-8000 ext. 86221 y 86209  
Directos: (502) 2418-9115 - 2418-9121

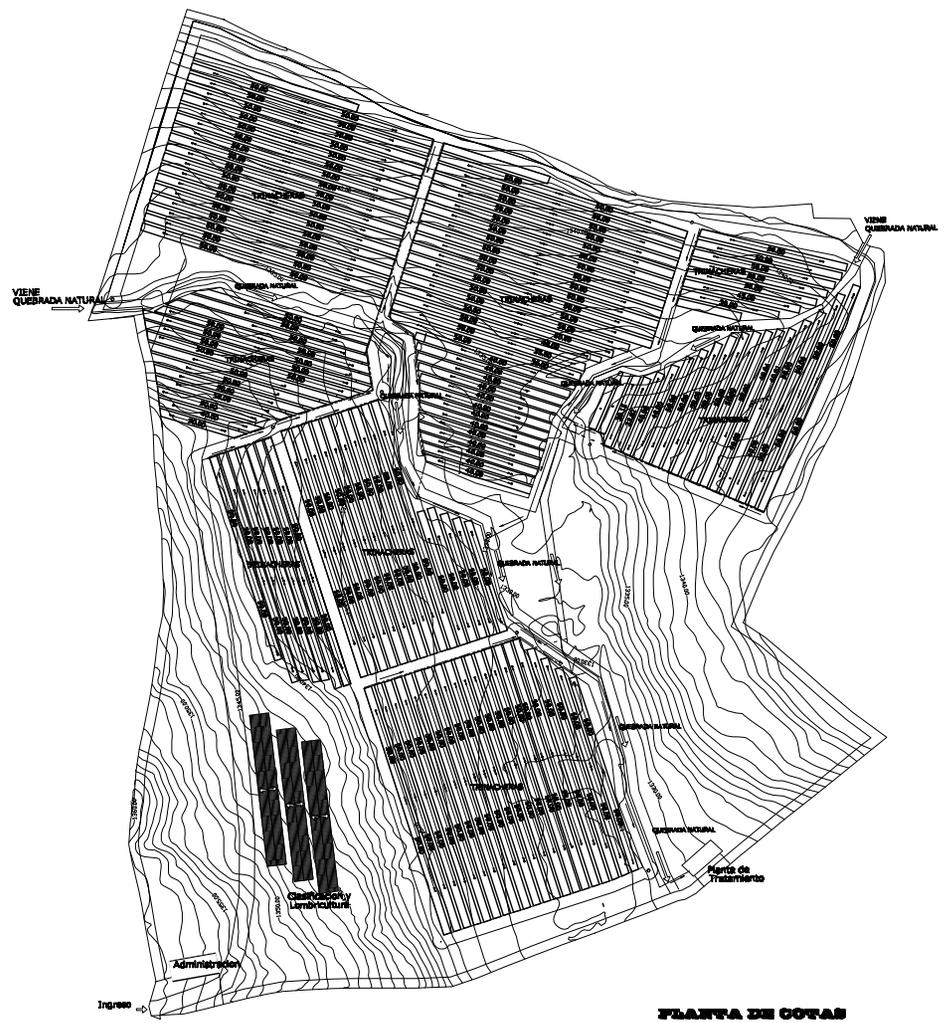


Nº	Coordenadas	Altura
1	1000000.000	1000000.000
2	1000000.000	1000000.000
3	1000000.000	1000000.000
4	1000000.000	1000000.000
5	1000000.000	1000000.000
6	1000000.000	1000000.000
7	1000000.000	1000000.000
8	1000000.000	1000000.000
9	1000000.000	1000000.000
10	1000000.000	1000000.000
11	1000000.000	1000000.000
12	1000000.000	1000000.000
13	1000000.000	1000000.000
14	1000000.000	1000000.000
15	1000000.000	1000000.000
16	1000000.000	1000000.000
17	1000000.000	1000000.000
18	1000000.000	1000000.000
19	1000000.000	1000000.000
20	1000000.000	1000000.000
21	1000000.000	1000000.000
22	1000000.000	1000000.000
23	1000000.000	1000000.000
24	1000000.000	1000000.000
25	1000000.000	1000000.000
26	1000000.000	1000000.000
27	1000000.000	1000000.000
28	1000000.000	1000000.000
29	1000000.000	1000000.000
30	1000000.000	1000000.000
31	1000000.000	1000000.000
32	1000000.000	1000000.000
33	1000000.000	1000000.000
34	1000000.000	1000000.000
35	1000000.000	1000000.000
36	1000000.000	1000000.000
37	1000000.000	1000000.000
38	1000000.000	1000000.000
39	1000000.000	1000000.000
40	1000000.000	1000000.000
41	1000000.000	1000000.000
42	1000000.000	1000000.000
43	1000000.000	1000000.000
44	1000000.000	1000000.000
45	1000000.000	1000000.000
46	1000000.000	1000000.000
47	1000000.000	1000000.000
48	1000000.000	1000000.000
49	1000000.000	1000000.000
50	1000000.000	1000000.000
51	1000000.000	1000000.000
52	1000000.000	1000000.000
53	1000000.000	1000000.000
54	1000000.000	1000000.000
55	1000000.000	1000000.000
56	1000000.000	1000000.000
57	1000000.000	1000000.000
58	1000000.000	1000000.000
59	1000000.000	1000000.000
60	1000000.000	1000000.000
61	1000000.000	1000000.000
62	1000000.000	1000000.000
63	1000000.000	1000000.000
64	1000000.000	1000000.000
65	1000000.000	1000000.000
66	1000000.000	1000000.000
67	1000000.000	1000000.000
68	1000000.000	1000000.000
69	1000000.000	1000000.000
70	1000000.000	1000000.000
71	1000000.000	1000000.000
72	1000000.000	1000000.000
73	1000000.000	1000000.000
74	1000000.000	1000000.000
75	1000000.000	1000000.000
76	1000000.000	1000000.000
77	1000000.000	1000000.000
78	1000000.000	1000000.000
79	1000000.000	1000000.000
80	1000000.000	1000000.000
81	1000000.000	1000000.000
82	1000000.000	1000000.000
83	1000000.000	1000000.000
84	1000000.000	1000000.000
85	1000000.000	1000000.000
86	1000000.000	1000000.000
87	1000000.000	1000000.000
88	1000000.000	1000000.000
89	1000000.000	1000000.000
90	1000000.000	1000000.000
91	1000000.000	1000000.000
92	1000000.000	1000000.000
93	1000000.000	1000000.000
94	1000000.000	1000000.000
95	1000000.000	1000000.000
96	1000000.000	1000000.000
97	1000000.000	1000000.000
98	1000000.000	1000000.000
99	1000000.000	1000000.000
100	1000000.000	1000000.000

**PLANO DE PUNTOS TOPOGRAFICOS**

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FES FACULTAD DE INGENIERIA MANIFIESTO N. 001/19		
	NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JUAN PABLO SANCHEZ DE: ALBA, ALBA	CARRERA: INGENIERIA SEMESTRE: 2020	
TITULO: JOSE ALVARO GARCIA SANCHEZ			
NOMBRE DEL TUTOR: JOSE ALVARO GARCIA SANCHEZ			

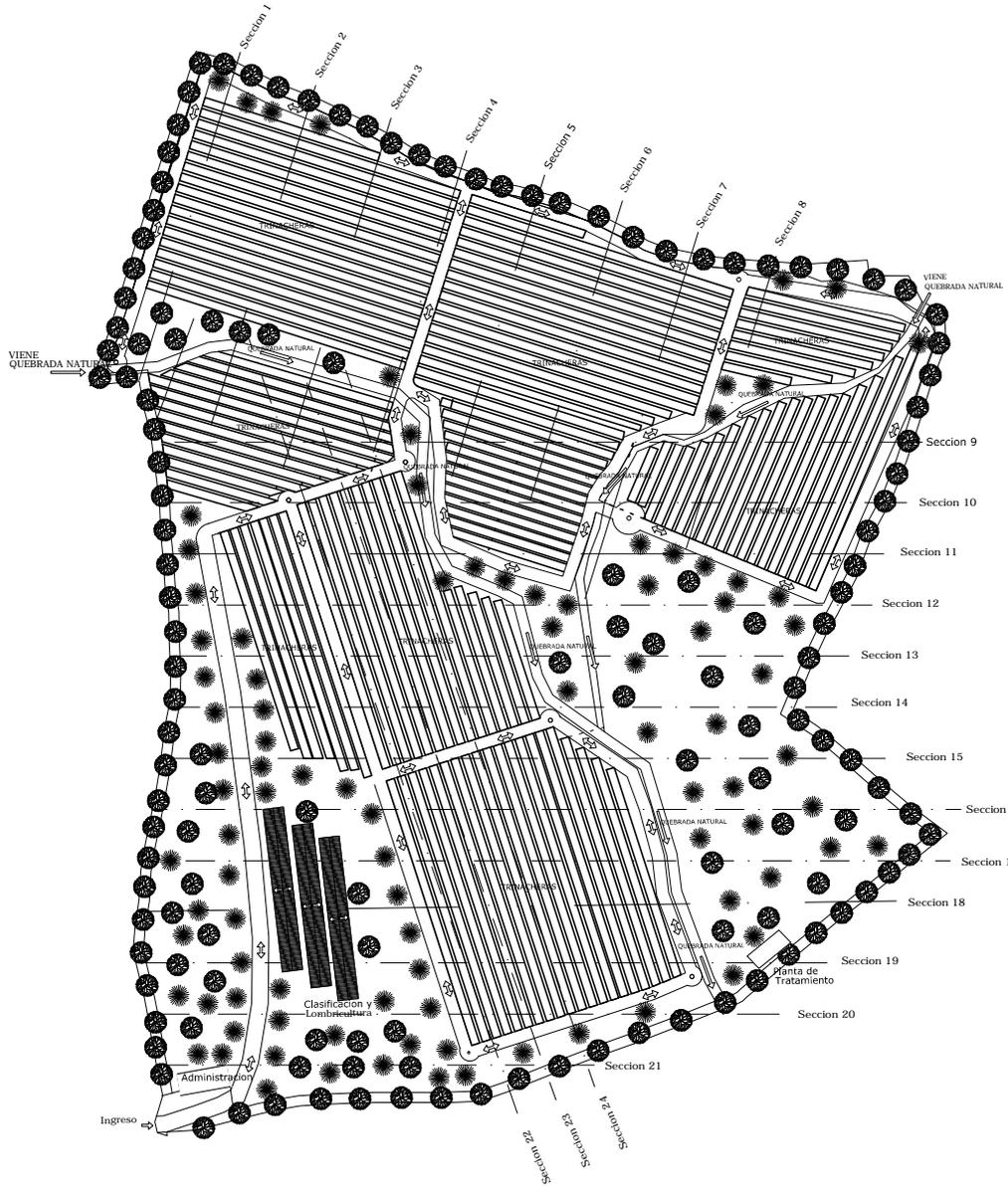




SIMBOLOGIA	
	TRINCHERA
	CHIMENEA
	DISTANCIA DE CHIMENEA
	PENDIENTE DE QUEBRADA NATURAL
	PENDIENTE DE TUBERIA
	COLECTOR PRINCIPAL
	COLECTOR SECUNDARIO

**PLANTA DE COTACACHI**  
ESCALA 1:200

	<b>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</b> <small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small>		
	<small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small> MUNICIPIO DE COTACACHI	<small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small> MUNICIPIO DE COTACACHI	
	<small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small> PLAN DE COTACACHI	<small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small> PLAN DE COTACACHI	
	<small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small> PLAN DE COTACACHI	<small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small> PLAN DE COTACACHI	
<small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small> PLAN DE COTACACHI		<small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small> PLAN DE COTACACHI	<small>INFORMACION DE SALICOM DE GUAYAMA</small> PLAN DE COTACACHI



SIMBOLOGIA	
	TRINCHERA
	PENDIENTE DE QUEBRADA NATURAL
	DIRECCION DE VIA (DOBLE VIA)
	INDICA SECCION

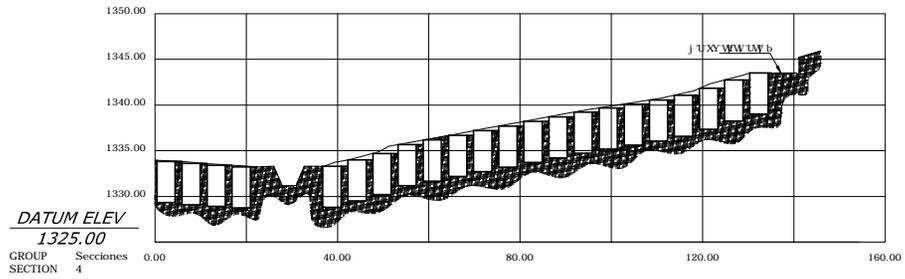


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 EPS FACULTAD DE INGENIERIA  
 MANIFIESTA DE ALUMNOS

ALUMNO: JUAN CARLOS GONZALEZ GONZALEZ	SECCION: 1
TITULO: FINAL CON LARGO CONCURSO DE OBRAS	FECHA: 2020
PROFESOR: JOSE ALVARADO GARCIA SANCHEZ	
ASISTENTE: JOSE ALVARADO GARCIA SANCHEZ	

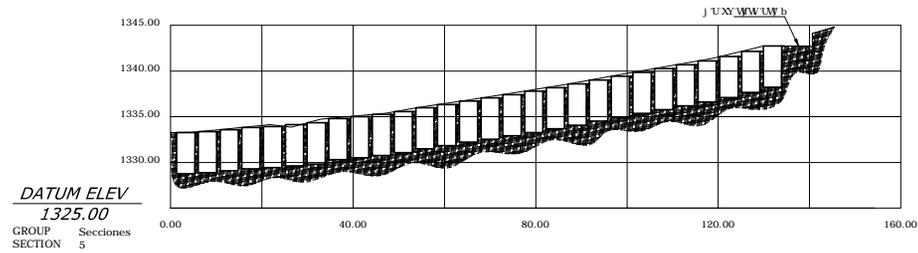




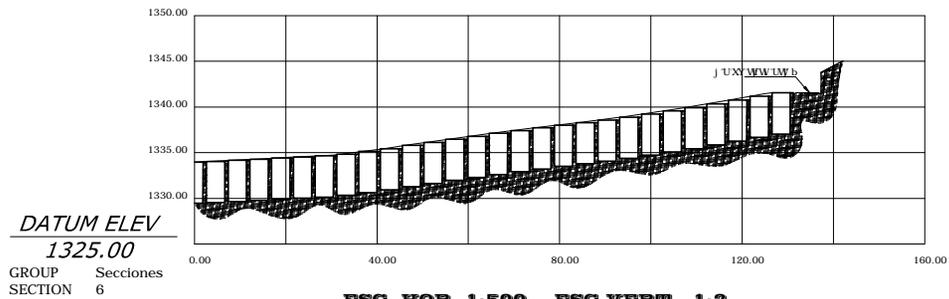


**ESC. HOR. 1:500 ESC VERT. 1:2**

SIMBOLOGIA	
	TRINCHERA
	QUEBRADA NATURAL
	CUNETETA
	PERFIL NATURAL DE TERRENO
	GALERA
	VIA DE CIRCULACION
	COLECTOR PRINCIPAL D= 12"



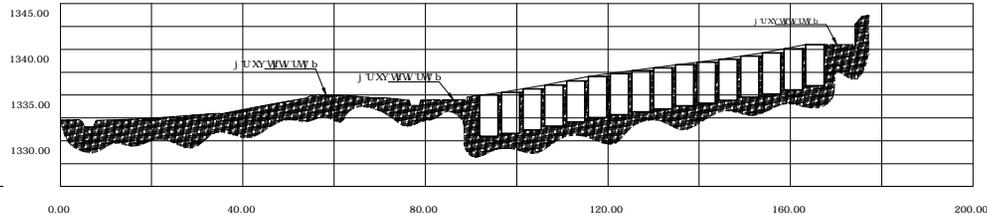
**ESC. HOR. 1:500 ESC VERT. 1:2**



**ESC. HOR. 1:500 ESC VERT. 1:2**

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA MANIFIESTO DE ALUMNOS		
	NOMBRE DEL ALUMNO: JUAN PABLO SERRANO DE ALUMNOS:	NOMBRE DEL ALUMNO: JUAN PABLO SERRANO DE ALUMNOS:	
TITULO: JOSE ALVARADO GARCIA SANCHEZ			
NOMBRE DEL ALUMNO: JOSE ALVARADO GARCIA SANCHEZ			
NOMBRE DEL ALUMNO: JOSE ALVARADO GARCIA SANCHEZ			PAGINA: 6 TOTAL: 16

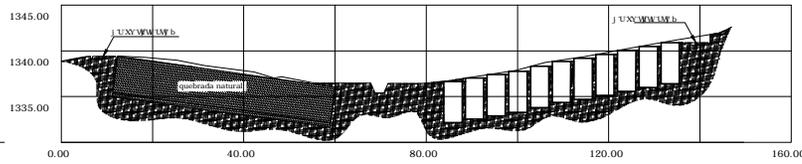
**DATUM ELEV**  
**1325.00**  
 GROUP Secciones  
 SECTION 7



**ESC. HOR. 1:500 ESC VERT. 1:2**

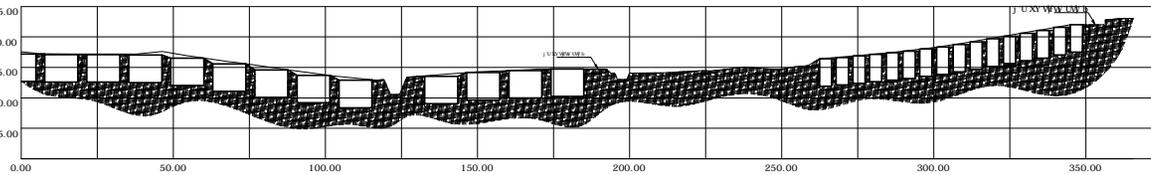
SIMBOLOGIA	
	TRINCHERA
	QUEBRADA NATURAL
	CUNETETA
	PERFIL NATURAL DE TERRENO
	GALERA
	VIA DE CIRCULACION
	COLECTOR PRINCIPAL D=12"

**DATUM ELEV**  
**1330.00**  
 GROUP Secciones  
 SECTION 8



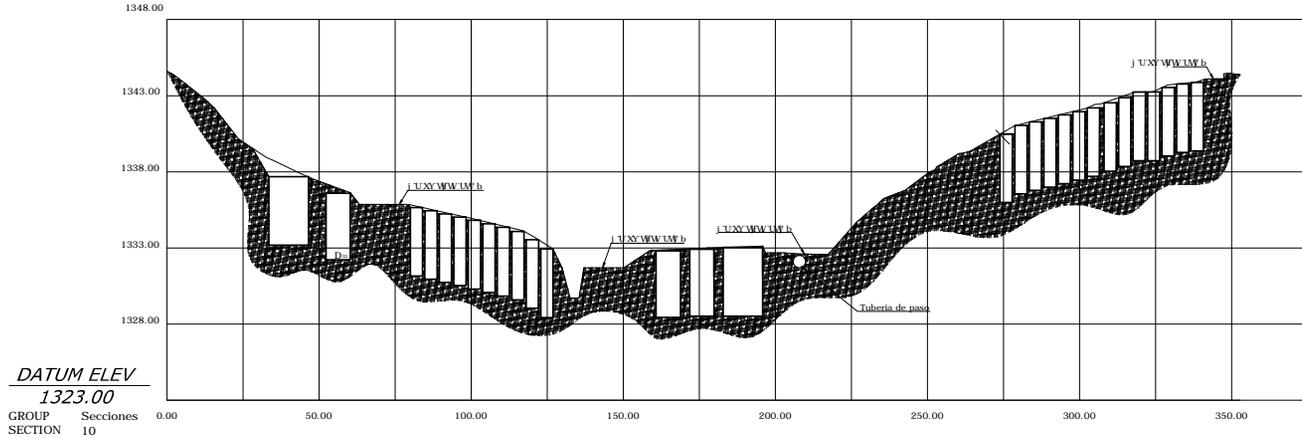
**ESC. HOR. 1:500 ESC VERT. 1:2**

**DATUM ELEV**  
**1320.00**  
 GROUP Secciones  
 SECTION 9



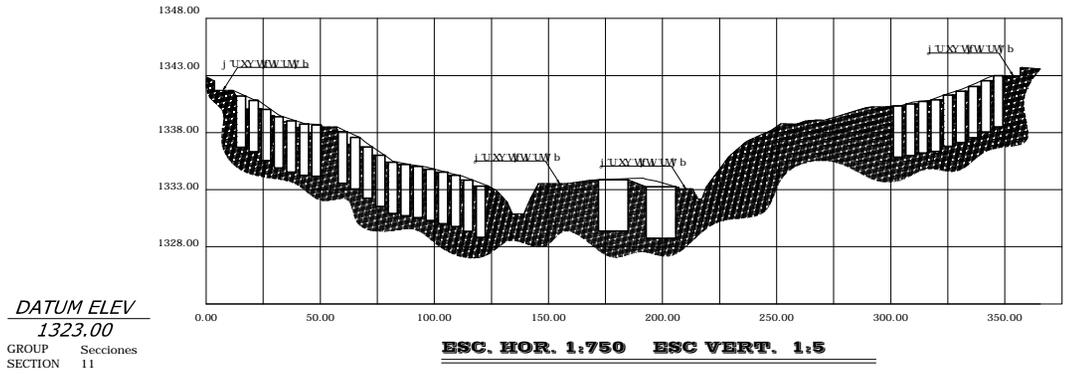
**ESC. HOR. 1:500 ESC VERT. 1:2**

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA MANIFIESTO DE OBRAS		
	NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE Y APELLIDOS): DE ALUMNO:	N°: 10000000000000000000 FECHA: 2020	
TITULO: JOSE ALVARO OCHOA SANCHEZ		NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE Y APELLIDOS): DE ALUMNO:	
NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE Y APELLIDOS): DE ALUMNO:		NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE Y APELLIDOS): DE ALUMNO:	



SIMBOLOGIA	
	TRINCHERA
	QUEBRADA NATURAL
	CUNETA
	PERFIL NATURAL DE TERRENO
	GALERA
	VIA DE CIRCULACION
	COLECTOR PRINCIPAL D=12"

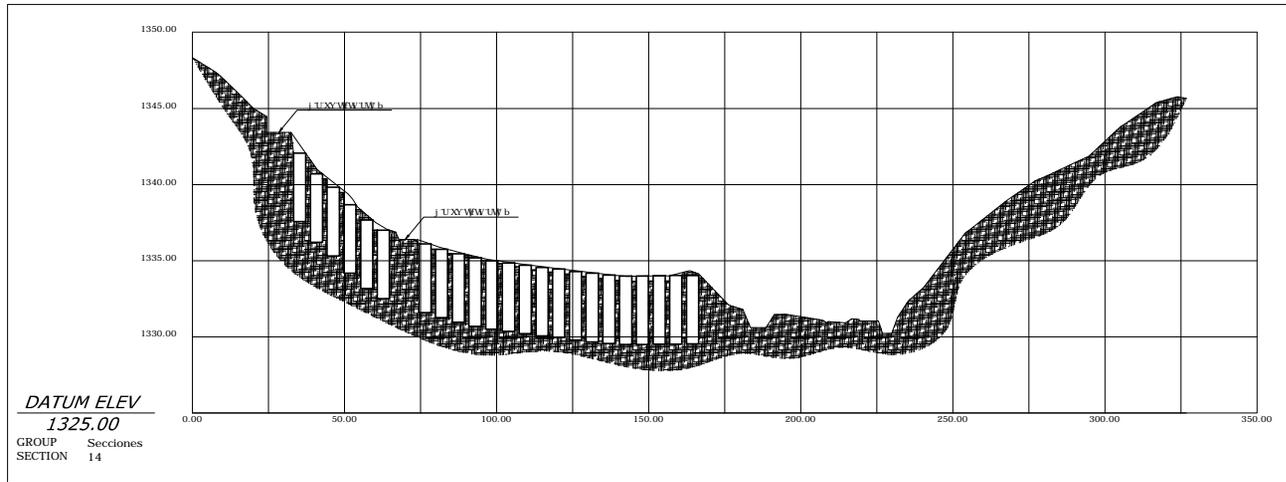
**ESC. HOR. 1:750 ESC VERT. 1:5**



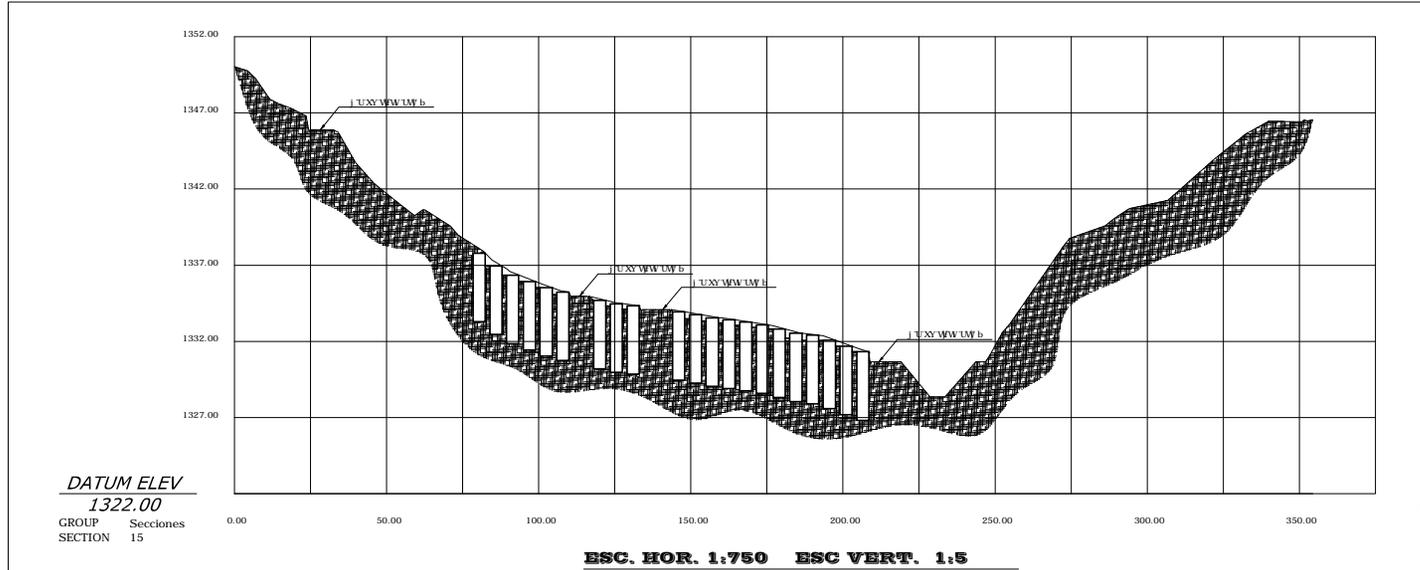
**ESC. HOR. 1:750 ESC VERT. 1:5**

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA MANIFIESTO DE ALUMNOS		
	NOMBRE DEL ALUMNO PRESENTE: <input type="text"/> DE ALMA MATER: <input type="text"/>	NOMBRE DEL ALUMNO: <input type="text"/> SECCIONES DEL TERRENO: <input type="text"/>	
NOMBRE DEL ALUMNO: <input type="text"/> NOMBRE DEL ALUMNO: <input type="text"/>		NOMBRE DEL ALUMNO: <input type="text"/> NOMBRE DEL ALUMNO: <input type="text"/>	
NOMBRE DEL ALUMNO: <input type="text"/> NOMBRE DEL ALUMNO: <input type="text"/>		NOMBRE DEL ALUMNO: <input type="text"/> NOMBRE DEL ALUMNO: <input type="text"/>	

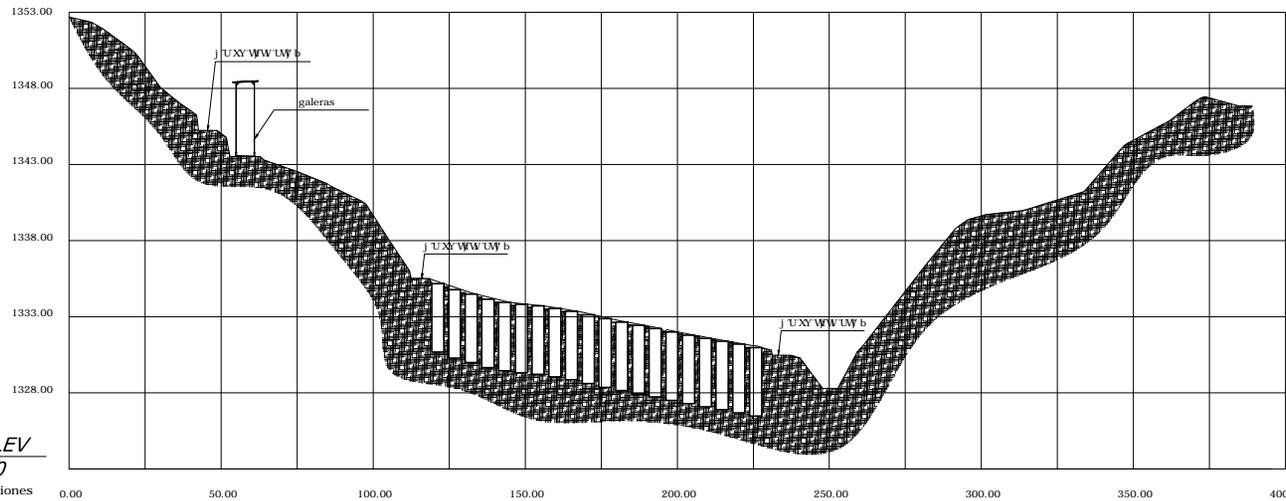




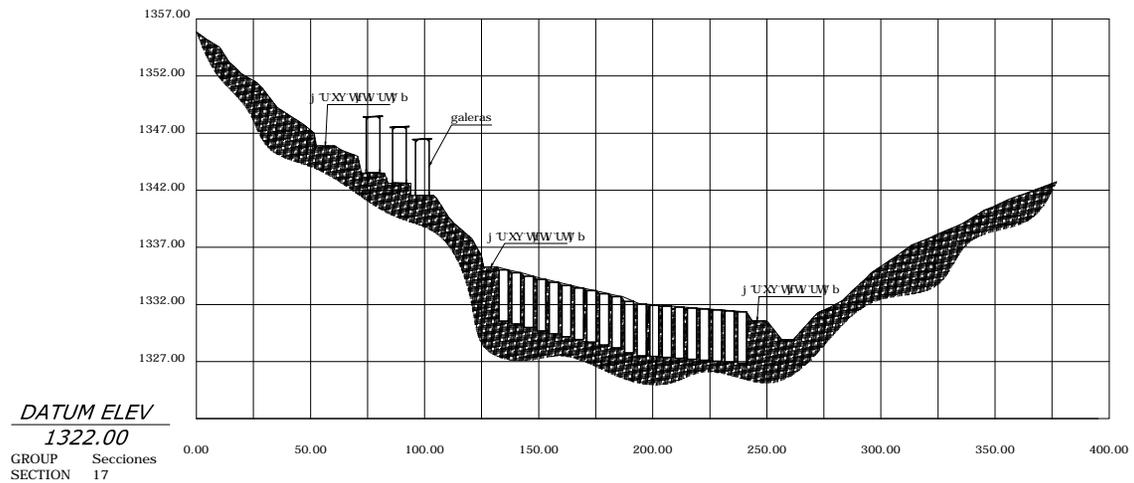
SIMBOLOGIA	
	TRINCHERA
	QUEBRADA NATURAL
	CUNETA
	PERFIL NATURAL DE TERRENO
	GALERA
	VIA DE CIRCULACION
	COLECTOR PRINCIPAL D=12"



	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA		
	FACULTAD DE INGENIERIA		
MAYAGUEZ DE JULY			
NOMBRE DEL ESTUDIANTE/INGENIERO/ARQUITECTO		CARRERA	
DE ALMA MATER		AÑO	
SECCIONES DEL TERRENO		AÑO 2000	
E N			
JOSE ALVARADO GARCIA SARDUA			
E T			
JOSE ALVARADO GARCIA SARDUA			
FECHA DE ELABORACION		FECHA DE REVISION	
10		16	

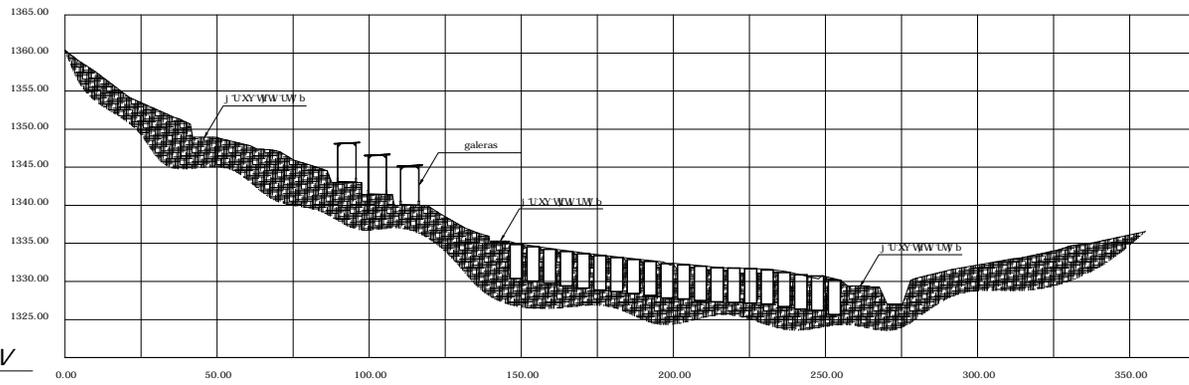


**ESC. HOR. 1:750 ESC VERT. 1:5**



**ESC. HOR. 1:1000 ESC VERT. 1:5**

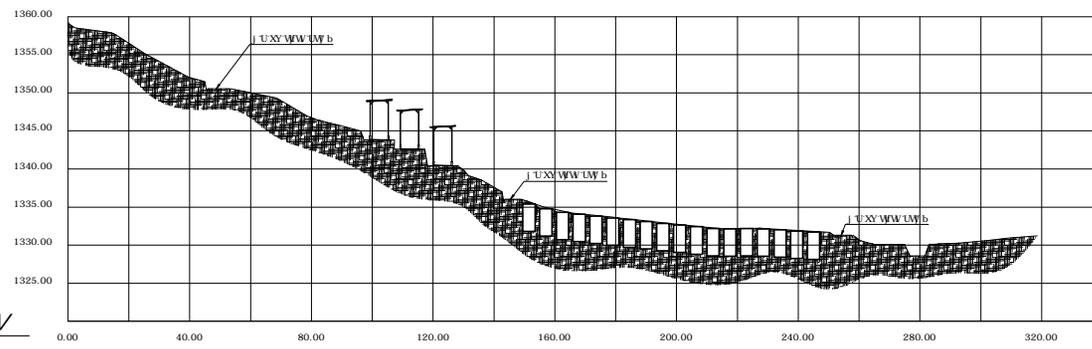
	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA		
	FACULTAD DE INGENIERIA		
NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE PLENTO):		FECHA:	
DE ALMA MATER:			
NOMBRE DEL TERRENO:		Año: 2009	
N.º:			
NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE COMPLETO):			
NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE COMPLETO):			
NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE COMPLETO):		N.º:	



SIMBOLOGIA	
	TRINCHERA
	QUEBRADA NATURAL
	CUNETA
	PERFIL NATURAL DE TERRENO
	GALERA
	VIA DE CIRCULACION
	COLECTOR PRINCIPAL D=12"

DATUM ELEV  
1320.00  
GROUP Secciones  
SECTION 18

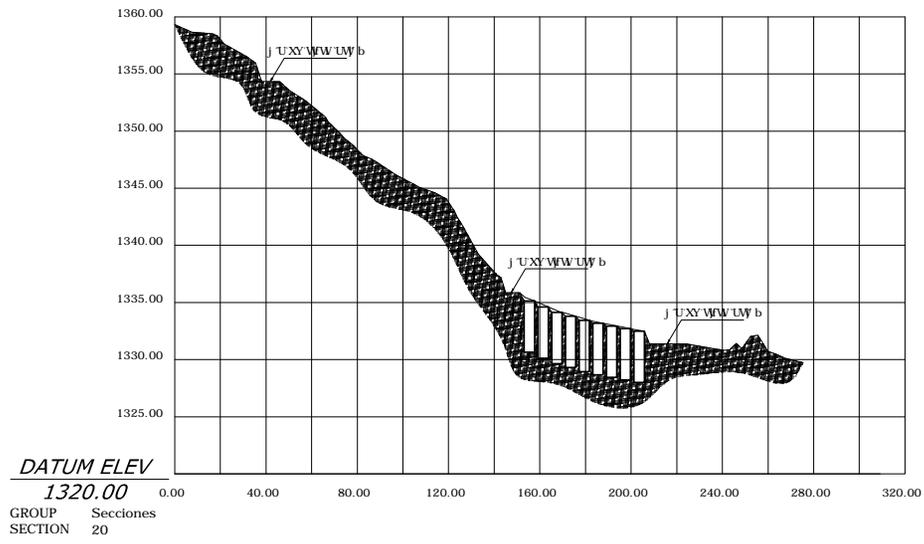
**ESC. HOR. 1:750 ESC VERT. 1:2.5**



DATUM ELEV  
1320.00  
GROUP Secciones  
SECTION 19

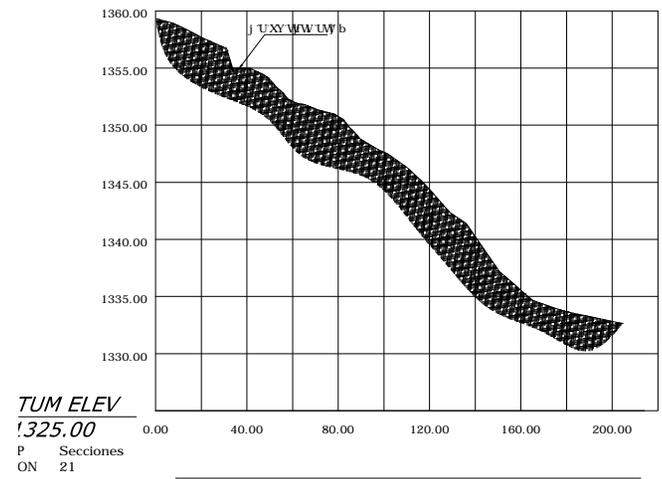
**ESC. HOR. 1:750 ESC VERT. 1:2.5**

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA MANIFIESTO DE OBRAS		
	NOMBRE DEL ESTUDIANTE: <input type="text"/> DE ALUM. NOMBRE: <input type="text"/>	FECHA: <input type="text"/> AÑO: <input type="text"/>	



SIMBOLOGIA	
	TRINCHERA
	QUEBRADA NATURAL
	CUNETA
	PERFIL NATURAL DE TERRENO
	GALERA
	VIA DE CIRCULACION
	COLECTOR PRINCIPAL D=12"

Esc. Hor. 1:1000 Esc. Vert. 1:5

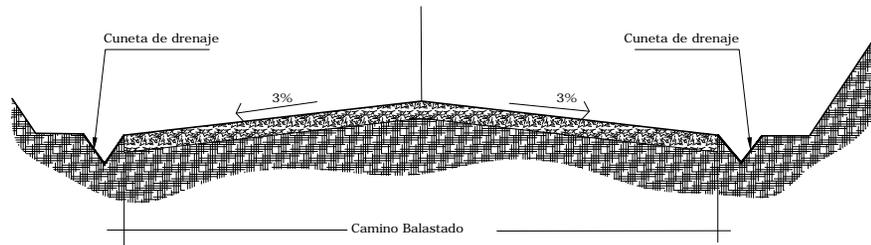


Esc. Hor. 1:750 Esc. Vert. 1:5

	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA MANIFIESTO DE JUROS		
	NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE PATERNO, NOMBRE MATERNO) DE JUAN, JUAN	CARRERA INGENIERIA	
FECHA DEL EXAMEN SECCIONES DEL EXAMEN		AÑO AÑO 2000	
NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE PATERNO, NOMBRE MATERNO) JOSE ALVARADO GARCIA SARDUA			
NOMBRE DEL ALUMNO (NOMBRE PATERNO, NOMBRE MATERNO) JOSE ALVARADO GARCIA SARDUA			

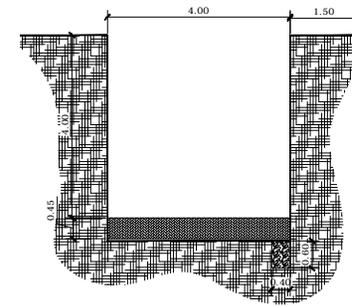
15/16





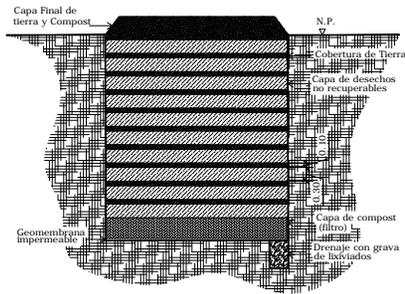
**SECCION TIPICA DE VIAS INTERNAS**

ESCALA 1:25



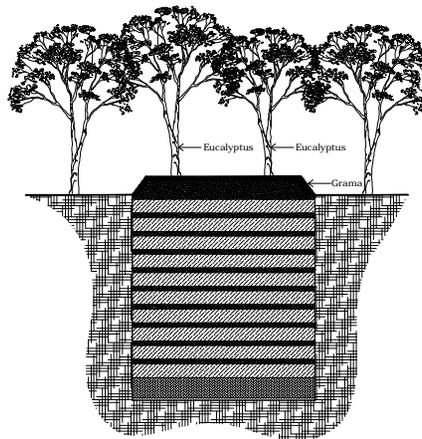
**SECCION DE TRINCHERA CONSTRUIDA**

ESCALA 1:50



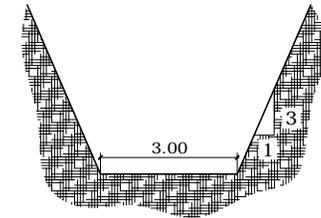
**SECCION TERMINADA DE TRINCHERA**

ESCALA 1:50



**RECUPERACION DE TRINCHERA TERMINADA**

ESCALA 1:50



Minimo en quebrada Grande

**SECCION TIPICA DE QUEBRADA MODIFICADA**

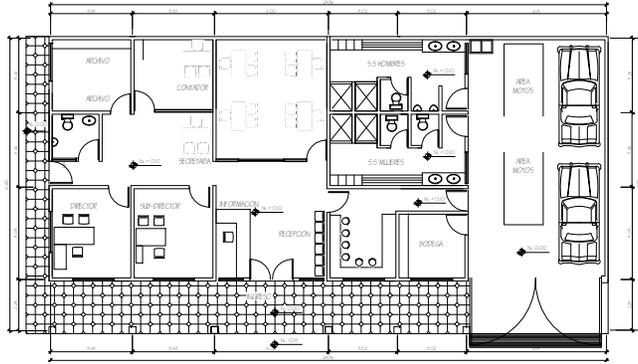
ESCALA 1:50



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
MANIFIESTO DE ALUMNOS

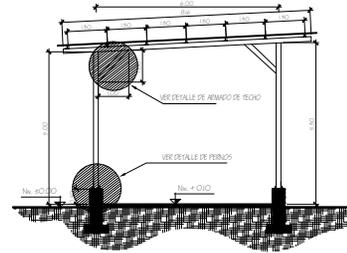
NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JUAN PABLO	SECCION: 1001
CURSO: INGENIERIA CIVIL	FECHA: 2020
TITULO: JOSE ALVARO GARCIA SANCHEZ	
FECHA: JOSE ALVARO GARCIA SANCHEZ	





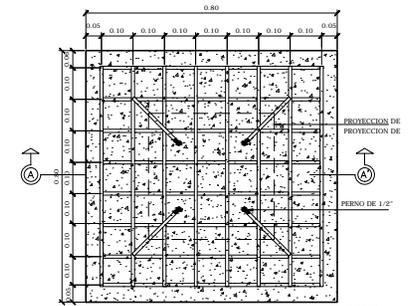
**PLANTA AMUEBLADA**

ESCALA: 1/50



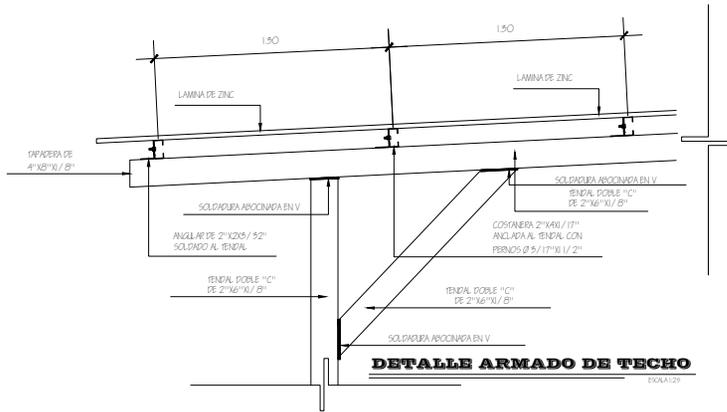
**Seccion de Tipica de Galeras**

ESCALA: 1/50



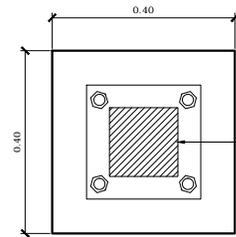
**PLANTA ZAPATA Z-1**

ESCALA: 1/10



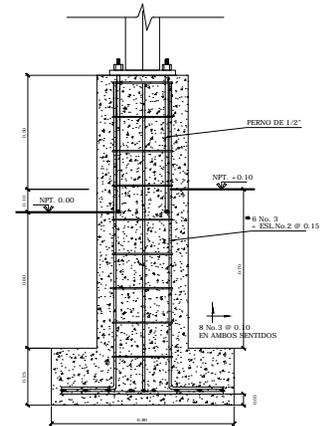
**DETALLE ARMADO DE TECHO**

ESCALA: 1/20



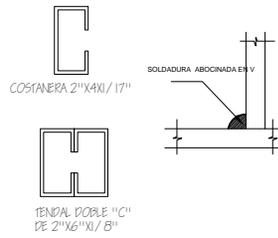
**COLUMNA C-2**

ESCALA: 1/5



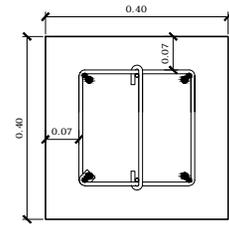
**DETALLE ZAPATA SECCION A-A'**

ESCALA: 1/10



**COSTANERA 2\"/>**

**TENDAL DOBLE \"/>**



**COLUMNA C-2**

ESCALA: 1/5

- PERNO DE 1/2"
- 4 No. 3
- 2 No. 5
- + ESL. No. 2 @ 0.15

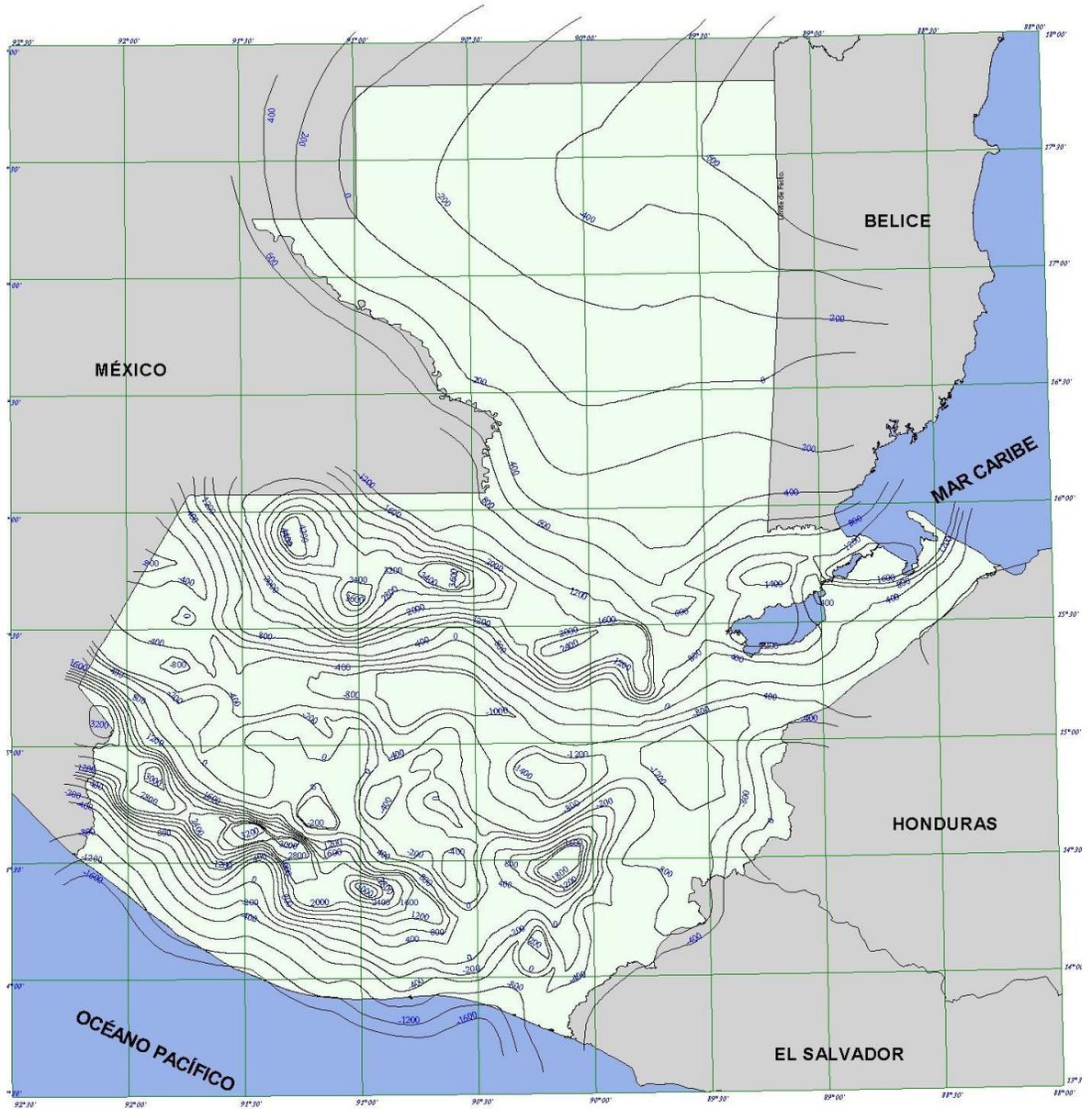
	UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FES FACULTAD DE INGENIERIA MANIFIESTO DE GRADUADO		
	NOMBRE DEL ESTUDIANTE: <b>JOSE ALVARADO JACOB SANDOVAL</b>	NOMBRE DEL TITULO: <b>INGENIERIA</b>	
INSTITUCION: <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>		FECHA: <b>16 de Mayo 2020</b>	FIRMAS:
FIRMA DEL ESTUDIANTE: <b>JOSE ALVARADO JACOB SANDOVAL</b>		FIRMA DEL TITULO:	

## **ANEXOS**



# Mapa de Balance Hídrico República de Guatemala

1  
8

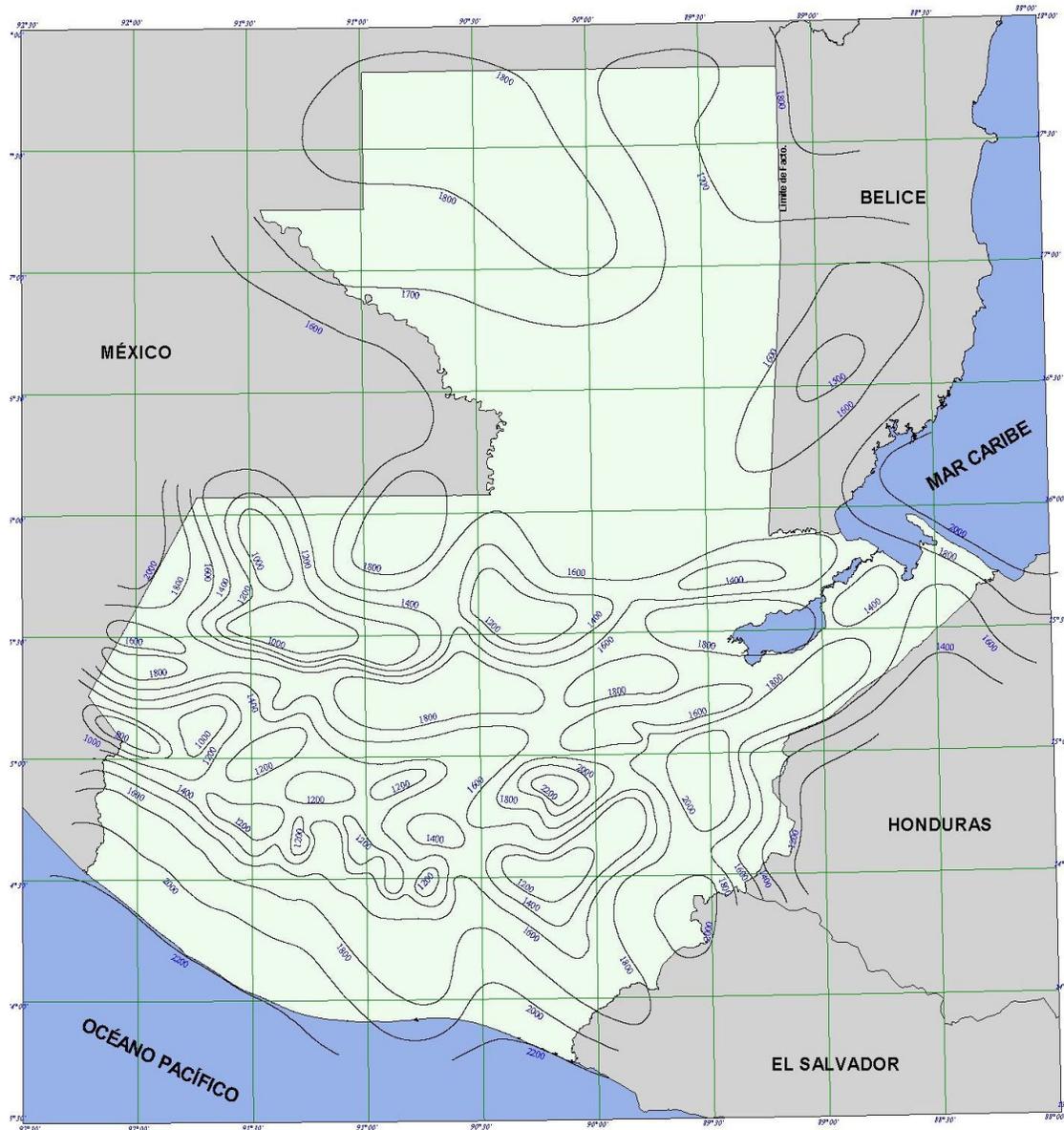


∩ Balance Hídrico (mm)

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH)



## Mapa de Evapotranspiración Potencial República de Guatemala

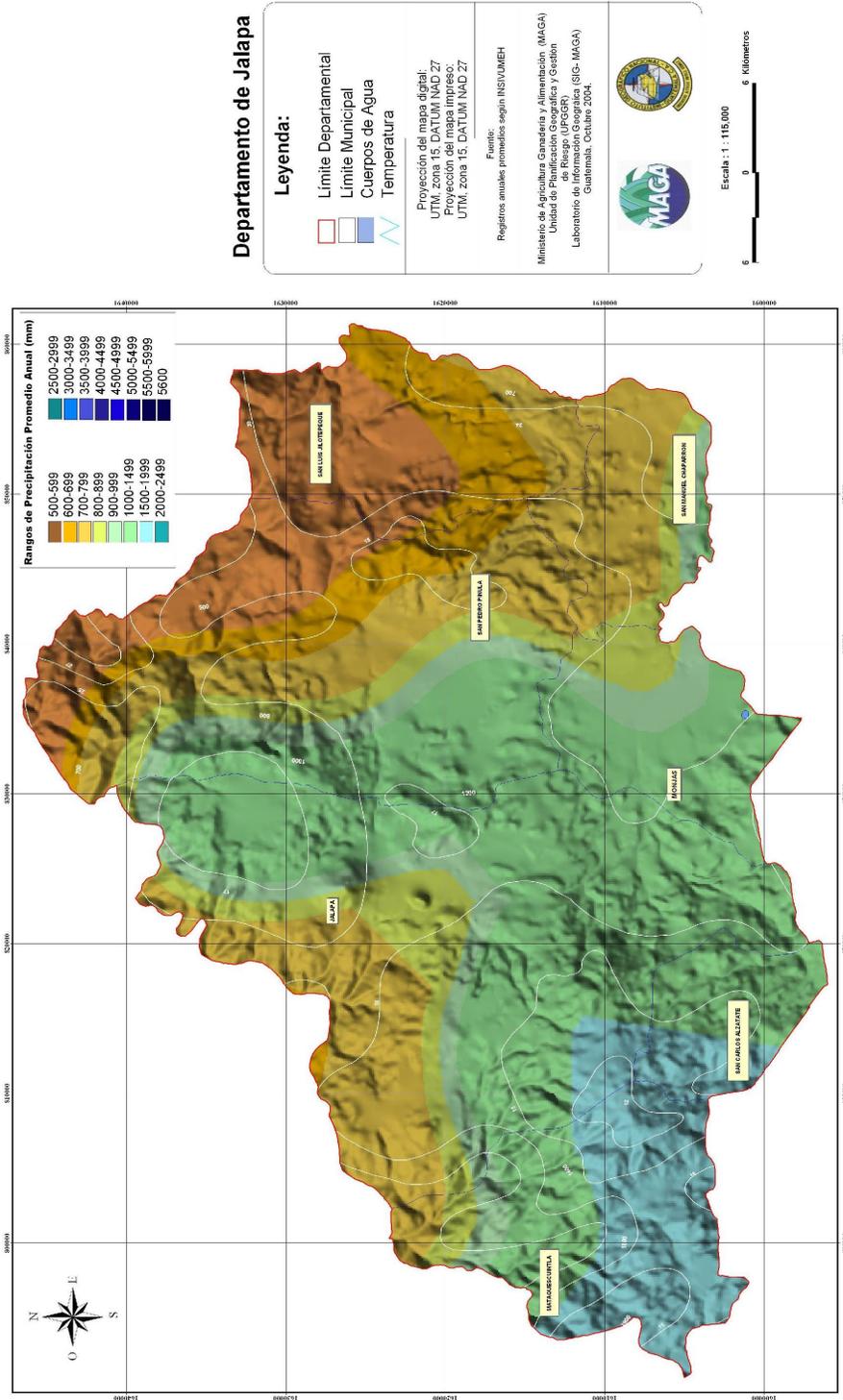


∩ Evapotranspiración Potencial (mm)

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH)



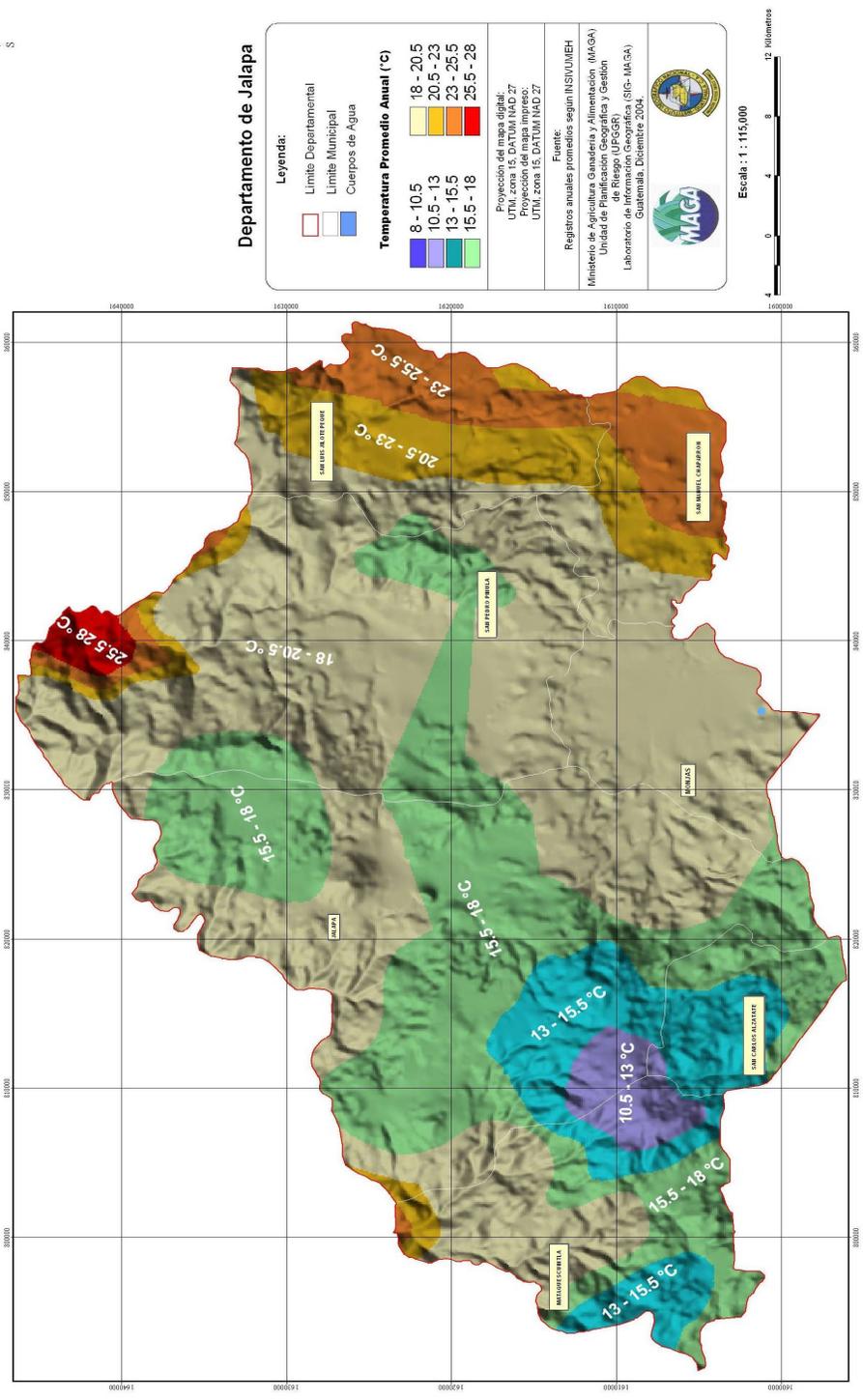
# MAPA CLIMATICO (Precipitación y Temperatura promedio Anuales)



Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación ( MAGA)



# Mapa de Temperatura Media Anual



Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación ( MAGA)

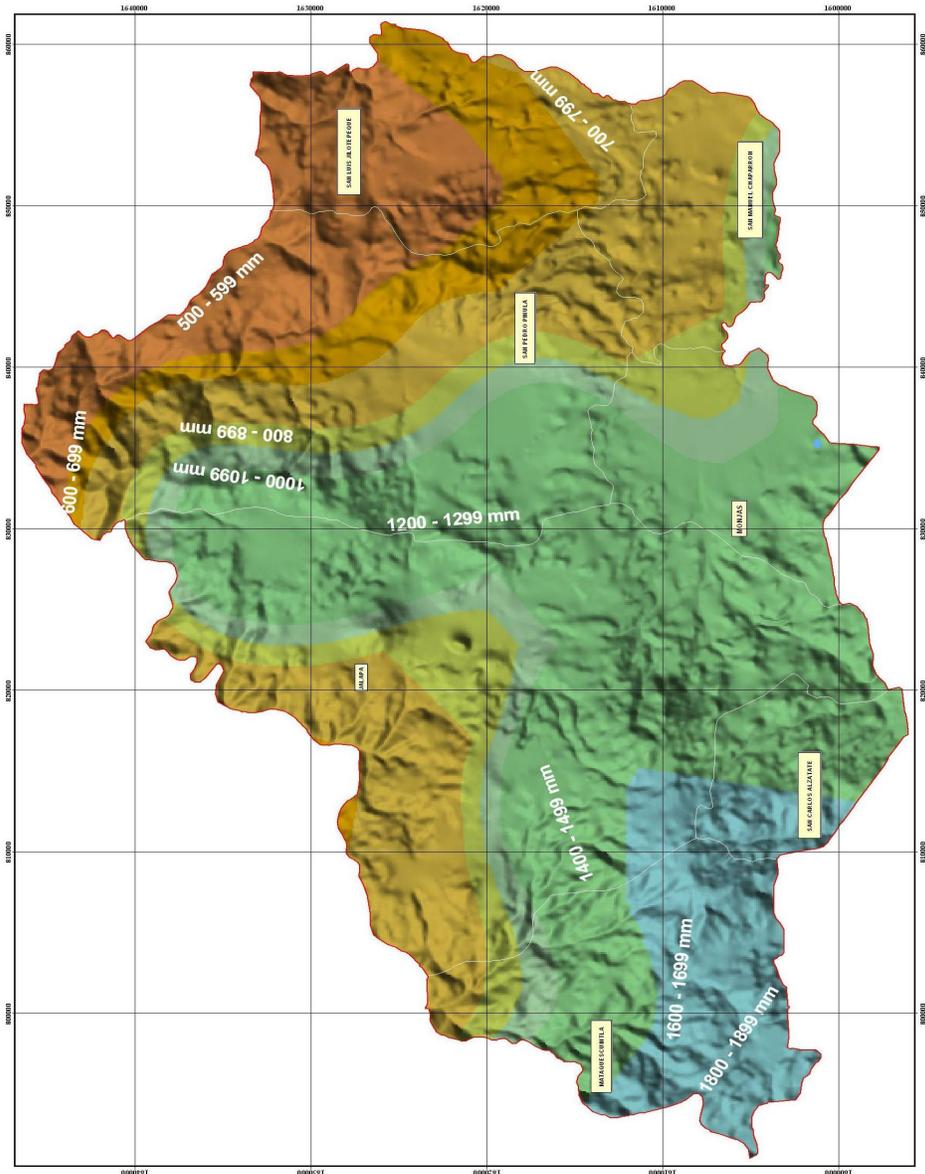








# Mapa de Precipitación Media Anual



## Departamento de Jalapa

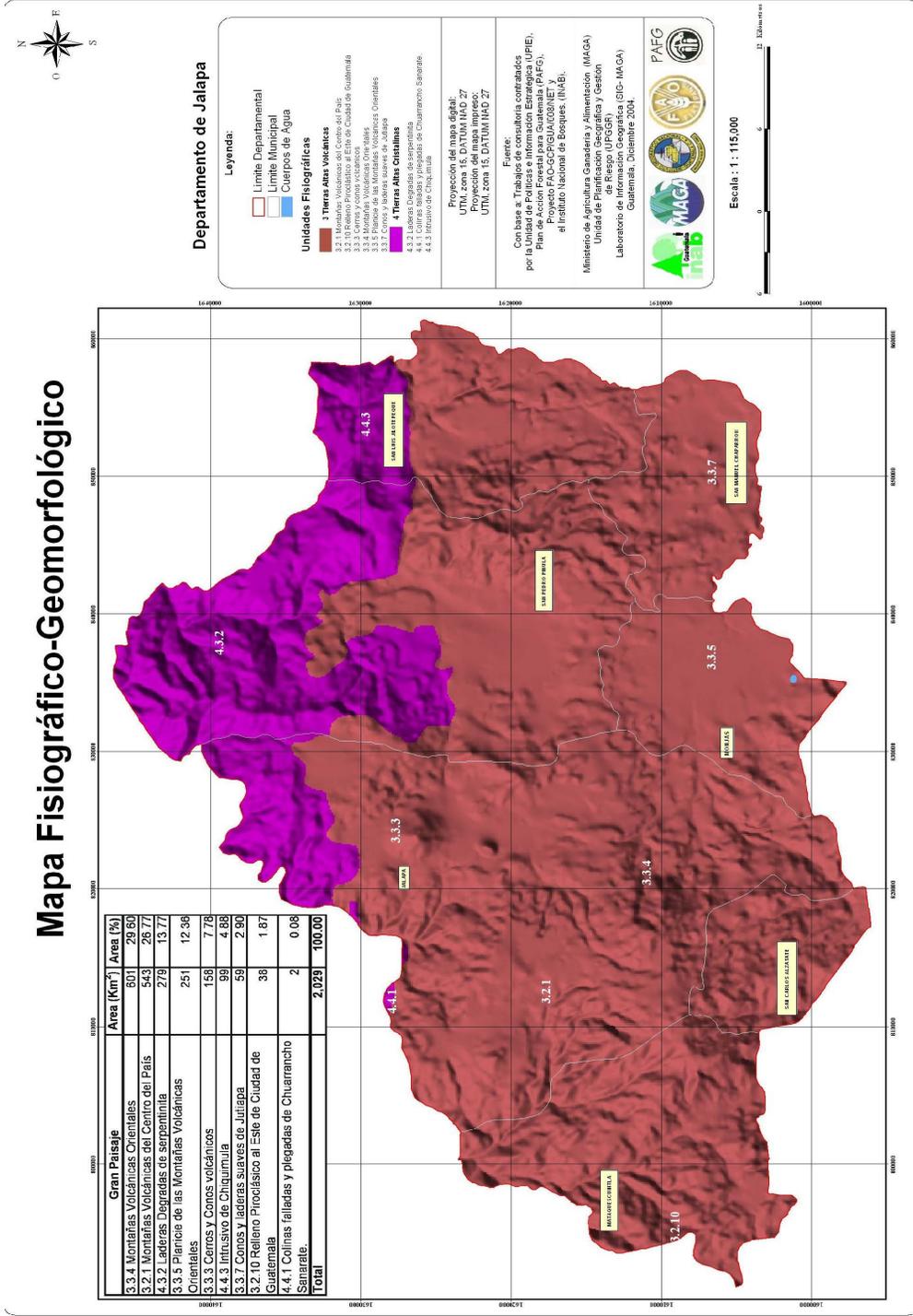
<b>Legenda:</b> Limite Departamental Limite Municipal Cuerpos de Agua	
<b>Rangos de Precipitación Promedio Anual (mm)</b> 500-599    900-999 600-699    1000-1499 700-799    1500-1899 800-899    2000-2499	
Proyección del mapa digital: UTM, zona 15, DATUM NAD 27 Proyección del mapa impreso: UTM, zona 15, DATUM NAD 27	
<b>Fuente:</b> Registros anuales promedios según INSIVUMEH Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UFGGR) Laboratorio de Información Geográfica (SIG- MAGA) Guatemala, Diciembre 2004.	



Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación ( MAGA)



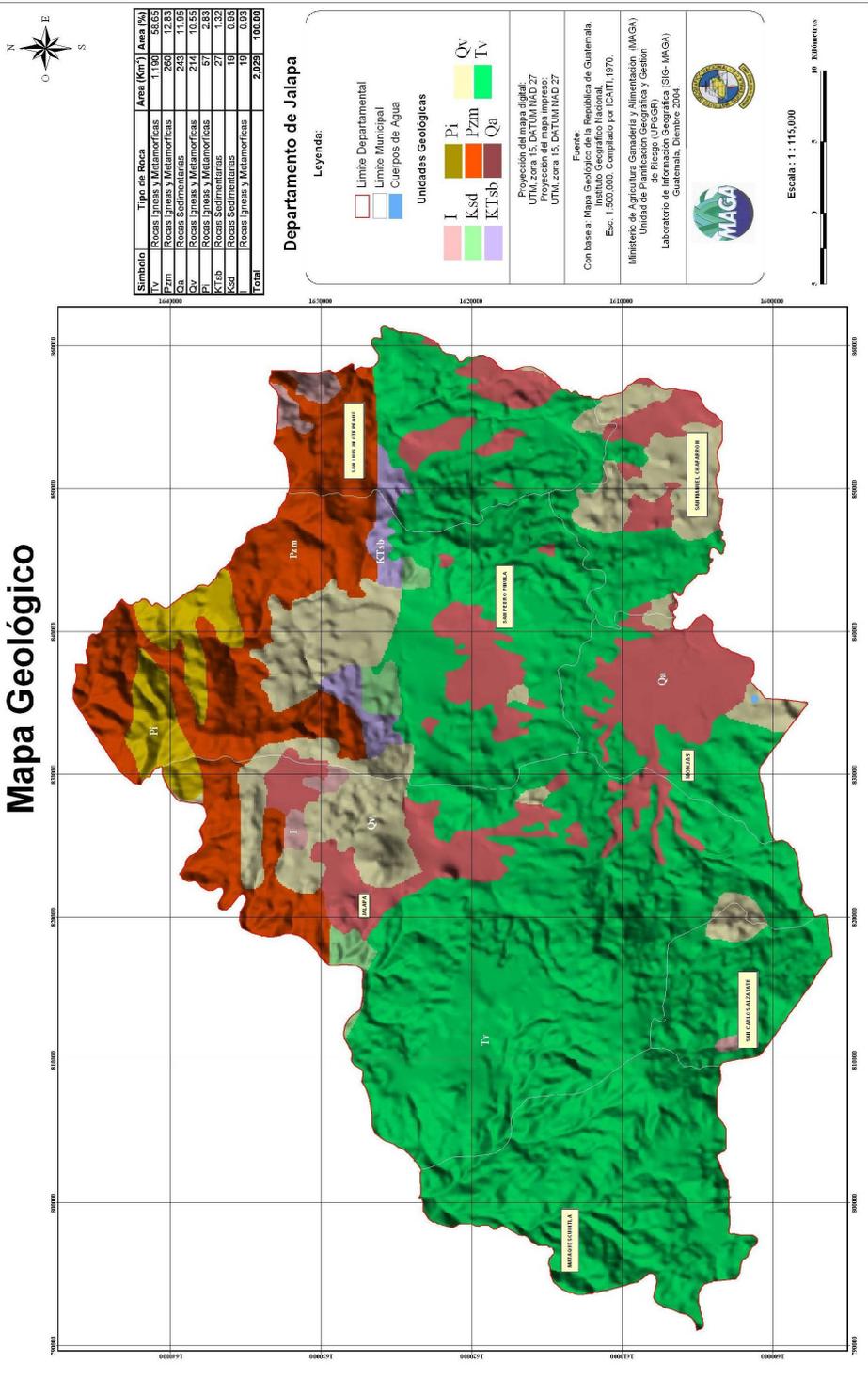
# Mapa Fisiográfico-Geomorfológico



Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA)



# Mapa Geológico



Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA)







