



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

**RELLENO SANITARIO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS  
DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE MATAQUESCUINTLA,  
DEPARTAMENTO DE JALAPA**

**CARLOS ALFREDO PADILLA LEMUS**  
**Asesorado por Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta**

Guatemala, octubre de 2005

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**RELLENO SANITARIO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS  
SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE MATAQUESCUINTLA, DEPARTAMENTO DE  
JALAPA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR**

**CARLOS ALFREDO PADILLA LEMUS**

**ASESORADO POR  
ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**

**INGENIERO CIVIL**

**GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Videz Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADOR	Ing. Angel Roberto Sic García
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **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:

### **RELLENO SANITARIO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE MATAQUESCUINTLA, DEPARTAMENTO DE JALAPA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil con fecha 12 de agosto de 2004.

Carlos Alfredo Padilla Lemus

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EPS. MAOSUP. 031.2005

Guatemala,  
1 de septiembre de 2005

Ingeniero  
Ángel Roberto Sic García  
Coordinador de EPS  
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS  
Facultad de Ingeniería  
USAC

Respetable Ingeniero Sic García.

Por medio de la presente, envío a usted el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), titulado: RELLENO SANITARIO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE MATAQUESCUINTLA, DEPARTAMENTO DE JALAPA.

Este trabajo lo desarrolló el estudiante CARLOS ALFREDO PADILLA LEMUS quien fue asesorado y supervisado por el suscrito.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley, solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente.

"¡D Y ENSEÑAD A TODOS!"

  
Ing. Manuel Alfredo Arriyillaga Ochoaeta  
Supervisor de EPS



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 05 de septiembre de 2005  
Ref. EPS. C. 319.09.05

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Escobar Alvarez.

Por este medio atentamente le envío el informe final, correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.) titulado: "RELLENO SANITARIO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE MATAQUESCUNTLA, DEPARTAMENTO DE JALAPA".

Este trabajo lo desarrolló el estudiante universitario CARLOS ALFREDO PADILLA LEMUS quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

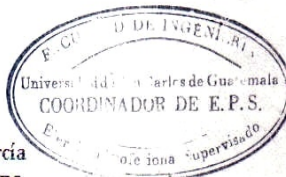
Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de Ley del referido trabajo y existiendo la APROBACION DEL MISMO por parte del Asesor y Supervisor, ESTA COORDINACIÓN TAMBIÉN APRUEBA SU CONTENIDO; solicitándole darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Angel Roberto Sic Garcia  
Coordinador Unidad de EPS



cc. Archivo  
ARSG/jm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 10 de octubre de 2005

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Escobar Álvarez.

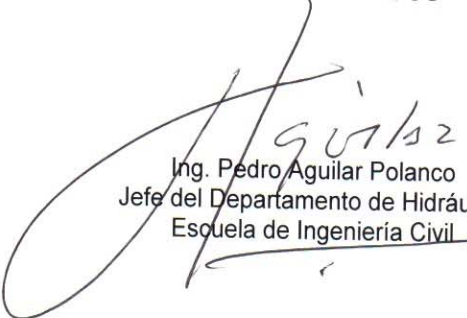
Atentamente y por este medio, envío a usted, el trabajo de graduación, titulado: **"RELLENO SANITARIO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE MATAQUESCUINTLA, DEPARTAMENTO DE JALAPA"**. Este trabajo lo desarrollo el estudiante **Carlos Alfredo Padilla Lemus**.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la **APROBACIÓN DEL MISMO**, por parte del Asesor, así como del Coordinador de (E.P.S.); y *habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas*, el suscrito lo da **POR APROBADO**; solicitándole darle el tramite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Pedro Aguilar Polanco  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería Civil



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor, Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta y del Coordinador de E.P.S. Ing. Ángel Roberto Sic García, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Alfredo Padilla Lemus, titulado RELLENO SANITARIO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE MATAQUESCINTLA, DEPARTAMENTO DE JALAPA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez



Guatemala, octubre de 2005.

/bbdeb.



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 439-2005.

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: **RELLENO SANITARIO Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE MATAQUESCUINTLA, DEPARTAMENTO DE JALAPA**, presentado por EL estudiante universitario **Carlos Alfredo Padilla Lemus** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, octubre 13 de 2,005



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por iluminarme y guiarme en todo momento y por ser de quien valemos.

### **Mis padres**

Carlos Enrique Padilla Regalado.

Edna Crimilda Lemus de Padilla.

Por su apoyo y sacrificio en el trayecto de mi carrera.

### **Mis abuelitos**

Que Dios los tenga en lo más bonito del cielo.

### **Mis hermanos**

Danilo, Manrique, Jayron, Elías, Aleida Magaly.

Por su aprecio y cariño.

### **Mis sobrinos**

Con mucho cariño y aprecio.

### **Mi familia en general**

Con mucho cariño y afecto.

### **Mis amigos, compañeros de estudio y trabajo**

Aprecio y gratitud.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Dios**

Por darme la sabiduría y haber permitido culminar mi carrera.

### **Mi hermano**

Elías Padilla Lemus

Por su valiosa ayuda en todo momento a este trabajo de graduación.

### **Mi asesor**

Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga

Por su valiosa asesoría a este estudio.

### **La Municipalidad de Mataquescuintla**

Por su apoyo y colaboración en el desarrollo de mi Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

### **Distinguida vecina de Mataquescuintla**

Sra. Marina Durán por su ayuda y hospitalidad.

### **Mis amigos**

Ing. Javier Rodríguez, Daniel Aragón y Josué Rodríguez, por su valiosa ayuda en este estudio.

### **La Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por ser el templo del conocimiento.

### **La Facultad de Ingeniería**

Por formarme como Profesional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI

### 1. INFORMACIÓN DEL MUNICIPIO

<b>1.1 Marco general.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Antecedentes históricos.....	1
1.1.2 Localización.....	2
1.1.3 Extensión territorial.....	3
1.1.4 Clima.....	3
1.1.5 Orografía y fisiografía.....	3
<b>1.2 División política administrativa.....</b>	<b>4</b>
1.2.1 División política.....	4
1.2.2 División administrativa.....	9
<b>1.3 Recursos naturales.....</b>	<b>10</b>
1.3.1 Suelo.....	10
1.3.2 Bosques.....	11
1.3.2.1 Bosque húmedo subtropical templado.....	11
1.3.2.2 Bosque muy húmedo subtropical frío.....	11

1.3.2.3	Bosque húmedo bajo montano bajo subtropical..	12
1.3.2.4	Bosque muy húmedo montano bajo subtropical...	12
1.3.3	Minas y canteras.....	12
1.3.4	Hidrografía.....	13
1.3.4.1	Vertientes.....	13
1.3.4.2	Corrientes térmicas medicinales.....	14
1.3.4.3	Ríos.....	14
1.3.4.4	Riachuelos.....	14
1.3.4.5	Quebradas.....	14
1.3.4.6	Laguneta.....	15
<b>1.4</b>	<b>Demografía y situación social.....</b>	<b>15</b>
1.4.1	Población.....	15
1.4.1.1	Población por área geográfica.....	16
1.4.1.2	Población económica activa (PEA).....	16
1.4.1.3	Migración y emigración.....	16
1.4.1.4	Idioma.....	17
1.4.1.5	Religión.....	17
1.4.2	Tipo de vivienda.....	17
1.4.3	Vías de acceso.....	18
<b>1.5</b>	<b>Análisis de situación actual.....</b>	<b>18</b>
1.5.1	Localización de tiraderos.....	19
1.5.2	Educación ambiental y sanitaria de la comunidad.....	19
1.5.3	Organización y situación financiera del servicio de recolección.....	19
1.5.3.1	Servicio domiciliar municipal y privado.....	20
1.5.4	Peso, tipo y volumen de la basura de las áreas públicas.....	20

## **2. SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

<b>2.1 Aspectos del relleno sanitario</b> .....	21
2.1.1 Marco conceptual.....	21
2.1.2 Definición de relleno sanitario.....	21
2.1.3 Métodos de relleno sanitario.....	21
2.1.3.1 Método de trinchera.....	22
2.1.3.2 Método de Área.....	23
2.1.3.3 Combinación de trinchera y área.....	27
2.1.3.4 Método de pozo.....	27
2.1.4 Principios básicos de un relleno sanitario.....	28
2.1.5 Ventajas de un relleno sanitario.....	29
2.1.6 Desventajas de un relleno sanitario.....	30
2.1.7 Líquido percolado o lixiviados.....	32
2.1.8 Drenaje de gases.....	33
2.1.9 Material de cobertura.....	34
<b>2.2 Consideraciones de diseño para un relleno sanitario</b> .....	35
2.2.1 Planeación.....	36
2.2.2 Selección del sitio.....	37
2.2.2.1 Participación comunitaria.....	37
2.2.2.1.1 Autoridades locales.....	37
2.2.2.1.2 Opinión pública.....	39
2.2.2.2 Aspectos técnicos.....	39
2.2.2.2.1 Localización.....	39
2.2.2.2.2 Vías de acceso.....	40
2.2.2.2.3 Condiciones hidrogeológicas.....	40
2.2.2.2.4 Vida útil del terreno.....	41
2.2.2.2.5 Material de cobertura.....	41
2.2.2.2.6 Conservación de los recursos naturales..	42

2.2.2.2.7	Condiciones climatológicas.....	42
2.2.2.2.8	Costos.....	43
2.2.2.2.9	Propiedad del terreno.....	43
2.2.2.2.10	Limitaciones y uso del suelo.....	43
2.2.2.2.11	Uso en el futuro.....	44
2.2.2.3	Metodología para la selección.....	44
2.2.2.3.1	Análisis preliminar.....	44
2.2.2.3.2	Investigación de campo.....	44
2.2.2.4	Pasos para el diseño, construcción y operación.	
2.2.2.4.1	Estudio de campo y diseño.....	45
2.2.2.4.2	Preparación del terreno y construcción de obras.....	46
2.2.2.4.3	Operación y mantenimiento.....	47
2.2.2.4.4	Actividades del proyecto....	48
2.2.2.4.5	Incluye en el proyecto de relleno .....	49
2.2.2.4.5.1	Levantamiento topográfico.....	49
2.2.2.4.5.2	Diseño del proyecto.....	49
2.2.2.4.5.3	Detalles del proyecto.....	50
<b>2.3</b>	<b>Diseño del relleno sanitario.....</b>	<b>51</b>
2.3.1	Información básica.....	51
2.3.2	Aspectos demográficos.....	51
2.3.2.1	Población.....	51
2.3.2.2	Proyección de la población.....	52
2.3.3	Aspectos generales de los desechos sólidos.....	53
2.3.3.1	Composición.....	53
2.3.3.2	Producción per capita.....	57
2.3.3.3	Producción total.....	58
2.3.3.4	Proyección de la producción total.....	59
2.3.3.5	Densidad.....	59



2.3.4	Cálculo del volumen necesario.....	60
2.3.5	Volumen de residuos sólidos.....	60
2.3.6	Volumen del relleno necesario.....	61
2.3.7	Cálculo del área requerida.....	62
2.3.8	Selección del método.....	64
2.3.9	Capacidad volumétrica del sitio.....	65
2.3.10	Cálculo de la vida útil.....	66
2.3.11	Cálculo de la celda.....	67
2.3.12	Descripción de las características del relleno sanitario..	71
2.3.12.1	Ubicación.....	71
2.3.12.2	Área destinada a la disposición final del relleno sanitario.....	71
2.3.12.3	Cantidad y composición de los residuos sólidos tratados en el relleno sanitario.....	72
2.3.12.4	Características del relleno sanitario.....	73
2.3.12.4.1	Infraestructura de control de entrada y salida.....	73
2.3.12.4.2	Vías de circulación.....	73
2.3.12.4.3	Módulos y celdas de disposición final.....	73
2.3.12.4.4	Sistema de monitoreo y control.....	74
2.3.12.4.5	Sistema colector de lixiviados y planta de tratamiento de lixiviados.....	74
2.3.12.4.6	Sistema del drenaje de gases.....	75
2.3.12.4.7	Vida útil del relleno sanitario.....	75
2.3.12.5	Descripción de las actividades del relleno sanitario.....	75
2.3.12.5.1	Actividades de cierre de celdas y clausura de módulos.....	76
2.3.12.5.2	Aspectos hidrológicos.....	76

2.3.12.5.3	Balance hídrico.....	77
2.3.12.6	Características del suelo.....	80
2.3.12.7	Detalles propios del proyecto.....	81
<b>2.4</b>	<b>Consideraciones para el manejo de residuos sólidos y protección ambiental.....</b>	<b>94</b>
2.4.1	Tecnología de ingeniería ambiental.....	98
2.4.2	Estructura legal y organizativa.....	98
2.4.3	Cultura ambiental.....	99
2.4.4	Organización de empresas y administración financiera..	99
2.4.5	Usos productivos y aprovechamiento de los productos finales.....	100
2.4.6	Monitoreo y evaluación del proyecto.....	100
<b>2.5</b>	<b>Sistema de recolección de los desechos sólidos.....</b>	<b>102</b>
2.5.1	Investigación de desechos sólidos.....	102
<b>2.6</b>	<b>Costo del relleno sanitario.....</b>	<b>107</b>
2.6.1	Costo inicial.....	107
2.6.2	Costo de operación.....	108
2.6.3	Costo estimado recomendado para el municipio.....	109
2.6.4	Resumen de costos.....	109
2.6.5	Viabilidad económica.....	110
2.6.6	Cronograma de ejecución.....	111
<b>2.7</b>	<b>Operación y mantenimiento.....</b>	<b>113</b>
2.7.1	Operación de patio.....	113
2.7.2	Clasificación y descarga.....	116
2.7.3	Comercio y retiro del subproducto clasificado.....	116
2.7.4	Mantenimiento.....	116
<b>2.8</b>	<b>Riesgo y vulnerabilidad.....</b>	<b>119</b>
2.8.1	Alteración ambiental.....	119
2.8.2	Acción hídrica.....	120

2.8.3	Sismicidad.....	120
<b>2.9</b>	<b>Medidas de mitigación.....</b>	<b>121</b>
2.9.1	Sistema de evacuación de aguas lluvia.....	121
2.9.2	Manejo de aguas sub-superficial.....	121
2.9.3	Tratamiento de biogás.....	122
2.9.4	Tratamiento de lixiviados.....	122
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>123</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>125</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>127</b>
	<b>APÉNDICES.....</b>	<b>129</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>153</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Mapa de Mataquescuintla.....	7
2. Ubicación de la cabecera municipal de Mataquescuintla.....	8
3. Método de trinchera para construir un relleno sanitario.....	24
4. Método de área.....	25
5. Método de área para llenar depresiones.....	26
6. Combinación de método de trinchera y área.....	26
7. Presentación del proyecto ante las autoridades locales.....	38
8. Vías de acceso.....	40
9. Disponibilidad de material de cobertura.....	41
10. Dirección del viento.....	42
11. Estudios de campo y diseño para un relleno sanitario.....	45
12. Preparación del terreno y construcción de obras.....	46
13. Operación y mantenimiento.....	47
14. Detalles de la sección transversal del canal trapezoidal.....	80
15. Movimiento de tierras para la preparación del sitio.....	84
16. Cortes de los taludes y del suelo soporte.....	85
17. Distribución del sistema de drenaje de lixiviado.....	87
18. Conformación del perfil del terreno.....	88
19. Conformación de las terrazas de los desechos sólidos.....	89
20. Método constructivo del drenaje de gases.....	91
21. Interconexión de drenajes, corte de terrazas.....	92

22. Detalle constructivo del filtro para drenajes de gases.....	93
23. Distribución de las chimeneas en el relleno.....	93
24. Proceso de los residuos sólidos municipales.....	106
25. Perfil esquemático del relleno sanitario.....	134
26. Drenajes de aguas de lixiviados.....	135
27. Drenajes de gases.....	136
28. Sistema de tratamiento de lixiviados.....	137
29. Tipos de desechos sólidos.....	138
30. Conformación de las piedras en los drenajes .....	139
31. Fotografías de botadero a cielo abierto.....	140
32. Polígono del terreno.....	143
33. Curvas de nivel.....	144
34. Secciones .....	145
35. Cortes A-A',B-B',C-C'.....	146
36. Volumen a rellenar de desechos sólidos.....	147
37. Perfil esquemático.....	148
38. Sistema de drenajes del relleno sanitario.....	149
39. Mapa de la cabecera municipal de Mataquescuintla.....	150
40. Rutas de recolección de los desechos sólidos.....	151
41. Mapa de red hidrológica.....	160
42. Mapa de cuencas y vertientes de Guatemala.....	161
43. Mapa de evapotranspiración potencial de Guatemala.....	162
44. Mapa de precipitación promedio anual de Guatemala.....	163
45. Mapa de fisiografía-geomorfológico de Guatemala.....	164
46. Mapa de balance hídrico de Guatemala.....	165
47. Mapa de estaciones meteorológico de Guatemala.....	166
48. Mapa geológico de Guatemala.....	167
49. Mapa de amenazas de sismos de Guatemala.....	168
50. Vista satelital de Mataquescuintla.....	169

51. Mapa de base de Jalapa.....	170
52. Mapa de series de suelos Jalapa.....	171
53. Mapa de precipitación media anual Jalapa .....	172
54. Mapa geológico de Jalapa .....	173
55. Mapa fisiográfico, geomorfológico de Jalapa.....	174
56. Mapa de cuencas hidrográficas de Jalapa.....	175

## TABLAS

I. Costo inicial.....	107
II. Costo de operación.....	108
III. Resumen de costos.....	109
IV. Vialidad económica.....	110
V. Cronograma de ejecución.....	111
VI. Cálculo libreta topográfica del polígono.....	131
VII. Cálculo de nivelación.....	132
VIII. Cálculo volumen, área requerida y vida útil para los desechos sólidos a disponer en el relleno sanitario.....	133
IX. Caudal medio anual en la cuenca del río los esclavos.....	155
X. Velocidad del viento y lluvia en los últimos años.....	156
XI. Temperatura mínima absoluta y humedad relativa estación los esclavos.....	157
XII. Red de estaciones hidrológicas.....	158
XIII. Cuencas de la vertiente del pacífico.....	159





## GLOSARIO

<b>Aerobia</b>	Ser microscópico que necesita de oxígeno para subsistir.
<b>Anaerobia</b>	Seres microscópicos que no necesitan para vivir oxígeno.
<b>Arcillas</b>	Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas, con diámetro menor de 0.002mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.
<b>Biodegradable</b>	Cualidad que tiene la materia de tipo orgánico, para ser metabolizada por medios biológicos y otros.
<b>Biodiversidad</b>	Contracción de la expresión, diversidad biológica, expresa la variedad o diversidad del mundo biológico. En su sentido más amplio biodiversidad, es casi sinónimo de vida sobre la tierra.
<b>Biogás</b>	Mezcla de gases, producto de la descomposición biológica, principalmente metano y gas carbónico, producto de la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica de los residuos sólidos.

<b>Celda</b>	El bloque unitario de construcción de un relleno sanitario.
<b>Celda diaria</b>	Áreas definidas donde se esparcen y compactan los residuos sólidos durante un día.
<b>Cubierta intermedia</b>	El estrato de material natural o sintético con que se cubre una franja o capa de residuos en un relleno sanitario.
<b>Cubierta final</b>	El revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario.
<b>Cuerpo de agua</b>	Arroyos, ríos, lagos y acuíferos, que conforman el sistema hidrográfico de una zona geográfica.
<b>Fisiografía</b>	Descripción de la tierra y de los fenómenos que en ella producen.
<b>Friable</b>	Que se deshace fácilmente.
<b>Impermeable</b>	Que no se deja atravesar por los cuerpos fluidos.
<b>Percolado</b>	Solución resultante de la disolución y suspensión de algunos constituyentes de los residuos en el agua que los atraviesa.
<b>Orografía</b>	Descripción de las montañas.

<b>Permeabilidad</b>	Que se deja atravesar por los cuerpos fluidos.
<b>Peso volumétrico</b>	El peso de los residuos sólidos contenidos en una unidad de volumen.
<b>Pirolisis</b>	Descomposición química obtenida mediante el calor.
<b>Proliferación</b>	Multiplicación de una célula por subdivisión.



## RESUMEN

El trabajo de graduación que a continuación se presenta muestra el diseño de un relleno sanitario y un sistema de recolección de los desechos sólidos, tomando en consideración los problemas de la contaminación ambiental por la mala disposición final de los desechos sólidos con el cual se espera resolver el problema planteado y mejorar las condiciones sanitarias y ambientales del lugar con los mecanismos de ingeniería que pretenden reducir los impactos negativos de los residuos en el medio ambiente.

El relleno sanitario está compuesto, básicamente, por una depresión en el terreno, el cual se debe tratar con capas de arcilla, el cubrimiento de capas de protección que procuran frenar la entrada de agua y, así, evitar la formación de más lixiviado, los desechos son esparcidos en capas finas sobre celdas impermeables donde son niveladas, compactadas y cubiertas, periódicamente.

Un sistema de recolección de líquidos lixiviados que consiste en drenajes de piedra en el fondo del relleno, el líquido que ingresa dentro de éstos y debido a la inclinación del terreno por gravedad es dirigido hacia la planta de tratamiento de líquidos y un sistema de recolección de gases.

En el municipio de Mataquescuintla se diseñó un relleno sanitario en un terreno con una área de 2,566.24 m<sup>2</sup>, el cual, por estar en una depresión, se usó el método de área, especificando su diseño de acuerdo a las normas del medio ambiente guatemalteco y centroamericano.



## **OBJETIVOS**

### **General**

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

### **Específico**

1. Desarrollar un proyecto de manejo de desechos sólidos y un sistema de recolección y disposición final de la basura para el municipio de Mataquescuintla.
2. Analizar el sistema de tratamiento de residuos sólidos, principalmente en el aprovechamiento, mediante recuperación y transformación.
3. Fomentar la participación de la comunidad en la solución integral del problema de la disposición final de los residuos sólidos.





## INTRODUCCIÓN

Los municipios del país tienen carencia de infraestructura en el tratamiento de los desechos sólidos y de servicios básicos, motivo por el cual las comunidades no han podido mejorar sus condiciones de vida.

El gran aumento de la población provoca problemas de salubridad que se reflejan en la contaminación del medio en que se habita por el mal manejo indebido de sus desechos sólidos.

El municipio de Mataquescuintla no es la excepción. La falta de un relleno sanitario, considerada como una técnica de ingeniería de disposición final de los desechos, minimizando los perjuicios al medio ambiente y los peligros para la salud de los habitantes.

En un relleno sanitario se intenta aislar los desechos y controlar los lixiviados y biogás que se generan y que tienden a fluir fuera del relleno, evitando impacto ambiental adverso.

El trabajo está orientado a plantear soluciones al realizar el diseño de un relleno sanitario y sistema de recolección de los desechos sólidos 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 demás factores físicos y materiales hacen del municipio de Mataquescuintla un lugar próspero, principalmente en las actividades agrícolas, agropecuarias, artesanales y comerciales.

### **1.1.1 Antecedentes históricos**

Los primeros pobladores fueron originarios de la tribu de los Pipiles, de descendencia Nahoá, emigrantes aztecas que posteriormente se establecieron en el territorio salvadoreño. En 1837 estando de gobierno federal de Centroamérica el general Francisco Morazán, se produjo un levantamiento indígena en Mataquescuintla de unos diez mil habitantes, encabezado por un joven exsoldado del ejército servil, Rafael Carrera; se unieron a contingentes conservadores sublevados en antigua y tomaron la ciudad de Guatemala, el 2 de febrero de 1838, derrocando al liberal radical Mariano Gálvez; como jefe de estado Carrera entró triunfalmente en la capital en compañía del excaudillo liberal Francisco Barrundia y otros prominentes conservadores.

Mataquescuintla formó parte del distrito de Mita y el 25 de Febrero de 1848, al ser dividido éste en tres, pasó al distrito de Santa Rosa, después fue agregado el 3 de Septiembre de 1935 y trasladado a la jurisdicción de Jalapa, a donde pertenece en la actualidad, el 29 de Octubre de 1850 fue elevado a la categoría de Villa.

No se conoce con certeza el significado de la palabra Mataquescuintla, sin embargo, se cree que se origina de las conjunciones de la voz “Matatl” que significa bolsa, red o mátate de pita y del vocablo “Istscuintli” para dominar a cierta clase de perro nativo (Tepezcuintle).

Otra versión refiere que el pueblo se llamó primitivamente izquitepeque nombre pipil que significa “cerro de los perros”, probablemente porque en las montañas se criaban muchos tepezcuintles.

En el lenguaje popular Mataquescuintla es conocida como “Colis” o San Miguel de Colis, nombre legado por los españoles por haber sido ellos los que iniciaron la siembra de la coliflor y otras legumbres.

### **1.1.2 Localización**

El municipio de Mataquescuintla se encuentra situado en la zona oriental de Guatemala, en jurisdicción del departamento de Jalapa; se encuentra a una distancia de 74 kilómetros carretera de terracería, desde la ciudad capital, acceso vía San José Pinula. 104 kilómetros, acceso vía Barberena, Nueva Santa Rosa, Casillas, San Rafael las Flores. Acceso por la cabecera está a 218 Km. desde la ciudad capital.

#### **Colindancias**

AL NORTE: con los municipios de Sanarate y Sansare del departamento del Progreso, Palencia, Guatemala y con la cabecera municipal de Jalapa.

AL ESTE: con San Carlos Alzatate de Jalapa y San Rafael las Flores de Santa Rosa.

AL OESTE: con Santa Rosa de Lima, Santa Rosa y San José Pinula, Guatemala.

AL SUR: con Santa Rosa de Lima, Nueva Santa Rosa, Casillas y San Rafael las Flores, del departamento de Santa Rosa.

Geográficamente está comprendido entre los paralelos, 14 grados 19 minutos, 14 grados 40 minutos al norte del Ecuador y de los meridianos, 90 grados 07 minutos y 90 grados 17 minutos al Oeste de Greenwich, con altitudes que varían de los 1,070 a los 2,653 metros de altura sobre el nivel de mar.

### **1.1.3 Extensión territorial**

La extensión territorial es de 287 kilómetros cuadrados. El municipio de Mataquescuintla ocupa dentro del departamento de Jalapa, el tercer lugar en cuanto a extensión, después de la cabecera de Jalapa y de San Pedro Pinula.

### **1.1.4 Clima**

Posee un clima templado; su temperatura en promedio es de 18.4 grados centígrados mínima y de 20 grados centígrados máxima. En los meses de marzo y abril se intensifica el calor, principalmente en las aldeas de Agua Caliente, Sampaquisoy y Morales. En los meses de enero, junio y julio predomina el frío, sus aldeas más afectadas son Soledad Grande, Soledad Colorado, El Aguacate y Pino Dulce. La humedad relativa anual es del 75 % en los meses de marzo y abril y baja a 71 % en el mes de septiembre, la precipitación promedio anual es de 1499 mm.

### **1.1.5 Orografía y fisiografía**

Está asentado sobre estribaciones montañosas que son una extensión de la Sierra Madre, que toma diferentes nombres como Peña Oscura, Cerros Usheges, Santiago, Sanjomo, El Tenosco, El Refugio, Corralitos, Cerro Alto y Cerro la Canoa, considerados parte del altiplano central.

Las estribaciones montañosas en donde se ubica el municipio, favorecen la realización de actividades productivas como la crianza de ganado bovino lechero, cultivos de café, papa y brócoli.

La cabecera municipal está asentada sobre el ensanchamiento de un valle fluvial llamado caño del río morito, que se extiende hacia el municipio de San Rafael Las Flores. Así mismo se encuentra rodeada por formaciones orográficas que le dejan una salida al sur sobre la aldea Morales y otra al noreste con la aldea San Miguel.

De acuerdo a la metodología del Instituto Nacional de Bosques, la clasificación de la capacidad de uso de la tierra, el municipio se ubica en la región fisiográfica tierras altas volcánicas.

## **1.2 División político administrativa**

Se encuentra dividido político y administrativamente de la siguiente manera.

### **1.2.1 División política**

Se integra por la cabecera municipal con calidad de villa, 19 aldeas y 52 caseríos.

<b>Aldeas</b>	<b>Cantones</b>	<b>Caseríos</b>
Cabecera municipal	El Calvario	El Aguacatillo
	Elena	Las Morochas
	Barrios	San Granada
		Tenosquito
Morales		Río Dorado
		San Cristóbal
El Carrizal		Usheges

El Pajal  
San José la Sierra

La Esperanza  
Samororo

El Aguacate  
Soledad Colorado  
El Terrero

San Miguel  
Joya del Mora  
Sansupo

San Antonio las flores

La Joya  
Joyas del Cedro  
El Manzano  
Samurra

Cerro Pelón  
El Alto

Las Mercedes  
El Duraznito

Cuesta grande  
Tenosco  
San francisco  
El zarsal  
La Esperanza  
Joya Galana  
La Brea  
Las Moritas  
Los llanitos  
Agua Tibia  
Los Islaques  
Guachipilín  
Los Cedros  
Los Maqueyes  
San Isidro  
Los Arcos

Sampaquisoy

Agua caliente

Monte verde

Las brisas

Pino dulce

Soledad Grande

Los Lavaderos

Tunas

Bañadero

Los Revolorio

Cerró alto

Los Catalanes

El Morrito

Pueblo viejo

Las Ilusiones

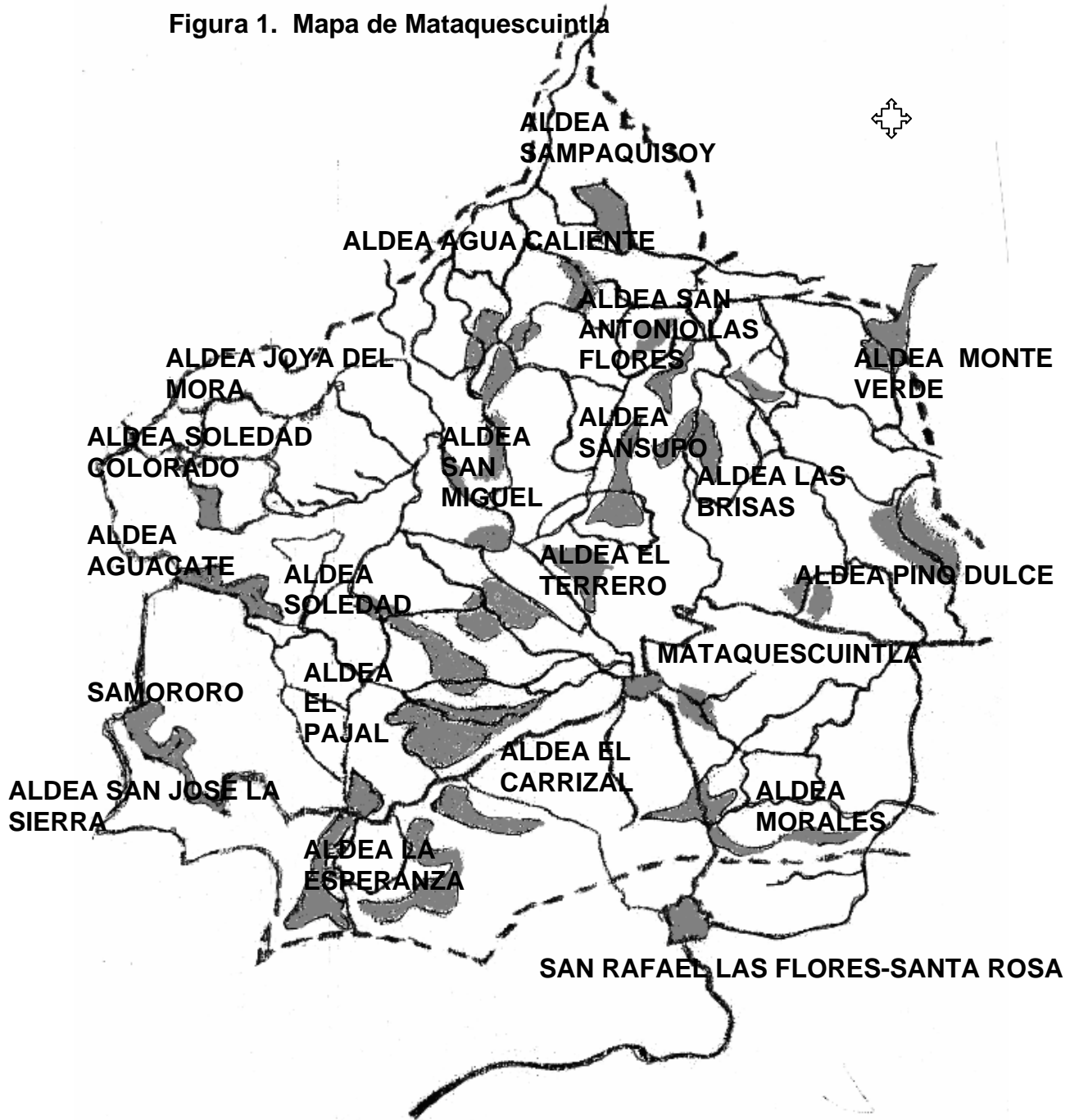
Ixpacagua

El refugio

Los Guisquiales



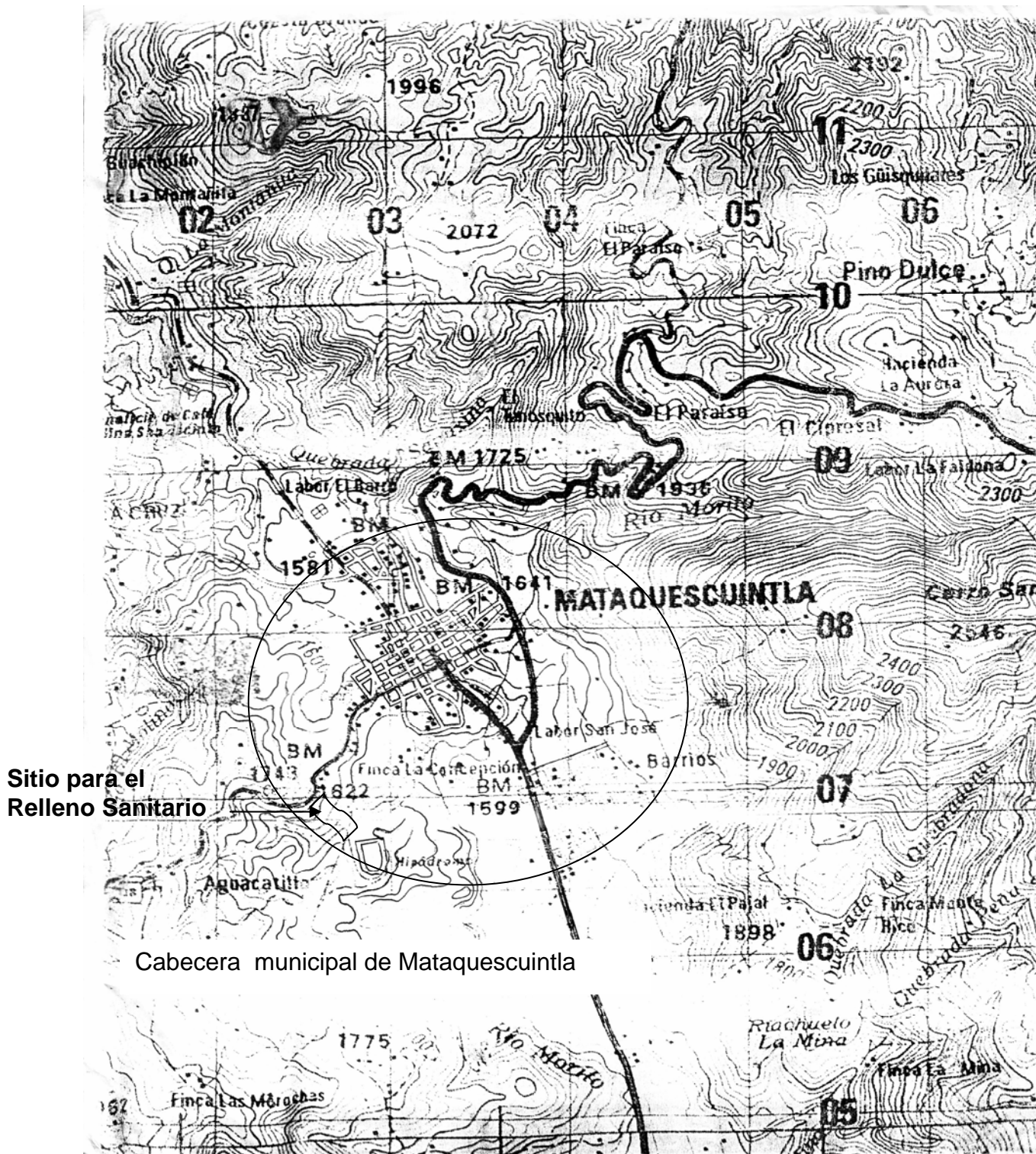
Figura 1. Mapa de Mataquescuintla



Ubicación de las aldeas de Mataquescuintla

Fuente: Centro de estudio informática compumaster, monografía del municipio de Mataquescuintla 2001.

**Figura 2. Localización de la cabecera municipal de Mataquescuintla**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Guatemala

### **1.2.2 División administrativa**

Se ejecuta a través de un concejo municipal electo cada cuatro años y las alcaldías auxiliares. El concejo municipal está organizado de la siguiente manera: el alcalde, los síndicos y los concejales, los dos últimos, elegidos de conformidad con el número de habitantes del municipio. A su vez colaboran en la identificación de necesidades locales, promueve la organización y la participación sistemática y efectiva de la comunidad en la identificación y solución de los problemas a través de sesiones con los alcaldes auxiliares.

Los alcaldes auxiliares están a cargo de la administración de las aldeas y duran en el ejercicio de sus funciones el periodo que determine la asamblea comunitaria, conforme el código municipal, el nombramiento del alcalde municipal con base a la designación o elección que hagan las comunidades de acuerdo a los principios, valores, procedimientos y tradiciones de las mismas.

Actualmente son dos síndicos y cuatro concejales, que fueron electos sobre la base del número de habitantes que es de 32,860 habitantes.

Entre las obras que la municipalidad ha realizado se mencionan proveer de infraestructura básica para llevar agua entubada a los hogares, la pavimentación de las principales calles y avenidas y el alumbrado público, drenajes caminos de terracería, reconstrucción de escuelas, aseo público.

### 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.

#### 1.3.1 Suelo

El 94% de los suelos de Mataquescuintla se asientan sobre materiales volcánicos y el 6% restante se encuentra sobre clases misceláneas, dentro del cual se ubica la cabecera municipal.

Existe una clasificación de suelos según Charles Simons (1959), en la que se destacan cinco series de suelos que existen en el municipio, la serie Ayarza, Comancha, Jalapa, Mataquescuintla y Pinula, descritas a continuación:

**Serie Ayarza:** se caracteriza por tener relieves escarpados y suelos con drenaje interno bueno, de color café oscuro, de textura franco limosa y de resistencia friable, subsuelo de color café oscuro, textura franco arcillo arenosa de consistencia friable, el material parental de ceniza volcánica de color claro.

**Serie Comancha:** relieves de ondulados a quebrados, y suelos con drenaje interno bueno, de color café muy oscuro y de consistencia friable, subsuelo de café amarillento, con textura franco arcillosa y de consistencia friable, material parental, ceniza volcánica de color claro.

**Serie Jalapa:** relieves escarpados y suelos con drenaje interno bueno; de color gris oscuro y de textura franco arenosa fina y de consistencia friable. Subsuelo de color amarillo grisáceo, con textura franco arcillo arenosa fina y de consistencia friable, material parental, ceniza volcánica de color claro.

**Serie Mataquescuintla:** Relieves escarpados y suelos con drenaje interno bueno; color café y de textura franco limosa de consistencia friable; con subsuelo de color café rojizo oscuro, con textura arcillosa y de consistencia friable, material parental, ceniza volcánica de color claro.

**Serie Pinula:** relieves escarpados y suelos con drenaje interno bueno; color café oscuro, de textura arcillosa y de consistencia friable.

Subsuelo de color rojizo pálido moteado, de consistencia plástica y de textura arcillosa. El material parental de estos suelos es de toba de color café claro. En el uso del suelo el 40% de la tierra es bien aprovechada, debido a la variedad de los productos que se cultivan y el 60% corresponde a áreas sub utilizadas, sobre utilizadas y área urbana.

### **1.3.2 Bosques**

La cuenca todavía presenta masas boscosas considerables con potencialidad para el aprovechamiento de madera, leña, carbón y servicios ambientales como agua, biodiversidad y paisajes. Clasificados en los siguientes tipos.

#### **1.3.2.1 Bosque húmedo subtropical templado**

Ocupa el 16% del área del Municipio, equivalente a 17 kilómetros cuadrados, su temperatura anual varía entre 20 a 26 grados centígrados y una evapotranspiración potencial de 1220 mm. Dentro de la vegetación predomina: El pino colorado, roble, nance y hoja de lija.

#### **1.3.2.2 Bosque muy húmedo subtropical frío**

Posee las siguientes características: la precipitación pluvial varía entre 2,045 a 2,514 mm. Con biotemperaturas que van desde 16 a 23 grados centígrados y una evapotranspiración potencial de 610 mm. Entre las especies que se observan están: Liquidámbar, aguacatillo, pino triste, chupe, pimientillo, zapotillo y arrayán.

### **1.3.2.3 Bosque húmedo bajo montano bajo subtropical**

La precipitación pluvial varía entre 1,057 a 1,588 mm, con biotemperatura entre 15 a 23 grados centígrados y una evapotranspiración potencial de 915mm. Las especies que se encuentran son: pino triste, pino de ocote, aliso, duraznillo, palomar, capulín, madrón de tierra fría.

### **1.3.2.4 Bosque muy húmedo montano bajo subtropical**

Comprende el 35% de superficie, que equivale a 100 kilómetros cuadrados, se ubica en la parte central. La temperatura oscila entre 12.5 y 18.6 grados centígrados y una evapotranspiración potencial promedio de 0.35. La topografía es accidentada. Los géneros predominantes dentro de la vegetación lo constituyen el ciprés, el pino blanco, canac, pino triste, pino dulce, encinas, roble, cedro, salvia santa, caoba y pinabete. A estos terrenos se les puede dar un uso combinado, fitocultivo y bosques, son propios para la siembra de papa, maíz, trigo, cebolla, chile pimiento, repollo, zanahoria y frutas como manzana, durazno, pera y aguacate.

### **1.3.3 Minas y canteras**

Mataquescuintla descansa sobre una estructura geológica de formaciones de rocas ígneas de la era terciaria cretácica cuaternaria, son rocas intrusitas (granito, granodiarita, rocas platónicas relacionadas y rocas piríclásicas) en su mayoría de principios de la era cuaternaria y finales de la terciaria.

La Dirección General de Minerías e Hidrocarburos, registra los siguientes minerales metálicos y no metálicos, aunque en ocasiones se encuentra combinadas en porcentajes bajos, minerales metálicos: cobre, plata, zinc,

hierro, plomo, titanio, minerales no metálicos: calcio, caliza cristalizada y carbón.

La mina denominada Santiago Mercedes, se encuentran registrada desde el 29 de abril de 1909, ubicada a cuatro kilómetros del parque de la villa.

Ha pasado por múltiples sucesiones hasta quedar bajo la propiedad de minerales nacionales, S.A. subsidiaria de minnig company, los componentes metálicos por tonelada de esta explotación son cobre 5%, plomo 12%, hierro 18.3% níquel 15.2% y plata en mínimas cantidades 150 onzas por tonelada.

En la actualidad por falta de inversiones tecnológicas se encuentran temporalmente paralizada. La población de Mataquescuintla no ha tenido beneficios de esta actividad productiva, debido a que actualmente solo se tiene el estudio para la explotación de las minas y canteras existentes.

#### **1.3.4 Hidrografía**

El municipio posee una hidrografía determinada por numerosas corrientes superficiales, manantiales, etc., que forman dos vertientes definidas que desembocan en las cuencas de Motagua en el Océano Atlántico al norte y en el Océano Pacífico al sur. Tiene como frontera continental las estribaciones montañosas denominadas: El Aguacate, Bellotal, Sanjomo, La Sierra, Pino Dulce, Cerro Santiago y Soledad Grande.

##### **1.3.4.1 Vertientes**

El área norte recibe la corriente de los ríos: la Sierra, Ixtimpaj, los Vados, Río Plátanos, Colorado, Danta, Morito, San Juan, Tenosco, Uxtena, Sumuy, Poza Verde, Arizapa e Ixpacagua; la vertiente sur es alimentada por los ríos: Tepeltapa, Morita, Las Quebradas, El Retiro, Suyatal, Cuchilla de los Fierros, Las Minas, Piedra de Afilas, Llano Grande y Matapalo.

#### **1.3.4.2 Corrientes térmicas medicinales**

Poza Agua Caliente, Sampaquisoy y fuertemente alcalinos Quebrada de la Sierra Morales, conocidas en este lugar por el sabor ácido (tetelque) del agua. La capacidad hidrológica es buena, aunque en verano se ve disminuida notoriamente como consecuencia de la tala y roza desmedida que se hacen en los bosques de la región.

#### **1.3.4.3 Ríos**

El Colorado, El Molino, Ixtimpaj, uxtena, El Gavilán, Ixpacagua, Dorado, Morito, El Aguacate, Matapalo, El Manzano, Las Piedras, Los Vados, Los Lavaderos, El Chorro y Las Flores, algunos de estos ríos desembocan en el río Grande de donde nace el río los Esclavos.

#### **1.3.4.4 Riachuelos**

Chifla, Cangrejo, El Pimiento, Las Mesas, El Limón, Sumuy, San Juan, La Quebrada, El Barrito, Las Moritas, Las Marías, La Mina, El Salto, La Esperanza, Pie del Cedro, El Cintular, El Tenosco, Chapulín, Astillero, El Durazno, Guadalupe, Las ilusiones y Bellota.

#### **1.3.4.5 Quebradas**

El Palmar, Agua Rosada, El Salitre, El Limón, El Tenosco, El Aguacate, San Antonio, El Sauce, El Recreo, El Salto, El Pantanal, La Ardilla, Helada,

La Montaña, El Parro, Pocitos de Agua Caliente, Zanjón, Hondo, Aguas Muertas, San Nicolás, El Cipresal, El Cedro, Ladrillero, Peña Blanca, Suyutal y Honda.



### **1.3.4.6 Laguneta**

Geográficamente se encuentra únicamente la Laguneta Escondida, ubicada en la finca La Concepción, caserío San Granada, sin embargo el habitante del municipio desconoce la existencia y ubicación de la misma esto posiblemente como consecuencia de la sequía y deforestación de la región.

## **1.4 Demografía y situación social**

### **1.4.1 Población**

El municipio de Mataquescuintla tienen una población 9,632 habitantes en su cabecera municipal y con sus aldeas y caseríos un total de 32,860 habitantes, el cual proyecta una tasa de crecimiento anual de 3%, el gran aumento de la población provoca problemas de salubridad que refleja la contaminación del medio por el mal manejo indebido de sus desechos sólidos.

Rangos de edad	censo 2002	%
00-06	7,383	22.468
07-14	7,538	22.940
15-64	16,408	49.933
65 y mas	1,531	4.659
Total	32,860	100.00

#### **1.4.1.1 Población por área geográfica**

En los datos que se presenta a continuación se indica el área geográfica habitada por los pobladores del municipio:

	Población	%
Urbana	9,632	29.31
Rural	23,228	70.69

#### **1.4.1.2 Población económicamente activa (PEA)**

Según la Comisión Supervisora de Perfiles Departamentales del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación MAGA, la población económicamente activa PEA está comprendida entre los rangos de 15 a 60 años de edad.

De acuerdo a datos obtenidos de la encuesta socioeconómica, se determinó que constituye el 49%, representado por la población activa y aquella en busca de iniciar una relación laboral.

#### **1.4.1.3 Migración y emigración**

Consiste en el traslado de habitantes originarios de un lugar hacia otra localidad. Los movimientos de forma frecuente se originan debido a problemas económicos principalmente el desempleo que los obliga a buscar oportunidades de superación en actividades económicas de otros municipios incluso otras ciudades. El proceso de migración en Mataquescuintla es muy reducido ya que en la actualidad no representa un área económicamente estable que genere empleos. Con relación a la emigración, varios pobladores han abandonado el municipio para dirigirse a diferentes partes de la república.

Este movimiento se observa con mayor énfasis en los jóvenes que estudian el nivel medio y universitario en la cabecera departamental o la ciudad capital, quienes se adaptan al medio y deciden no regresar. Así mismo por la escasez de oportunidades económicas y la falta de desarrollo humano muchos pobladores optan por dirigirse a los Estados Unidos de Norteamérica, como alternativa para superar su pobreza.

#### **1.4.1.4 Idioma**

Según datos históricos, se hablaron los dialectos Xinca y Pipil dentro del cual se incluye el nahua, en la actualidad el idioma predominante es el castellano.

#### **1.4.1.5 Religión**

Los habitantes del municipio de Mataquescuintla son netamente religiosos, el 60% de la población profesa la religión católica y el 35% evangélico y testigo de Jehová, el restante 5% esta conformado por protestantes.

No existen grupos de monjas ni misioneros que brinden ayuda espiritual dentro del municipio, actualmente se está construyendo un monasterio de parte de la cooperación Española.

### **1.4.2 Tipo de vivienda**

Según análisis realizado, el tipo de vivienda predominante en el municipio de Mataquescuintla, es:

60% de las viviendas

- Muros de adobe
- Techo de lámina de zinc
- Piso de cemento

El 40% de las viviendas

- Muros de block, ladrillo tayuyo
- Techo de losa de concreto reforzado y prefabricada( vigueta y bovedilla)
- Piso de ladrillo, granito cerámico.

### **1.4.3 Vías de acceso**

En el pasado se contaba como vía principal de acceso al municipio de Mataquescuintla, la ruta que conduce desde la ciudad, ingresando por San José Pinula, es la ruta más corta de terracería, en la cual se encuentra ubicado el sitio para el relleno sanitario, a 800mts de la cabecera municipal.

## **1.5 Análisis de situación actual**

La municipalidad de Mataquescuintla se ha preocupado principalmente de los servicios de agua, drenajes, caminos y otros servicios ya mencionados.

Sin embargo, los esfuerzos realizados por gestiones municipales anteriores, orientados a solucionar los problemas derivados de la acumulación inadecuada de los residuos sólidos, que representan focos de contaminación, arriesgando la salud de los vecinos de la localidad no han erradicado los focos de contaminación. No obstante lo anterior, actualmente la municipalidad cuenta con un sistema de aseo de calles, recolección de residuos de las áreas públicas y transporte de estos desechos hacia el basurero municipal.

Actualmente la población posee un servicio de extracción domiciliar privada, no obstante los botaderos no autorizados se mantienen y aparecen nuevos en diferentes sitios del área urbana y en la carretera principal.

### **1.5.1 Localización de tiraderos**

Los sitios usados por los vecinos para crear promontorios de basura son muy variados, entre los que se pueden mencionar están: esquina de calles, terrenos baldíos, mercados, barrancos, puentes y orillas del río.

Existe actualmente un basurero municipal a inmediaciones de la cabecera municipal en el cual no se hace una disposición final sanitaria adecuada a la basura, según información de los funcionarios ediles está en uso pero es necesaria la explotación del mismo ya que se cuenta con dicho terreno.

### **1.5.2 Educación ambiental y sanitaria de la comunidad**

Es evidente que los vecinos no están educados para manejar la basura domiciliar adecuadamente, lo cual indica que es necesario iniciar cuanto antes, un programa educativo dirigido a los diferentes sectores de la población.

Especialmente se requiere desarrollar actividades educativas con los niños de edad escolar, con los comerciantes y los funcionarios locales.

### **1.5.3 Organización y situación financiera del servicio de recolección.**

Esto se ha dejado en manos de un sistema de recolección privado y la corporación municipal en la parte céntrica, únicamente supervisa y no percibe ingreso por la concesión de dicho servicio.

### **1.5.3.1 Servicio domiciliar municipal y privado**

Este servicio privado no ha logrado absorber a toda la población, especialmente a la de escasos recursos con falta de conciencia de la contaminación que causa la basura mal manejada, pues las tiran en las esquinas o terrenos baldíos cercanos o se las dan a particulares por unas monedas, quienes la tiran a la vuelta de la esquina o en el camino, dichas personas son las que más contribuyen a la formación de botaderos no autorizados.

### **1.5.4 Peso, tipo y volumen de la basura de las áreas publicas**

En las áreas publicas se generan 3 toneladas equivalentes a 8 metros cúbicos, los días lunes a jueves, en tanto que de viernes a domingo, que son los días de mercado, se generan 5 toneladas que equivalen a 13 metros cúbicos, en total a la semana se acumulan 75 metros cúbicos, equivalentes a 28 toneladas.

## **2 SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1 Aspectos del relleno sanitario**

#### **2.1.1 Marco conceptual**

El relleno sanitario manual es la técnica que mejor se adapta a Mataquescuintla para disponer de manera sanitaria las basuras, tanto desde el punto de vista técnico como económico.

#### **2.1.2 Definición de un relleno sanitario**

El relleno sanitario es una técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el relleno por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

#### **2.1.3 Métodos de relleno sanitario**

El método constructivo y la secuencia de la operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno escogido, aunque también dependen de la fuente del material de cobertura y de

la profundidad del nivel freático. Existen dos maneras distintas para construir un relleno sanitario.

### **2.1.3.1 Método de trinchera o zanja**

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres 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 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. Dado que con frecuencia estas pequeñas poblaciones no cuentan con un tractor de orugas o una retroexcavadora se recomienda su arriendo o préstamo para la excavación periódica de las zanjas, las que deberán tener una vida útil entre 30 y 90 días, para evitar así su empleo constante. La excavación de las zanjas entonces se deberá planificar para todo el año, dependiendo de la disponibilidad del equipo.

Antes de que se complete el período de vida útil de la zanja, se debe disponer del equipo para proceder a la excavación de una nueva zanja para



poder continuar con una disposición sanitaria final de los desechos sólidos y proteger el ambiente. De lo contrario el servicio sería interrumpido y se podría convertir el lugar en un botadero abierto.

Dimensiones de la zanja; para efectos de la operación manual, las dimensiones de la zanja estarán limitadas por: La profundidad de la zanja, de dos a tres metros de acuerdo con el nivel freático, tipo de suelo, tipo de equipo y costos de excavación.

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

### **2.1.3.2 Método de área**

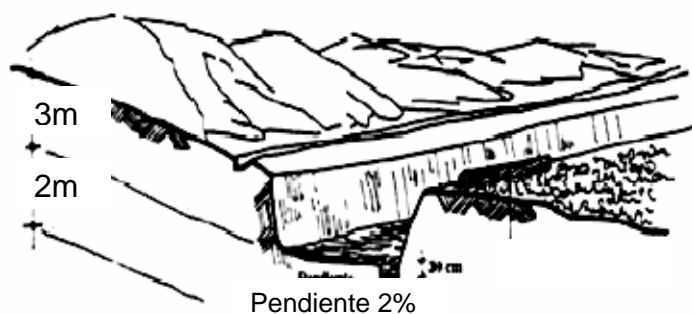
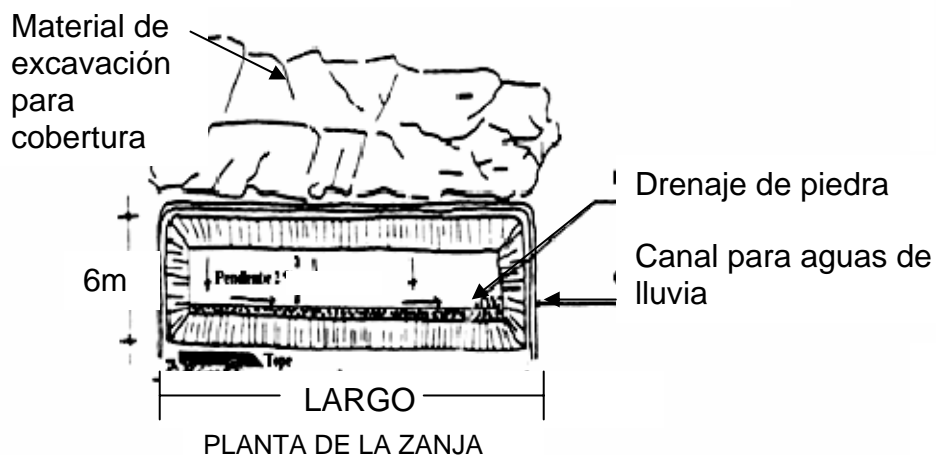
En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o de ser posible, extraído 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.

Método de área para construir un relleno sanitario.

Se adapta también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno o en su defecto se debe procurar lo más cerca posible para evitar el encarecimiento de los costos de transporte.

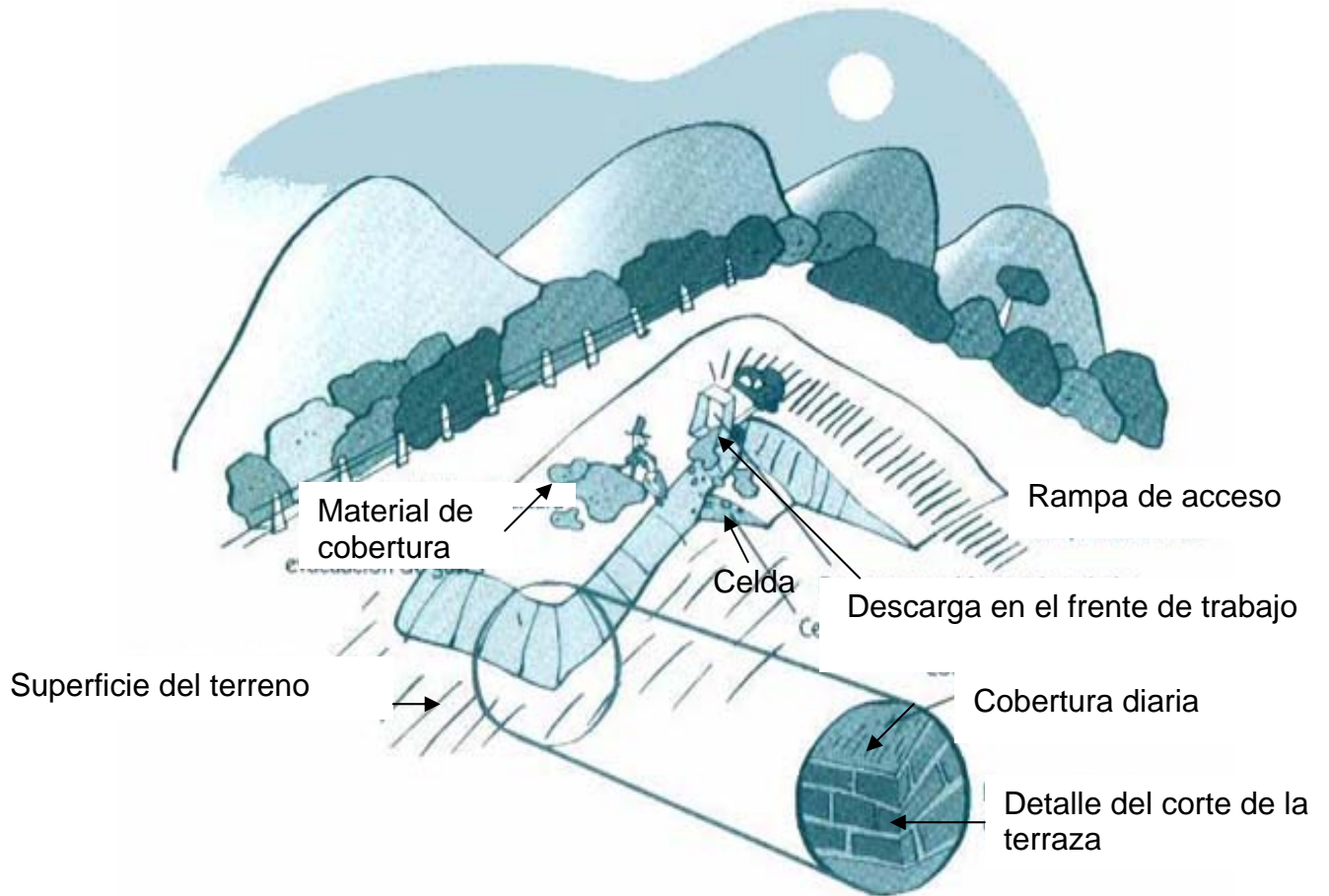
La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba. El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno, es decir, la basura se vacía en la base del talud, se extiende y apisona contra él, y se recubre diariamente con una capa de tierra de 0.10 a 0.20 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 3. Método de trinchera o zanja**



Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manual de programa de salud ambiental (Organización Panamericana de la Salud)

**Figura 4. Método de Área**

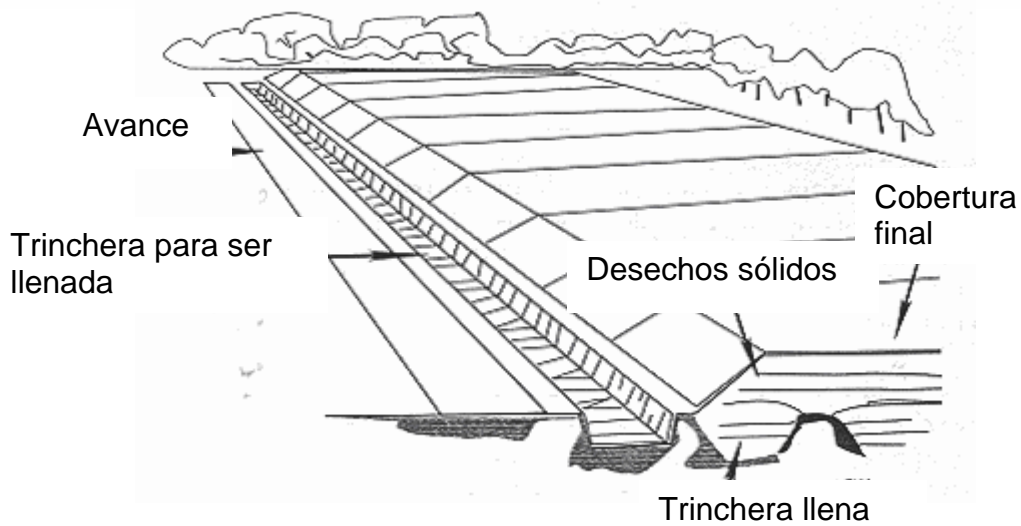


Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manual programa de salud ambiental (Organización Panamericana de la Salud)

**Figura 5. Método de Área para llenar depresiones**



**Figura 6. Combinación de métodos área y de trinchera**



Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manual programa de salud ambiental (Organización Panamericana de la Salud)

### **2.1.3.3 Combinación de trinchera y área**

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

### **2.1.3.4 Método de pozo**

Constituye al sistema 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 al entorno mediante la construcción de áreas verdes.

#### **2.1.4 Principios básicos de un relleno sanitario**

Se considera oportuno resaltar algunos principios básicos:

- Supervisión constante mientras se vacía, recubre la basura y compacta la celda, para conservar el relleno en óptimas condiciones.
- Esto implica tener una persona responsable de su operación y mantenimiento.
- La altura de la celda es otro factor importante a tener en cuenta; para el relleno sanitario manual se recomienda una altura entre 1.0 m a 2m para disminuir los problemas de hundimientos y lograr mayor estabilidad.
- Es fundamental el cubrimiento diario con una capa de 0.10 a 0.20 m de tierra o material similar.
- La compactación de los desechos sólidos es preferible en capas de 0.20 a 0.30 m y finalmente cuando se cubre con tierra toda la celda. De este factor depende en buena parte el éxito del trabajo diario, alcanzando a largo plazo una mayor densidad y vida útil del sitio. Una regla sencilla indica que alcanzar una mayor densidad resulta mucho mejor desde el punto de vista económico y ambiental.
- Desviar aguas de escorrentía para evitar en lo posible su ingreso al relleno sanitario.
- Control y drenaje de lixiviados y gases para mantener las mejores condiciones de operación y proteger el ambiente.

- El cubrimiento final de unos 0.40 a 0.60 m de espesor se efectúa siguiendo la misma metodología que para la cobertura diaria; además, debe realizarse de forma tal que sostenga vegetación para lograr una mejor integración al paisaje natural.

### **2.1.5 Ventajas de un relleno sanitario**

- El relleno sanitario, como método de disposición final de los desechos sólidos urbanos, es sin lugar a dudas la alternativa más conveniente para este municipio. Sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.
- La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para implantar cualquiera de los métodos de tratamiento: incineración o compostación.
- Bajos costos de operación y mantenimiento.
- Un relleno sanitario es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostación.
- Generar empleo de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los municipios en desarrollo.
- Recuperar gas metano en los rellenos sanitarios, lo que constituye una fuente alternativa de energía.

- Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca al área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.
- Recuperar terrenos que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo, etc.
- Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación.
- Se considera flexible, ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas y también debidas a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.

### **2.1.6 Desventajas de un relleno sanitario**

La adquisición del terreno, constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores como:

- ❖ La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.
- ❖ Asociarse el término relleno sanitario al de un botadero de basuras a cielo abierto.
- ❖ La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.
- ❖ El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección lo cual aumenta los costos de transporte.



- ❖ La supervisión constante de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones. En las pequeñas poblaciones, la supervisión de rutina diaria debe estar en manos del encargado del servicio de aseo, debiendo éste contar a su vez con la asesoría de un profesional responsable, dotado de experiencia y conocimientos técnicos adecuados, quien inspecciona el avance de la obra cada cierto tiempo a fin de evitar fallas futuras.
- ❖ Existe un alto riesgo de transformarlo en botadero a cielo abierto por la carencia de voluntad política de las administraciones municipales ya que se muestran renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.
- ❖ Se puede presentar una eventual contaminación de aguas subterráneas y superficiales cercanas si no se toman las debidas precauciones.
- ❖ Los asentamientos más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno por lo tanto se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y de la precipitación pluvial de la zona.

### **2.1.7 Líquido percolado o lixiviados**

La descomposición o putrefacción natural de la basura, produce un líquido mal oliente, de color negro, conocido como lixiviado o percolado, muy parecido a las aguas residuales domésticas (aguas servidas), pero mucho más concentrado. De otro lado, las aguas de lluvias que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los desechos; de ahí la importancia de interceptar y desviar las aguas de escorrentía y pequeños hilos de agua antes del inicio de la operación, puesto que si el volumen de este líquido aumenta demasiado puede causar no sólo problemas en la operación del relleno sino también contaminar las corrientes de agua, nacimientos y pozos vecinos.

Si se tiene en cuenta que el área promedio a rellenar para disponer los desechos sólidos de estas pequeñas poblaciones, no es muy grande los volúmenes de percolado entonces serán también pequeños. Por lo tanto se puede optar por su infiltración en el suelo dado que con el paso del tiempo la carga contaminante de los lixiviados disminuye una vez terminado el relleno; además, el suelo actúa como filtro natural. Obstante, para proteger las aguas superficiales y subterráneas se deben tomar las siguientes medidas.

- Verificar que las aguas subterráneas y superficiales cercanas no estén siendo utilizadas para el consumo humano o animal.
- Establecer una altura mínima de 1.0 m - 2.0 m (depende de las características del suelo) entre la parte inferior del relleno y el nivel de agua subterránea.
- Tratar de contar con un suelo arcilloso o en su defecto impermeabilizar la parte inferior mediante una capa de arcilla de 0.20 - 0.60 m.

- Interceptar, canalizar y desviar el escurrimiento superficial y los pequeños hilos de agua a fin de reducir el volumen del líquido percolado, y de mantener en buenas condiciones la operación del relleno.
- Construir un sistema de drenaje para posibilitar la recolección del líquido percolado y facilitar su posterior tratamiento en caso necesario.
- Cubrir con una capa de tierra final de unos 0.40 a 0.60 m, compactar y sembrar las áreas del relleno que hayan sido terminadas con pasto o grama para disminuir la infiltración de aguas de lluvias.

#### **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 sólo 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 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.

**La anaerobia**, en cambio, es la que 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 ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y mercaptanos.

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 peligro de explosión en las áreas vecinas. Por lo tanto es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases. Este control se puede lograr, construyendo un sistema de drenaje vertical en piedra colocado en diferentes puntos del relleno sanitario para que éstos sean evacuados a la atmósfera. Como el gas metano es combustible se puede quemar simplemente encendiendo fuego en la salida del drenaje una vez concluido el relleno sanitario. También se puede aprovechar este gas como energía en el empleo de una pequeña cocina para calentar alimentos o como lámpara para iluminar el terreno.

#### **2.1.9 Material de cobertura**

Una de las diferencias fundamentales entre un relleno sanitario y un botadero a cielo abierto es la utilización de material de cobertura para separar adecuadamente las basuras del ambiente exterior y confinarlas al final de cada jornada diaria.

El cubrimiento diario de los desechos sólidos con tierra es de vital importancia para el éxito del relleno sanitario, debido a que cumple las siguientes funciones:

- Prevenir la presencia y proliferación de moscas y gallinazos.
- Impedir la entrada y proliferación de roedores.
- Evitar incendios y presencia de humos
- Minimizar los malos olores
- Disminuir la entrada del agua de lluvias a la basura
- Orientar los gases hacia las chimeneas para evacuarlos del relleno sanitario.
- Dar una apariencia estética aceptable al relleno sanitario.
- Servir como base para las vías de acceso internas.
- Permitir el crecimiento de vegetación

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

El relleno sanitario manual 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 menos de 20 toneladas diarias de basura.

Si el costo de transporte lo permite, puede resultar ventajosa la utilización de un mismo relleno sanitario manual para dos o más poblaciones.

Mediante la técnica de la operación manual, sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas y excavación de zanjas o material de cobertura de acuerdo con el avance y método de relleno.

En cuanto a los demás trabajos todos pueden realizarse manualmente, lo cual permite a estas poblaciones de bajos recursos, incapacitadas de adquirir y mantener equipos pesados permanentes disponer adecuadamente sus basuras y utilizar la mano de obra que en los países en desarrollo es bastante abundante.

Se estima que es posible llevar a cabo un relleno sanitario manual hasta llegar a la cantidad de 20 ton/día. Sin embargo, se precisa de un análisis minucioso de las condiciones locales de cada región, puesto que según sea el costo de la mano de obra, el tipo de relleno, las condiciones climáticas, etc., tal vez resulte preferible el uso de equipo pesado en el relleno sanitario ya sea en forma parcial o permanente.

### **2.2.1 Planeación**

El relleno sanitario manual, aunque es una pequeña obra no deja de ser un proyecto de ingeniería en el que gran parte de los problemas potenciales se previenen por medio de una buena planeación desde las etapas iniciales, puesto que de esta manera resulta más sencillo y económico que si se efectúan correcciones en el transcurso de las operaciones.

La planeación inicial desarrollará 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, 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 financiación y la asesoría de un profesional competente.

A pesar de la poca magnitud de esta obra, es importante contar con la asesoría de un ingeniero sanitario con experiencia en el campo del diseño, construcción y operación, sobre todo en las etapas iniciales del proyecto.

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

El apoyo del 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 tener presente que un relleno sanitario manual, como cualquier obra, requiere de recursos para su financiación, tanto para los estudios y diseños como para su construcción, operación y mantenimiento.

## **2.2.2 Selección del sitio**

Para la selección del sitio deberán considerarse, de preferencia, aquellos lugares donde las operaciones del relleno sanitario conduzcan a mejorar el terreno.

La selección apropiada del lugar destinado para la construcción del relleno sanitario eliminará 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.

En muy pocas ocasiones, un terreno reunirá las condiciones ideales del sitio para la construcción de un relleno sanitario manual. Por lo tanto, se deben clasificar aquellos que presenten buenas características, analizando sus inconvenientes en función de los recursos técnicos y económicos disponibles.

Se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Primero, el tecnólogo o promotor de saneamiento y un delegado de la administración local (jefe de planeación, obras públicas, etc.) responsable del servicio de aseo determinarán cuáles son las áreas adecuadas y disponibles como sitios para el relleno sanitario manual, señalando en lo posible varias alternativas.
- Segundo, el ingeniero sanitario de la oficina regional o, en su defecto, de la oficina central, debe tomar la decisión preliminar para la selección (estableciendo un orden de preferencias), realizar los cálculos respectivos y diseños rápidos de la configuración final de los terrenos y, en lo posible estimar costos y vida útil.

- Tercero, la decisión final estará supeditada a razones administrativas y políticas, teniendo en cuenta a la opinión pública. Por lo tanto, se debe presentar el proyecto ante el concejo municipal para que éste apruebe el acuerdo respectivo y si el terreno no es propiedad del municipio efectúe la negociación y autorice al alcalde a realizar las transferencias presupuestales que se necesiten para la adquisición y construcción del relleno sanitario manual con todas sus obras complementarias.
- Cuarto, elaborar los cálculos y diseños definitivos del relleno sanitario, evaluar los costos, buscar su financiación y proceder a su ejecución.

**Figura 7**

**Presentación del proyecto ante las autoridades locales**





### **2.2.2.1.2 Opinión pública**

Las relaciones públicas son las actividades que las autoridades municipales y los técnicos descuidan con mayor frecuencia durante la selección del sitio. 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 comunidad durante todas las fases de selección, diseño, construcción, operación, mantenimiento y uso futuro del relleno sanitario manual.

Este aspecto es muy importante dada la confusión que existe por parte de la comunidad originada por la creencia que un relleno sanitario manual es un botadero a cielo abierto. Se recomienda entonces efectuar una campaña de educación e información a través de las escuelas y colegios, asociaciones, casa de cultura, clubes, etc., haciendo uso de los medios de comunicación local.

### **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**

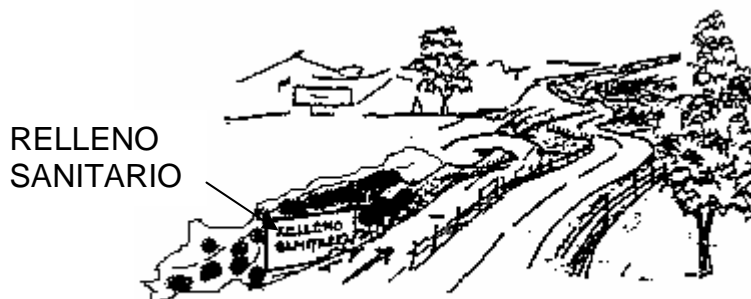
La ubicación del terreno juega un papel importante en la explotación del sistema por cuanto la distancia y más aún el tiempo al centro urbano repercute en el costo de transporte de los desechos sólidos, debiéndose propender al uso económico de los vehículos recolectores. Por lo tanto, se recomienda que esté cerca (no más de 30 minutos) de ida y regreso. Además de disminuir los costos de transporte permite tener una mayor vigilancia y supervisión permanente por parte de la comunidad que estará atenta para que el relleno sanitario manual sea operado y mantenido en las mejores condiciones posibles.

Es de anotar que no existen reglas fijas; mucho dependerá de la disponibilidad de terrenos, de su topografía, la vida útil del relleno y del número de establecimientos vecinos. Se recomienda que los límites de un relleno estén trazados a una distancia mayor de 200 metros del área residencial más cercana.

#### **2.2.2.2 Vías de acceso**

El terreno debe estar cerca a una vía principal, para que su acceso sea fácil y resulte más económico el transporte de los desechos sólidos y la construcción de las vías internas de penetración. Estas deben permitir el ingreso fácil seguro y rápido a los vehículos recolectores hasta el frente de trabajo en todas las épocas del año.

**Figura 8. Vías de acceso**



#### **2.2.2.3 Condiciones hidrogeológicas**

Cabe resaltar aquí que, además de observar la existencia de nacimientos de agua en el terreno que habrá que drenar bajando su nivel es necesario evaluar la profundidad del manto freático o aguas subterráneas dado que es necesario mantener por lo menos una distancia de 1 a 2 metros entre éstas y los desechos sólidos. Así mismo, es preciso identificar las características del suelo.

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

La capacidad del sitio debe ser suficientemente grande para permitir su utilización a largo plazo (más de cinco años), a fin de que su vida útil sea compatible con la gestión los costos de adecuación y las obras de infraestructura. Obviamente todo depende de su disponibilidad.

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

El terreno debe tener abundante material de cobertura, ser fácil de extraer y, en lo posible con buen contenido de arcilla por su baja permeabilidad y elevada capacidad de absorción de contaminantes. Cuando sea escaso en el propio sitio se debe garantizar su adquisición en forma permanente y suficiente, teniendo en cuenta su disponibilidad en lugares vecinos y los costos de transporte. De no ser así es preferible desechar el lugar antes del inicio de cualquier trabajo, puesto que se corre el riesgo de convertirlo en un botadero a cielo abierto.

**Figura 9. Material de cobertura**



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

El relleno sanitario manual debe estar lo suficientemente alejado de las fuentes destinadas al abastecimiento de agua. Idealmente, debería estar localizado en un área aislada de poco valor comercial y bajo potencial de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. En otras palabras debe estar en condiciones de proteger tanto los recursos naturales como la vida animal y vegetal.

#### **2.2.2.2.7 Condiciones climatológicas**

La dirección del viento predominante es importante, debido a las molestias que puede causar tanto en la operación, por el polvo y papeles que se levantan, como por el posible transporte de malos olores a las áreas vecinas. Por tanto, la ubicación del relleno sanitario manual en lo posible deberá estar de tal manera que el viento circule desde el área urbana hacia él. En caso contrario deberán preverse algunas medidas para contrarrestar este aspecto como la siembra de árboles y vegetación espesa en toda la periferia del relleno.

**Figura 10. Dirección del viento**



#### **2.2.2.2.8 Costos**

Antes de proceder a elaborar los cálculos y diseños del relleno sanitario manual, es necesario conocer los costos del terreno y cuán factible es su adquisición. Además, se debe efectuar una estimación de la inversión necesaria para su adecuación y para la construcción de las obras de infraestructura. En ocasiones, el costo de estas últimas es tan alto que el municipio no tiene los recursos suficientes para su ejecución por lo que se recomienda buscar otros sitios disponibles.

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

Un proyecto de relleno sanitario debe iniciarse solamente cuando la entidad responsable del relleno sanitario (generalmente el municipio), tenga en su poder el documento legal que acredite su propiedad sobre el terreno y autorice (acuerdo municipal) a construir con sus obras complementarias, estipulando también la utilización futura ya que los posibles usos pueden facilitar algún desarrollo como por ejemplo, área recreativa o zona de reforestación.

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

Es importante consultar con la oficina de planeación local el plan de desarrollo o plan regulador a fin de conocer la delimitación del perímetro urbano y los usos del suelo actuales y planes futuros para así evaluar su compatibilidad con el relleno. Se recomienda que la dirección o sentido del crecimiento de la urbanización se efectúe en dirección al sitio. Mas esto no debe realizarse de inmediato, a fin de que una vez concluida la vida útil del relleno sanitario manual, el terreno pueda ser usufructuado por la comunidad.

#### **2.2.2.2.11 Uso en el futuro**

En todo proyecto de construcción de un relleno sanitario se debe tener en mente la probabilidad de su utilización futura a fin de integrarlo perfectamente al ambiente natural. Una vez terminada su vida útil, el relleno sanitario manual puede ser transformado en un parque, área deportiva, jardín, vivero o en un pequeño bosque.

### **2.2.2.3 Metodologías para la selección del sitio**

#### **2.2.2.3.1 Análisis preliminar**

Las visitas de campo se realizarán conjuntamente con las autoridades locales y los responsables de la protección de las aguas y del ambiente. En estas visitas es conveniente contar con planos topográficos de la región en escala 1:10,000-1:25,000, con el propósito de ubicar los posibles sitios con respecto a las vías de acceso y salidas del área urbana, las corrientes de agua más próximas y la distribución de los suelos típicos.

Una vez en la oficina de planeación local, con ayuda del plan regulador, se consultan los usos del suelo y sus restricciones, así como las áreas de futura expansión del área urbana para analizar la compatibilidad o no de ubicar el relleno sanitario en estos sitios.

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

En las visita se investigarán mayores detalles, siendo los más importantes la probabilidad o no de contaminar pozos de abastecimiento de agua para consumo, las características del suelo y el nivel freático, además de identificar puntos de referencia, accidentes topográficos, nacimientos de agua en el terreno, caminos y construcciones.

## 2.2.2.4 Pasos para el diseño, construcción y operación

### 2.2.2.4.1 Estudios de campo y diseño

Figura 11. Estudios de campo y diseño



## 2.2.2.4.2 Preparación del terreno y construcción de obras

Figura 12. Preparación del terreno y construcción de obras

Siembra de árboles a nivel perimetral



Construcción del drenaje periférico



Preparación del suelo soporte



Construcción de drenajes internos



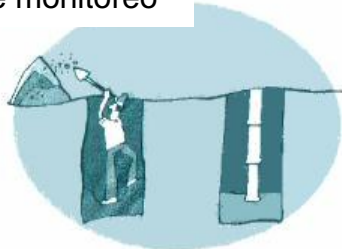
Preparación de ventanillas de gases



Construcción de la caseta y las instalaciones sanitarias



Excavación de pozos de monitoreo



Diseño y ubicación del cartel de identificación





### 2.2.2.4.3 Operación y mantenimiento

**Figura 13. Operación y mantenimiento**

1. Adquisición de herramientas



2. Adquisición de elementos de protección de los trabajadores



3. Clausura del botadero



4. Inicio de la operación de relleno



5. Mantenimiento permanente



6. Preparación del 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 del sitio a rellenar y sus alrededores.**

- Selección del sitio
- Levantamiento topográfico
- Estudios y diseño

##### **Infraestructura periférica.**

- Vías de acceso
- Drenaje pluvial
- Desvío 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

##### **Construcciones auxiliares.**

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

### **Clausura botadero (s)**

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

Inicio de operación del relleno.

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

#### **2.2.2.4.5.1 Levantamiento topográfico**

Una vez definido el sitio y adquirido el terreno por el municipio se debe realizar el levantamiento topográfico con todos los detalles en escala 1:400-1:600, con curvas de nivel y acotadas c/5 m, para elaborar los cálculos y el diseño definitivo del relleno sanitario.

El levantamiento topográfico del terreno, así como la elaboración de los planos pueden ser contratados por el municipio, aunque este estudio es aporte técnico del epesista de la Usac para las comunidades.

#### **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 locales y la comunidad para su promoción y análisis de financiamiento para su construcción.

El diseño básico debe incluir en lo posible la delimitación del área total del sitio y del terreno a ser relleno sucesivamente indicando el método constructivo, el origen de la tierra de cobertura y la disposición de las obras de infraestructura.

Es necesario además presentar en las memorias de cálculo la vida útil, el uso futuro y el costo global estimado del proyecto.

### **2.2.2.4.5.3 Detalles del proyecto**

- El diseño se debe presentar en planos con plantas y perfiles del proyecto que contengan como mínimo:
- La delimitación del área total
- La configuración del terreno
- La adecuación inicial del terreno;
- Detalles de las obras de acceso, drenajes principales y construcciones auxiliares
- Las configuraciones parciales del relleno y
- La configuración final del relleno, con su tratamiento paisajístico.

## **2.3 Diseño del relleno sanitario**

Para el diseño del relleno sanitario manual en este municipio, se tomo en cuenta, la etapa de selección del sitio, una ruta de estudios de investigación de campo, un reconocimiento del terreno, llevando consigo el plano topográfico de planta con anotaciones, gráfico o tabla, mostrando las cantidades acumuladas de residuos sólidos y tierra para la evaluación de depresiones y alturas del terreno. Se debe tener en mente la utilización futura probable del relleno.

Para un buen diseño es indispensable la visita de campo. De esta manera, se podrán comparar los planos con el terreno e identificar mejor el área a rellenar y sus alrededores, la vía interna de acceso, drenajes, el método constructivo y el origen de la tierra de cobertura.

### **2.3.1 Información básica**

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

### **2.3.2 Aspectos demográficos**

#### **2.3.2.1 Población**

Es necesario conocer el número de habitantes a servir para definir las cantidades de desechos sólidos que se han de disponer. Es de anotar que la producción de desechos sólidos se debe diferenciar entre la producción rural y la urbana. La primera, debido a la baja producción, presentará menos exigencias pero su recolección resulta más difícil. En cambio, la producción urbana es más notoria por razones de concentración, aumento de población, y desarrollo tecnológico y urbanístico, mereciendo nuestra atención en este caso.

### 2.3.2.2 Proyección de la población

Es además de suma importancia estimar la producción en el futuro para definir las cantidades de desechos sólidos que se deben disponer durante el período de diseño, lo cual conlleva a realizar una proyección de la población, al igual que en cualquier obra de servicio público.

El crecimiento poblacional se podrá estimar por métodos matemáticos, de los métodos matemáticos se presenta como guía el crecimiento geométrico, es decir el de las poblaciones biológicas en expansión, el cual asume una tasa de crecimiento constante.

La siguiente expresión muestra su cálculo:

$$P_f = P_o (1 + r)^n$$

Donde:

P<sub>f</sub>=Población futura

P<sub>o</sub>= Población actual

r= Tasa de crecimiento

n= (t<sub>f</sub> - t<sub>o</sub>) intervalo en años

La cabecera municipal de Mataquescuintla tiene 9,632 habitantes actualmente

P<sub>o</sub>=9632 habitantes    r= tasa de crecimiento 3%

n=valuando para el primer año

P<sub>f</sub>=9632(1+0.03) <sup>1</sup>= **9,921 habitantes**

n=valuando para 15 años

Población futura    P<sub>f</sub>=9,632 (1+0.03) <sup>15</sup>=**15,006 habitantes**

Esta información y los demás cálculos siguientes, se presentan en la tabla cálculo de volumen, área requerida y vida útil para los desechos sólidos a disponer en el relleno sanitario en el apéndice tabla VIII.

### **2.3.3 Aspectos generales de los desechos sólidos**

Entre los parámetros más importantes que se deben conocer para el manejo adecuado de los desechos sólidos que se producen en una población, se encuentran la composición y la cantidad.

#### **2.3.3.1 Composición**

Los desechos sólidos en las áreas urbanas se pueden diferenciar de acuerdo con su procedencia en: residencial, comercial, industrial, barrido de vías y áreas públicas mercado e institucional.

##### a) Sector residencial

Las basuras o desechos sólidos domésticos están compuestos de papel, cartón, latas, plásticos, vidrios, trapos y materia orgánica putrescible principalmente.

##### b) Sector comercial

Con algunas excepciones el comercio no representa altos índices en la producción de desechos sólidos, dado que en estas localidades no está muy desarrollado y en general la actividad comercial se combina con la vivienda.

La composición de los desechos es similar a la del tipo residencial, con una mayor proporción en los materiales de empaque (papel, cartón, vidrio y plástico).

c) Sector industrial

La actividad industrial generalmente es baja y de tipo artesanal, compatible con el uso residencial. Por lo tanto, es de esperar que sus desechos sólidos no presenten características especiales. Por ende, no es significativa en el análisis para estas pequeñas poblaciones, salvo algunas excepciones.

d) Mercados

El mercado presenta un carácter más definido, dado que allí se concentran los expendios de carne, pescado, vegetales, frutas y otros lo que indica que gran parte de los residuos están constituidos por materia orgánica y una reducida cantidad de ellos por material de empaque; para estos desechos puede ser recomendable la producción de compost con métodos manuales.

e) Barrido de vías y áreas públicas

El servicio de barrido de vías y limpieza de áreas públicas, tales como el parque principal, la plaza de ferias y otros los lugares contribuyen a la producción de desechos. Estos están compuestos básicamente de hojas, hierba, cáscaras y 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 su producción de desechos sólidos no es muy significativa con respecto al resto, siendo su composición similar a las anteriores.



La composición de los residuos sólidos se clasifican según el tipo, calidad y cantidad, con base a la caracterización de los residuos dentro del casco urbano del municipio de Mataquescuintla, se determinaron los siguientes datos porcentuales a nivel domiciliario, institucional y comercial.

Resultados, peso y porcentaje de residuos orgánicos e inorgánicos del área urbana del municipio de Mataquescuintla.

	Descripción			porcentaje
	Domiciliar	institucional		comercial
Muestra	100%	100%		100%
Orgánico	68%	34%		55%
Inorgánico	32%	66%		45%

Resultados peso y porcentaje de residuos inorgánicos del municipio

Descripción	porcentaje		
	Domiciliar	institucional	comercial
Papel	9%	36 %	12%
Plástico	8%	15%	6%
Vidrio	6%	6%	5%
Metal	4%	2%	6%
Diversos	5%	7%	16%

Estos datos se obtuvieron de acuerdo a la toma de muestra y el método de cuarteo

#### ❖ Toma de muestra

Para una población específica, en donde los estratos socioeconómicos son más homogéneos, la muestra debe representar un mínimo del 1% de la totalidad; para efectos del estudio se tomo una muestra estadística de 120 viviendas. Para lograr este objetivo la toma de la muestra se especifica repartiendo en la población bolsas de polietileno. Se le indica al usuario que debe depositar en esa bolsa su basura de los siguientes 6 días periodo en el cual debe recolectarse.

Se elabora una boleta que incluya la siguiente información especificar la cantidad de personas que habitan en cada vivienda o la cantidad de personas que depositan los desechos en ese periodo, sector o dirección.

#### ❖ Método del cuarteo

Las bolsas recolectadas en la muestra se vacían todas para formar un volumen que da aproximadamente de dos a tres metro cúbicos.

Mezclándola toda, se trata de obtener un compuesto de características homogéneas.

La muestra se divide en cuatro partes, luego se trabaja de la siguiente forma:

- se toma dos cuartas partes que queden opuestas y se unen para formar una media, esta operación se repite hasta lograr una muestra de 100lbs

- se prepara un medio tonel de 100 libras de capacidad o un cajón de madera
- se pesa el medio tonel en una romana de pie o de colgar y se mide su volumen
- Se llena de basura el tonel, a 1/3 de su capacidad sin hacer presión: con esta cantidad se golpea en el suelo tres veces para reducir espacios vacíos, luego se llena a 2/3 de su capacidad y se vuelve a golpear tres veces más, nuevamente se llena en su totalidad y se pesa
- por la diferencia de pesos entre el tonel lleno y el tonel vacío (tara), se obtiene el peso de la basura.
- se separan los componentes de esa muestra que se obtuvo de 100 libras y se clasifican de acuerdo a las siguientes características:

Materia orgánica (restos de alimentos, follaje, grama, etc.)

Papel y carbón, Plásticos, Metales, Vidrios. Diversos (textiles, madera, caucho, hule, cuero, etc.).

### 2.3.3.2 Producción per cápita

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

$$Ppc = \frac{DSr \text{ en una semana}}{Pob * 7 * Cob}$$

Donde:

Ppc = producción por habitante por día (Kg. /hab.-día)

DSr = cantidad de desechos sólidos recolectados en una semana (Kg. /sem)

Pob = población área urbana (hab.)

7 = días de la semana

Cob = cobertura del servicio de aseo (%)

En Mataquescuintla se recolectan un promedio de 4 ton/día a la semana 28 toneladas o sea 25,454.55 Kg. /semana

$$Ppc = \frac{25,454.55\text{kg/semana}}{9,921 * 7 * 0.70} = \mathbf{0.52 \text{ Kg./hab.-día}}$$

Es de anotar que también es posible relacionar la cantidad de desechos sólidos producidos por vivienda, o sea, Kg. /vivienda-día, dado que la basura es entregada por vivienda y además tiene la ventaja de la facilidad de contar las casas.

### **2.3.3.3 Producción total**

El conocimiento de la producción de desechos sólidos, permite establecer entre otros, cuáles deben ser los equipos de recolección más adecuados la cantidad de personal, las rutas, la frecuencia de recolección, la necesidad de área para la disposición final, los costos y el establecimiento de la tarifa o tasa de aseo.

La producción de desechos sólidos está dada por la relación:

$$DSp = Pob. * ppc$$

Donde:

DSp = Cantidad de desechos sólidos producidos (Kg. /día)

Pob = Población área urbana (hab.)

PPC = Producción per cápita (Kg. /hab.-día)

$$Dsp = 9,921 * 0.52 = 5,158.92 \text{ Kg./día}$$

#### **2.3.3.4 Proyección de la producción total**

La producción anual de desechos sólidos se debe estimar con base en las proyecciones de la población y la producción per cápita.

La proyección de la población puede estimarse por métodos matemáticos pero en cuanto al crecimiento de la ppc, conviene anotar que difícilmente se encuentran cifras que den idea de cómo puede variar anualmente para tratar de evaluar cambios. No obstante para obviar este punto y conociendo que con el desarrollo y el crecimiento urbanístico y comercial de la población los índices de producción aumentan, se recomienda calcular con una tasa de incremento del 1% anual la producción per cápita total.

#### **2.3.3.5 Densidad**

Para calcular y dimensionar la celda diaria y el volumen del relleno se pueden estimar las siguientes densidades así:

Celda diaria: densidad de la basura recién compactada 400-500 Kg. /m<sup>3</sup>

Volumen del relleno: densidad de la basura estabilizada 500-600 Kg. /m<sup>3</sup>

Estas densidades se alcanzan mediante la compactación homogénea y a medida que se estabiliza el relleno lo cual como es obvio incide en la estabilidad y vida útil del sitio.

El aumento de la densidad de los desechos sólidos en el relleno sanitario manual se logra entre otras cosas por: El tránsito del vehículo recolector por encima de las celdas ya conformadas. El apisonado manual mediante el uso periódico del rodillo y pisonos de mano. La separación y recuperación de materiales tales como: papel, cartón, plástico, vidrio, chatarra y otros, dado que

difícilmente se compactan. La práctica del reciclaje trae además del beneficio económico una menor cantidad de desechos sólidos a enterrar aumentando por tanto la vida útil del sitio. Cuando la separación se hace en el origen se puede conseguir además la generación de empleo organizado y digno con seguridad social.

Otros mecanismos que aumentan la densidad de los desechos sólidos son: el proceso de descomposición de la materia orgánica y el peso propio de las capas o celdas superiores que producen mayor carga y obviamente, disminuyen su volumen.

#### **2.3.4 Cálculo del volumen necesario**

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

La producción diaria de desechos sólidos si se espera tener una cobertura del 100% o en su defecto de la cantidad de desechos sólidos recolectados

La densidad de los desechos sólidos estabilizados en el relleno sanitario manual.

La cantidad de material de cobertura (20-25%) del volumen estabilizado de desechos sólidos.

#### **2.3.5 Volumen de residuos sólidos**

Con los dos primeros parámetros se tiene el volumen diario y anual de desechos sólidos que se requieren disponer es decir:

$$V_{\text{diario}} = \frac{D_{\text{Sp}}}{D_{\text{rsm}}}$$

$$V_{\text{anual}} = V_{\text{diario}} * 365$$

Donde:

Vdiario = Volumen de desechos sólidos a disponer en un día ( $m^3/\text{día}$ )

Vannual = Volumen de desechos sólidos en un año ( $m^3/\text{año}$ )

DSp = Cantidad de desechos sólidos producidos (Kg. /día)

365 = Equivalente a un año (días)

Drsm = Densidad de los desechos sólidos recién compactados, (400-500 Kg. / $m^3$ ) y estabilizados (500-600 Kg. / $m^3$ )

Compactados

$$V_{\text{diario}} = \frac{5,158.92 \text{ Kg./día}}{450 \text{ Kg./m}^3} = 11.46 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V_{\text{annual}} = 11.4643 * 365 = 4,184.46 \text{ m}^3/\text{año}$$

Estabilizado

$$V_{\text{diario}} = \frac{5,158.92 \text{ Kg./día}}{600 \text{ Kg./m}^3} = 8.596 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V_{\text{annual}} = 8.60 * 365 = 3,138.34 \text{ m}^3/\text{año}$$

### 2.3.6 Volumen del relleno necesario

De esta manera, se puede calcular el volumen del relleno sanitario para el primer año, afectando el valor anterior por el material de cobertura así:

$$VRS = V_{\text{annual}} * MC$$

Donde:

VRS = Volumen del relleno sanitario ( $m^3/\text{año}$ )

MC = Factor de material de cobertura (1.2 a 1.25)

Los datos obtenidos se vacían en la Tabla VIII de Excel de desechos sólidos, para conocer el volumen total ocupado durante la vida útil se tiene:

Donde: VRSvu = Volumen relleno sanitario durante la vida útil ( $m^3$ )

n = Número de años

Que serían los datos que aparecen en la Tabla VIII de desechos sólidos, es decir, los valores acumulados anualmente.

$$VRs = 3,138.34 \text{ m}^3/\text{año} * 1.2 = 3,766.01 \text{ m}^3/\text{año}$$

### **2.3.7 Cálculo del área requerida**

Con el volumen calculado, se puede estimar el área requerida para la construcción del relleno sanitario, solamente si se puede estimar en forma aproximada la profundidad o altura del relleno. Esta solo se conocerá si se tiene una idea de la topografía de los alrededores. El relleno sanitario manual debe proyectarse para un mínimo de cinco años, aunque preferiblemente debe ser suficiente para 10 años. Sin embargo, algunas veces es necesario proyectarlo incluso para menos de cinco años, ante la dificultad de encontrar terrenos disponibles. Este tiempo se llama vida útil o período de diseño.

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

Cantidad de desechos sólidos a disponer.

Cantidad de material de cobertura.

Densidad de compactación de los desechos sólidos.

Profundidad o altura del relleno sanitario.

Capacidad volumétrica del terreno.

Áreas adicionales para obras complementarias



A partir de la ecuación podremos estimar las necesidades de área, así:

$$ARS = \frac{VRS}{HRS}$$

Donde:

VRS = Volumen necesario del relleno sanitario ( $m^3/año$ )

ARS = Área a rellenar sucesivamente ( $m^2$ )

HRS = Altura o profundidad media del relleno sanitario (m) y el área total requerida será:

$$AT = F * ARS$$

Donde:

AT = Área total requerida ( $m^2$ )

F = Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de aislamiento, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este se considera entre un 20-40% del área a rellenar.

Calculando el área a rellenar sucesivamente

$$ARS = \frac{3,766.01 m^3/año}{35.79 m} = 105.22 m^2$$

Entonces Área total requerida

$$AT = 1.30 * 105.21 = 136.79 m^2/año$$

Se incorporan los parámetros mencionados para el cálculo del volumen del relleno sanitario. El área se estimará para cada sitio alternativo cuando se conozca la profundidad promedio del relleno.

### **2.3.8 Selección del método**

Como ya se mencionó, el diseño del relleno sanitario depende del método adoptado (trinchera, área o su combinación), de acuerdo con las condiciones topográficas del sitio, las características del suelo y la profundidad del nivel freático. El diseño debe presentar entonces los planos que orienten la construcción del relleno sanitario, así:

#### Conformación del terreno original

La conformación del terreno original es obtenida a partir del levantamiento topográfico del sitio donde se construirá el relleno sanitario y se requiere para elaborar los cálculos y el diseño de la obra.

#### Configuración inicial del desplante o suelo de soporte

Generalmente el sitio seleccionado debe ser preparado, tanto para construir las obras de infraestructura necesarias como para brindar una adecuada base de soporte al relleno sanitario y obtener el material de cobertura del propio terreno. Estos cambios se presentan en un plano topográfico para orientar al ingeniero constructor en el movimiento de tierras.

#### Configuración final del relleno

La configuración final del relleno es la conformación del terreno una vez se termine su vida útil. Es importante representarla en un plano topográfico para presentar los niveles máximos que alcanzará la obra de acuerdo con el proyectista.

#### Configuraciones parciales del relleno

La configuración parcial del relleno representa el avance de la construcción del relleno, y sirve de guía al constructor para los controles correspondientes.

### 2.3.9 Capacidad volumétrica del sitio

La capacidad volumétrica del sitio es el volumen total disponible del terreno para recibir y almacenar la basura y el material de cobertura que conforman el relleno sanitario. Es decir es el volumen comprendido entre la superficie de desplante y la superficie final del relleno para lo cual es indispensable determinar la capacidad volumétrica del terreno.

En general, para el cálculo de volúmenes existen dos métodos:

- Volúmenes de gran longitud y poca anchura.
- Volúmenes de gran extensión (extensos en ambas direcciones)
- Volúmenes de gran longitud (alrededor de un eje)

El trabajo de campo en esta categoría de determinación de volúmenes comprende generalmente la obtención de secciones transversales a intervalos regulares a lo largo de un eje del proyecto (poligonal): las áreas de estas secciones se calculan y luego usando la regla de Simpson para volúmenes o la del prismoide puede calcularse el volumen del material a retirar o colocar.

#### *Método 1. Cálculo del volumen por la regla de Simpson*

Una vez calculada el área de las distintas secciones puede hallarse el volumen del material contenido en el corte o relleno por medio de la regla de Simpson que es la misma que se emplea para las áreas a excepción de que las áreas de las secciones reemplazan las ordenadas en la fórmula.

$$\text{Volumen} = \frac{d}{2} * [A1 + A5 + 2 * A3 + 4 * (A2 + A4)]$$

Si se llama "M" a la sección media, el volumen por la regla de Simpson será:

$$\begin{aligned}\text{Volumen} &= \frac{1}{3} * \left(\frac{d}{2}\right) * [A1 + A2 + 2(\text{cero}) + 4M] \\ &= \frac{d}{6} * [A1 + A2 + 4M] \text{ m}^3\end{aligned}$$

Método 2 Cálculo del volumen por la regla del prismoide

El prismoide se define como un sólido que tiene dos caras planas y paralelas de forma regular o irregular, unidas por superficies planas en las que se puede trazar rectas desde una hasta la otra cara paralela, el volumen se encuentra, con este método usando el software de autocad 2004.

### **2.3.10 Cálculo de la vida útil**

El volumen del relleno o sea el volumen comprendido entre las configuraciones iniciales y final del terreno calculadas mediante cualquiera de los métodos descritos anteriormente nos dará el volumen total disponible, facilita la recolección de esta información. El cálculo de la vida útil se puede estimar así:

El volumen total disponible del terreno se compara con los valores en la que aparecen los volúmenes acumulados del relleno hasta encontrar un valor similar o ligeramente mayor se encontrará el número de años que equivalen a la vida útil del relleno.

### 2.3.11 Cálculo de la celda

Como se sabe, las celdas están conformadas básicamente por los desechos sólidos y el material de cobertura y serán dimensionadas con el objeto de economizar tierra sin perjuicio del recubrimiento y con el fin de que proporcionen 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:
- La cantidad diaria de desechos sólidos a 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.

Se recomienda mantener una altura de dos metros, para la celda diaria, debido a la baja compactación alcanzada por la operación manual, brindando así una mayor estabilidad mecánica a la construcción del relleno sanitario y un frente de trabajo lo más estrecho posible los cuales junto con el avance (largo), se calcularán dependiendo del volumen diario de desechos así:

Cantidad de desechos sólidos a disponer

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

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

$$DSrs = DSp * \frac{7}{dhab}$$

Donde:

DSrs = Cantidad media diaria de DS en el relleno sanitario (Kg./día)

DSp = Cantidad de DS producido por día (Kg. /día)

dhab = Días hábiles o laborales en una semana (normalmente  $d_{hab} = 5$  ó 6 días, y aún menos en los municipios más pequeños)

Entonces tenemos en Mataquesuinta

Cantidad media diaria de desechos sólidos en el relleno sanitario

$$DSrs = 5,158.92 \text{ Kg./dia} * \frac{7}{5} = 7,222.49 \text{ Kg./dia}$$

Volumen de la celda diaria

$$Vc = \frac{DSrs * MC}{Drsm}$$

Donde:

Vc = Volumen de la celda diaria ( $m^3$ )

Drsm = Densidad de los desechos sólidos recién compactados en el relleno sanitario manual, 400-500 Kg. / $m^3$

MC = Factor de material de cobertura (1.20-1.25)

Debe notarse que la densidad usada para la basura recién compactada es menor que la de la basura estabilizada que se usa para el cálculo del volumen.

$$V_c = 7,222.49 \text{ kg/día} * (1.20) / 450 \text{ kg/m}^3 = 19.25 \text{ m}^3/\text{día}$$

Dimensiones de la celda

- Área de la celda

$$A_c = V_c / h_c$$

Donde:

$A_c$  = Área de la celda ( $\text{m}^2/\text{día}$ )

$h_c$  = Altura de la celda (m) - límite 1.0 m a 2 m. Flintoff reporta alturas entre 1.5 y 2.0 m para rellenos sanitarios con operación manual, con lo que se consigue una disminución del material de cobertura necesario.

$$A_c = 19.25 \text{ m}^3 / 2 \text{ m} = 9.62 \text{ m}^2/\text{día}$$

- **Largo o avance de la celda (m)**

$$L = A_c / a = 9.62 \text{ m}^2/\text{día} / 3 \text{ m} = 3.2 \text{ m/día el largo de la celda}$$

$a$  = Ancho que se fija de acuerdo con el frente de trabajo necesario para la descarga de la basura por los vehículos recolectores. Téngase en cuenta que en pequeñas comunidades serán uno o dos vehículos como máximo descargando a la vez, lo que determina el ancho entre 3 y 6 m.

Como los taludes (perímetro) también requieren cubrirse con tierra la relación del ancho al largo de la celda que menos material de cobertura requerirá sería la de un cuadrado. Esta medida se obtendría entonces como la raíz cuadrada del área de la celda, así:

$$l = \sqrt{A_c} = \sqrt{9} = 3$$





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

### ***2.3.12.1 Ubicación***

El predio del relleno sanitario se encuentra emplazado en el sector noroeste de la cabecera municipal de Mataquescuintla, departamento de Jalapa a 800m del centro del municipio y cuya vía de acceso es de carretera de terracería a la aldea San José la Sierra y a la población de Mataquescuintla.

### ***2.3.12.2 Área destinada a la disposición final del relleno sanitario***

El relleno sanitario ocupará una área de 2,566.243 m<sup>2</sup>, la cual será acondicionada para la disposición de los residuos sólidos de origen urbano, se desarrollan las tareas de disposición final de residuos, módulos y celdas de disposición, compactación y cobertura final, drenaje de gases, el tratamiento de lixiviados, planta de tratamiento, filtro percolador, pozo de absorción.

El material de cobertura se encuentra cerca al relleno sanitario, el cual es un banco de arcilla, adecuado para abastecer dicho proyecto.

### **2.3.12.3 Cantidad y composición de los residuos sólidos tratados en el relleno sanitario**

Los residuos sólidos tratados en el relleno sanitario son en su mayoría residuos de origen domiciliarios orgánicos e inorgánicos, aunque también se admiten residuos de jardín de podas de espacios públicos, residuos de demolición (emisores privados) y otros tipos de residuos que no estén contemplados como residuos patológicos.

La cantidad de residuos recibidos en el relleno sanitario se estima que es de alrededor de 5.71 toneladas/día en promedio, de los cuales casi un 90% son de carácter domiciliario y recogidos por el sistema municipal de recolección tan solo el 10% son de origen difuso que son generados y transportados por los particulares. Es importante recalcar que del flujo total de residuos sólidos urbanos recibidos en el relleno sanitario son de carácter orgánico, putrescibles el 60-65%, mientras que el resto de los residuos son de carácter orgánico de muy lenta biodegradación e inorgánicos. Se debe destacar que si bien los residuos patológicos y peligrosos no son admitidos en el predio para su disposición del flujo de residuos diarios se pudo observar que muchos componentes de este son de características similares como es el caso de pañales, remedios, baterías y pilas, que indefectiblemente tienen su correspondencia con el flujo de residuos domiciliarios.

#### **2.3.12.4 Características del relleno sanitario**

##### **2.3.12.4.1 Infraestructuras de control de entrada y salida**

Ésta se caracteriza por poseer una oficina principal, con sanitarios para el personal de oficina y vestuarios con una superficie de unos 30 m<sup>2</sup> ubicada a la entrada del predio, estacionamiento de vehículos con capacidad para 2 automóviles.

##### **2.3.12.4.2 Vías de circulación**

El relleno sanitario contará con caminos perimetrales y temporales para el tránsito de los vehículos recolectores y particulares hasta la zona de descarga, en la de operación de cada modulo. Éstos tienen un ancho de calzada de seis metros y están desprovistos de vegetación, han sido construidos sobre terraplenes de tierra compactada y tiene que tener una buena transitabilidad en días de inclemencias climáticas.

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

El módulo en operación ocupa un área de 2,566 m<sup>2</sup>, con un ancho de 46.6 m y un largo de 74.596 m.

La disposición de los residuos se realiza sobre celdas, de espesor de 2 m y un avance de 2.46 m con una cobertura de 0.20m.

Los módulos cuentan con un sistema de impermeabilización de fondo, taludes laterales y bermas para la recolección de lixiviados, este sistema consiste en la aplicación de suelo de arcilla.

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

El sistema de monitoreo y control del relleno sanitario constará de:

- Un sistema de control de entrada-salida al predio mediante un sistema informático que registra la entrada de vehículos al ingreso y al egreso del predio, la identificación del vehículo y el usuario. También se debe estimar en este sector la estadística periódica de residuos depositados en el relleno sanitario.
- Un sistema de control y monitoreo de lixiviados que se realiza cada etapa de tratamiento.

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

El sistema colector de líquidos lixiviados consiste en una zanja con piedra y una compuerta de tapia y 0.60 m de ancho, por altura de 1.20 m, con una longitud de 35 m en la parte baja del terreno.

Es necesaria una planta de tratamiento para los lixiviados tratamiento secundario y pozos de absorción, lo cuales serán diseñados por una persona especializada en la materia como lo es un ingeniero con maestría en sanitaria.

La cantidad de lixiviados que se producen en un relleno sanitario depende de factores como la precipitación, el área del relleno, el modo de operación y tipo de basura.

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

Éste consiste en piedras colocadas en alambre o malla de gallinero y cuatro soportes de madera alrededor, de 0.30mX 0.30m, a una altura de 33m.

El sistema de venteo de gases en la salida con un tubo Hg. con perforaciones, la profundidad estará a 0.70m.

#### **2.3.12.4.7 Vida útil del relleno sanitario**

La vida útil del relleno sanitario se estima en 10 años, para una cantidad anual de residuos dispuestos de 1,883 Ton/año y un volumen disponible de 34,458 m<sup>3</sup>.

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

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

- a. Actividades de control de ingreso y egreso de vehículos recolectores y particulares.
- b. Actividades de descarga y compactación de residuos sólidos urbanos.
- c. Actividades de cierre de celdas y clausura de módulos.
- d. Actividades de mantenimiento general del predio.
- e. Actividades de control y monitoreo.

### **2.3.12.5.1 Actividades de cierre de celdas y clausura de módulos**

En esta etapa se pueden diferenciar un conjunto de actividades:

En primer lugar las tareas de cobertura de celdas, las que se realizan al terminar cada jornada de operación y que consisten en recubrir los residuos, una vez alcanzada la cota máxima, con una capa de suelo apto de un espesor de 0.20 m, la cual es compactada .

Esta capa de cobertura de cierre se realiza en dos etapas, una antes de terminar la operación de la celda (10 días antes), capa es de un espesor de suelo de 0.40 m y compactada y otra al finalizar la operación de la celda, capa de suelo de 0.60 m. Tanto en las actividades de cierre de celdas como las de clausura de modulo se pone énfasis en mantener las pendientes en el rango del 1% al 3%, lograr una buena compactación de suelo de cobertura a fin de lograr un buen drenaje superficial, minimizar el escape de olores y potenciar la actividad anaeróbica de bacterias dentro del relleno.

### **2.3.12.5.2 Aspectos hidrológicos**

En la cabecera municipal se encuentra al oeste el río la sierra, el área donde se asienta la región se encuentra material madre de ceniza volcánica, con un paisaje natural que se define a través de las características propias de las pendientes y con la topografía que muestran los accidentes geográficos que la circundan, tales como: montañas, valles y mesetas, es considerado un bosque húmedo subtropical templado. De esta manera, las tierras que la conforman, por su grado de humedad, son apropiadas para el estudio que se realiza del relleno sanitario. En lo que respecta a las formas de la tierra en el área en estudio, presenta un relieve y pendientes que brindan un fenómeno natural paisajístico de la zona montañosa del oriente y de sus áreas boscosas.

### 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:

$$P - \text{Deficit} = Q$$

$$P = \text{Precipitación}$$

$$\text{Déficit} = \text{Evaporación} + \text{Infiltración}$$

$$Q = \text{Caudal de escurrimiento}$$

$$\text{Área del terreno} = 2,566.24 \text{ m}^2$$

Evaporación:

- $1,220 \text{ mm/año} * 1 \text{ año} / 365 \text{ días} = 3.34 \text{ mm/día}$
- $3.34 \text{ mm/día} * 1 \text{ mt} / 1,000 \text{ mm} = 0.00334 \text{ m/día}$
- $0.00334 \text{ m/día} * 2,566.243 \text{ m}^2 = 8.58 \text{ m}^3 / \text{día}$
- $8.58 \text{ m}^3 / \text{día} * 1,000 \text{ lts} / 1 \text{ m}^3 * \text{ día} / 24 \text{ hrs.} * \text{ hora} / 60 \text{ min} * 1 \text{ min} / 60 \text{ seg} =$   
**0.0993 litros / segundos**

Precipitación:

- $1,499 \text{ mm/año} * 1\text{año}/365\text{días} = 4.11 \text{ mm/día}$
- $4.11 \text{ mm/día} * 1\text{m}/1,000\text{mm} = 0.00411 \text{ m/día}$
- $0.00411 \text{ m/día} * 2,566.243 \text{ m}^2 = 10.54 \text{ m}^3/\text{día}$
- $10.54 \text{ m}^3/\text{día} * 1,000\text{lbs}/1\text{m}^3 * \text{día}/24\text{hrs} * \text{hora}/60\text{min} * 1\text{min}/60\text{seg} =$   
**0.122 litros / segundo**

Infiltración:

- $0.028\text{m}^3 /40\text{min} * 1,000 \text{ lbs}/1\text{m}^3 * 1\text{min}/60\text{seg} = 0.011 \text{ litros / segundo}$

**P – Déficit = Q**

$$Q = 0.122 \text{ lbs/seg.} - (0.0993 \text{ lbs/seg.} + 0.011 \text{ lbs/seg.})$$

**Q = 0.0117 litros / segundo**

Con base en el análisis del balance hídrico del terreno donde funcionará el relleno sanitario, se le encuentra apto para llevar a cabo cualquier tipo de proyecto y por consiguiente el antes mencionado.

Los cuerpos de agua del terreno se asientan en un área que drena a la cuenca hidrológica del Pacífico, específicamente desde el río el morito y la sierra para desembocar en el río los esclavos.

En su interior el terreno no posee ningún cuerpo hídrico y en la época de verano su capa freática oscila entre 328 a 524 pies de profundidad, obtenida mediante sondeos realizados en los alrededores del relleno donde se pudo localizar pozos de abastecimiento de agua. El tipo de acuífero es confinado, se pudo observar que la dirección del movimiento hipodérmico de las aguas subterráneas es hacia el sur, la principales redes de drenaje en esta región son dendríticas la mayoría drenado hacia la vertiente del pacífico.



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 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.

Para una pequeña cuenca exorreica se recomienda usar un canal con paredes sin revestir. Se calcula el caudal aportante, mediante el método racional y las dimensiones del canal.

$$Q_p = \frac{CI A}{365}$$

$Q_p$  = caudal aportante o máximo escurrimiento [ $m^3/seg.$ ]

$C$  = coeficiente de escurrimiento (0.25)

$I$  = intensidad de la lluvia [ $mm/hora$ ]

$A$  = área de la cuenca [ $Ha$ ]

El canal deberá garantizar una velocidad máxima promedio (0.5 m/seg.) que no provoque erosión excesiva; el tamaño de la sección del canal se podrá calcular usando la siguiente ecuación:

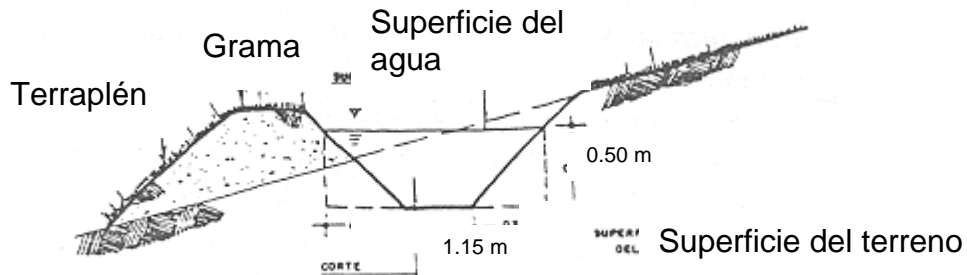
$$A = \frac{Q_p}{v} \qquad A = (B + mh)h \text{ area del trapezoidal}$$

$A$  = área de la sección de la zanja [ $m^2$ ]

$v$  = velocidad máxima promedio [ $m/seg.$ ];  $B$  = base del trapezoidal (m)

$h$  = altura ;  $m$  = talud

**Figura 14. Detalle de la sección transversal del canal trapezoidal**



### **2.3.12.6 Características del suelo**

En el terreno de dicho proyecto es de un material de madre y característica del perfil, material madre ceniza volcánica de color claro, relieve escarpado. Suelo superficial de color café oscuro y de textura franco limosa y de consistencia friable espesor de 25cms aprox. Con subsuelo de color café rojizo oscuro con textura franco arcillosa o arcilla y de consistencia friable, espesor de 75cms. Las características de suelo requeridas para un relleno sanitario corresponden a las características geológicas de estratos del periodo terciario con depósitos aluviales con presencia de arcillas, limos.

Idealmente los sitios deben estar localizados en suelos sedimentarios con características arcillosas (impermeables) las cuales restringen el movimiento del líquido lixiviado generado por los residuos sólidos; además que serán usados como material de cobertura para los residuos.

Las características geológicas, tierra altas volcánicas, rocas ígneas y metamórficas terciario, rocas volcánicas sin dividir predominante mió-plioceno incluye tobas coladas de lava material laharico y sedimentos volcánicos.

### 2.3.12.7 Detalles propios del proyecto

Producción total de basura Kg./hab.-día	5,158.92 kg/día
Cantidad de la basura	1,883 ton/ año
Vida útil	10 años
Densidad de la basura	0.5 ton/ m <sup>3</sup>
Volumen relleno por año	3,138.34 m <sup>3</sup> / año
Volumen del terreno a rellenar	34,458 m <sup>3</sup>
Área del terreno	2,566 m <sup>2</sup>
Altura celda diaria	2 m
No. de celdas por nivel	2
Altura por nivel	4 m
Numero de niveles	8
Talud de celda residuos	VIH 1:3
Pendiente mínima de fondo base	1
Pendiente máxima de fondo base	3
Pendiente superficies horizontales	2
Ancho camino perimetral	6 m

El tipo de relleno a construir es el denominado de área, es decir los residuos se depositarán sobre el terreno ya preparado e impermeabilizado, formando niveles aterrazados. La geometría del relleno se ha desarrollado considerando aspectos de estabilidad estructural, funcionalidad y aspectos paisajísticos.

El objetivo principal de diseño, ha sido el dar una correcta disposición final a los residuos sólidos, de modo que no exista ninguna interacción entre estos a los subproductos que se generan debido a su descomposición con el medio ambiente.

Es decir, el relleno debe actuar como una estructura que permita mantener totalmente confinados los residuos, el adecuado manejo de los desechos sólidos, durante toda la vida útil del relleno y mientras estos se mantengan activos.

Uno de los aspectos de mayor relevancia dentro del diseño de relleno sanitario lo constituye la base o fundación de éste dado que dicha superficie deberá soportar la carga impuesta por el depósito de residuos.

Las variables más importantes en la consideración dicen relación entre otros con los esfuerzos generados por los desechos que depende de la altura del relleno, pendientes de los distintos niveles, compactación de los residuos, ingreso de aguas lluvia al sistema, cobertura de las celdas, los esfuerzos generados por cargas sísmicas y dinámicas. Además de la interacción entre la impermeabilización de fondo, el subsuelo y la masa de desechos y la minimización de las profundidades de excavación.

Cabe destacar que cada uno de estos aspectos han sido considerados en el diseño y en base a ellos se han fijado las siguientes restricciones: Las pendientes de fondo están condicionadas, el suelo soportante deberá tener una capacidad estructural tal que permita soportar la carga impuesta para ello se han construido terrazas.

Los suelos existentes permiten la construcción del relleno propuesto y por lo tanto sólo será necesario efectuar los movimientos de tierra (cortes y rellenos) previstos para obtener las pendientes finales dadas a la base del proyecto. Las pendientes de fondo diseñadas además de cumplir con las exigencias antes indicadas consideran a la vez las necesidades definidas por el sistema de manejo de líquidos, es decir permitir su escurrimiento gravitacional, que para nuestro proyecto se ha contemplado una pendiente entre el 1% al 3%.

En función de las características del lugar y de la base del relleno se diseñó geoméricamente el relleno sanitario considerando para ello las siguientes condiciones: la altura de las celdas diarias será de 2 m, las pendientes de los taludes de las celdas serán de 1:3 (V: H). Dé modo de proteger a los taludes de los efectos del escurrimiento de aguas lluvia y a la vez permitir el correcto trabajo de las máquinas de compactación de residuos.

Las superficies horizontales se construirán con pendientes mínimas de 1% para permitir el fácil escurrimiento de aguas de precipitación y evitar que estas se acumulen en dichas superficies. La altura máxima del relleno estará dada por la intercepción de las líneas de los taludes de las celdas. El relleno se irá conformando de modo de aprovechar el apoyo en las laderas de los cerros y así lograr un mayor confinamiento de los residuos.

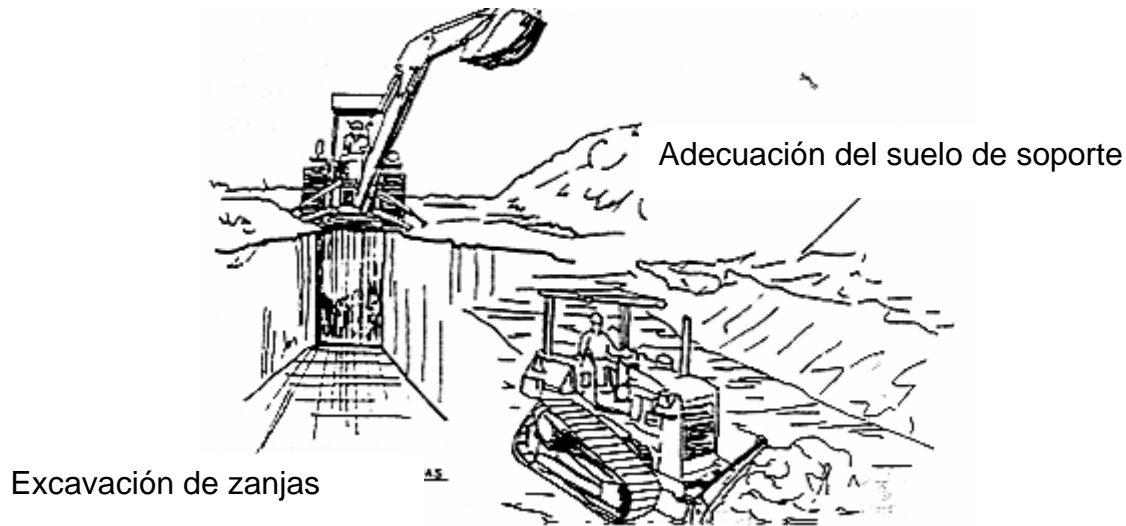
Tratamiento del suelo de soporte. Antes de comenzar el relleno, se debe tomar la decisión con respecto a la necesidad de remover las primeras capas de suelo, dependiendo de la cantidad de material de cobertura disponible.

Para la nivelación del suelo de soporte y los cortes de los taludes, es también aconsejable que el movimiento de tierra se haga por etapas dependiendo de la vida útil del sitio, así la lluvia no causará erosión al terreno ni se perderá tierra que podría ser utilizada como cobertura. De otro lado, se debe almacenar y conservar la cubierta vegetal de las áreas iniciales de terreno para que a medida que se vayan terminando algunas áreas del relleno ésta sirva de cubierta final para la siembra de pasto o grama.

En la nivelación del suelo de soporte y en la apertura de zanjas, se debe emplear equipo pesado (tractor de orugas y/o retroexcavadora), puesto que la excavación manual es demasiado ineficiente.

Asimismo, debe utilizarse un equipo similar para la construcción de vías internas o extracción y almacenamiento de material de cobertura (esta última actividad se recomienda sólo en períodos secos).

**FIGURA 15. Movimiento de tierras para la preparación del sitio**



Cuando sólo se cuenta con terrenos cenagosos o pantanosos éstos pueden aprovecharse para construir un relleno sanitario manual, bajando el nivel freático permanentemente mediante el siguiente procedimiento:

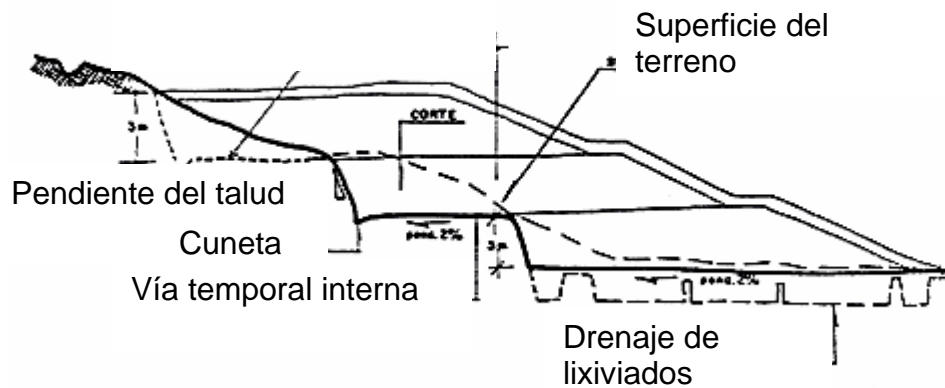
Excavar una o varias zanjas de drenaje en la parte inferior del terreno a la profundidad que se requiera en cada caso, hasta determinar que las primeras capas de basura del relleno estén como mínimo de 0.60 m a 1.00 m sobre el nivel más alto del agua.

Colocar una tubería perforada de concreto y llenar con piedra la zanja, a manera de filtro, a todo lo largo de la misma. Cubrir con tela de ingeniería (geotextil) o material similar el drenaje de piedra para evitar que se pase. Colocar una capa de 0.60-1.00 m de material arcilloso sobre la tela para alcanzar el aislamiento entre la superficie superior del drenaje y los desechos sólidos a fin de evitar una posible contaminación del agua.

Se debe tener cuidado de no cruzar los drenajes del líquido percolado con la zanja de drenaje para abatir el nivel del agua.

Los taludes del terreno se dejan de tal manera que no causen erosión y puedan darle buena estabilidad al relleno. El esparcimiento y compactación debe realizarse capas inclinadas con una pendiente 3:1 (H: V) dependiendo del tipo de suelo y los cortes de uno a tres metros. Las terrazas deben tener una pendiente del 2% hacia los taludes interiores para conducir las aguas de lixiviado a los drenajes y evitar encharcamientos cuando se usen como vías temporales de acceso; lo anterior contribuye también a brindar mayor estabilidad a la obra.

**FIGURA 16 Cortes de los taludes y del suelo de soporte**



Por lo tanto, 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.

Para obtener una mayor eficiencia, se recomienda construir también estos drenajes en todas las bases de los taludes interiores y exteriores de las

terrazas o niveles que conforman el relleno sanitario a fin de evitar su escurrimiento por la superficie de los taludes inferiores y además interconectarlos con el drenaje vertical de gases.

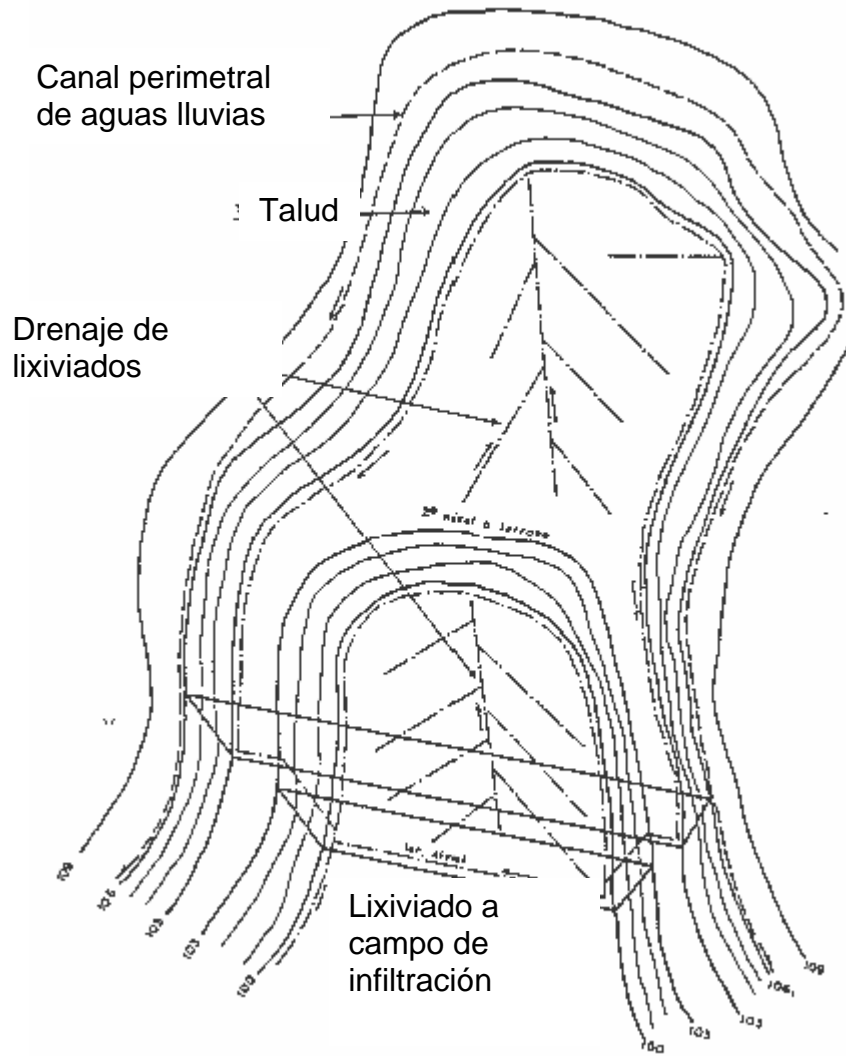
Construcción del sistema de drenaje. El sistema de drenaje consiste en una red horizontal de zanjas en piedra, interrumpiendo el flujo continuo del percolado por medio de pantallas en tapia y madera o incluso del mismo terreno. Los drenes se pueden construir así: Se prepara el trazado por donde se ubicará 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 percolado pueda escurrir sin rebosar las zanjas, se les dará en el fondo una pendiente del 2% 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 percolado. 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.

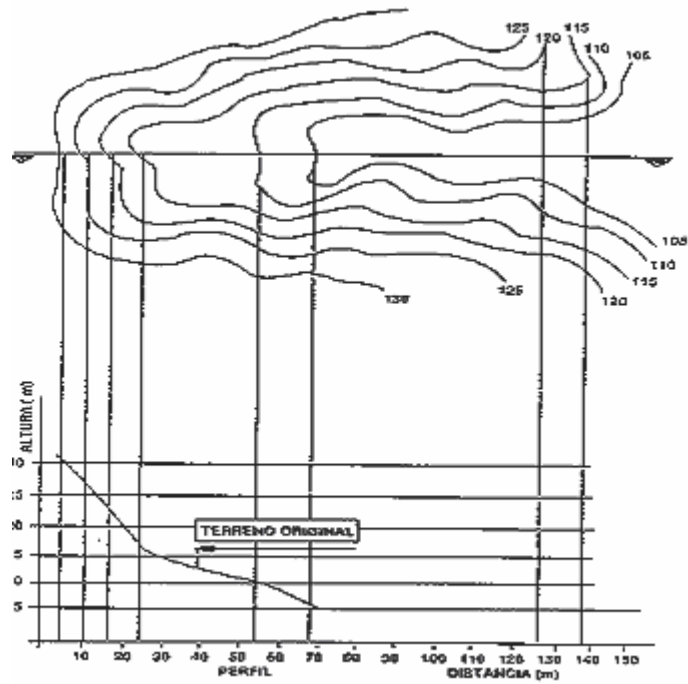
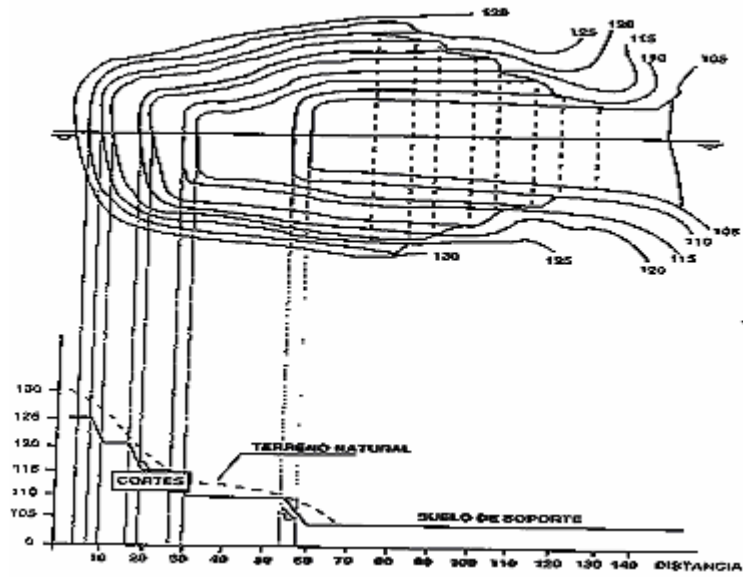


**FIGURA 17. Distribución del sistema de drenaje de lixiviados**

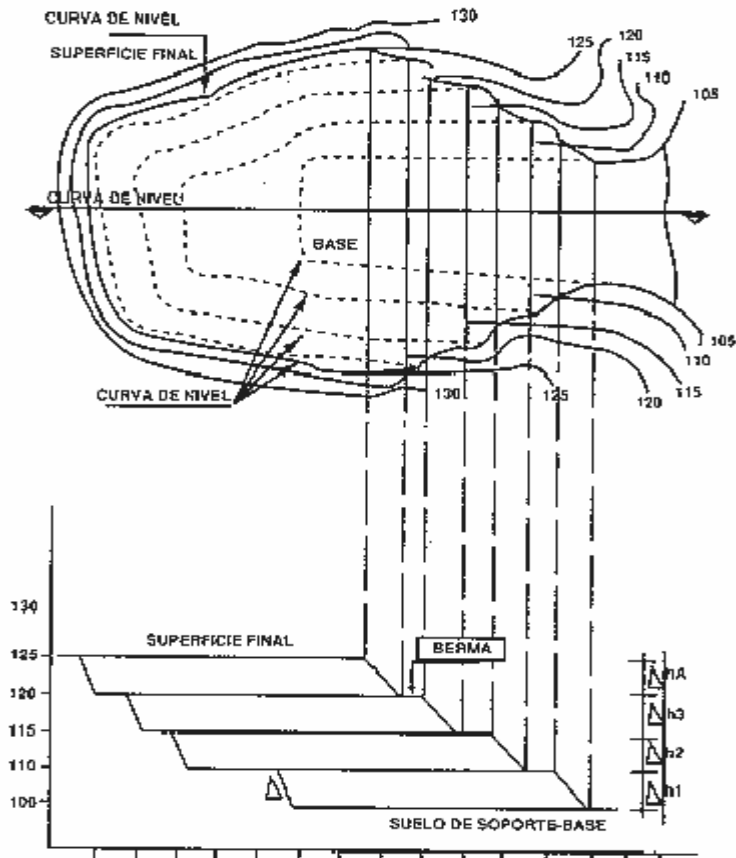


En la figura Podemos observar el sistema de los drenajes lixiviados similar al sistema espina de pescado.

FIGURA 18. Perfil del terreno



**Figura 19. Conformación de las terrazas de los desechos**



Cuando ocurran períodos de lluvias fuertes, y la cantidad de lixiviado sea tal que exceda la capacidad de los drenajes en el interior del relleno se recomienda prolongar y orientar el sistema de drenaje de las mismas características y conformar por fuera del relleno un campo de infiltración que permita por lo menos almacenar este líquido durante estos días de lluvia.

En este drenaje fuera del relleno pueden dejarse algunos tramos alternos entre pantalla y pantalla sin efectuar el llenado de piedras. Esto se hace con varios propósitos, entre ellos:

Estimar el volumen del percolado que sale del relleno.

Verificar la cantidad de material sólido que se ha sedimentado lo que nos puede indicar el momento de efectuar la limpieza del drenaje exterior del relleno.

Introducir a las operaciones de rutina diaria el cubrimiento de las celdas y áreas terminadas temporalmente con material plástico a fin de impedir la infiltración del agua de lluvias a través de las basuras. Mediante esta práctica se podrá reducir significativamente el volumen de lixiviado. Conviene recordar que la cantidad de material plástico que se requiere es reducida si se tiene en cuenta la poca extensión del relleno y el método de trabajo.

Se puede utilizar el material plástico que ha sido desechado de los invernaderos de grandes cultivos.

Proceder a aplicar la cobertura final e inmediatamente sembrar grama sobre las áreas terminadas del relleno.

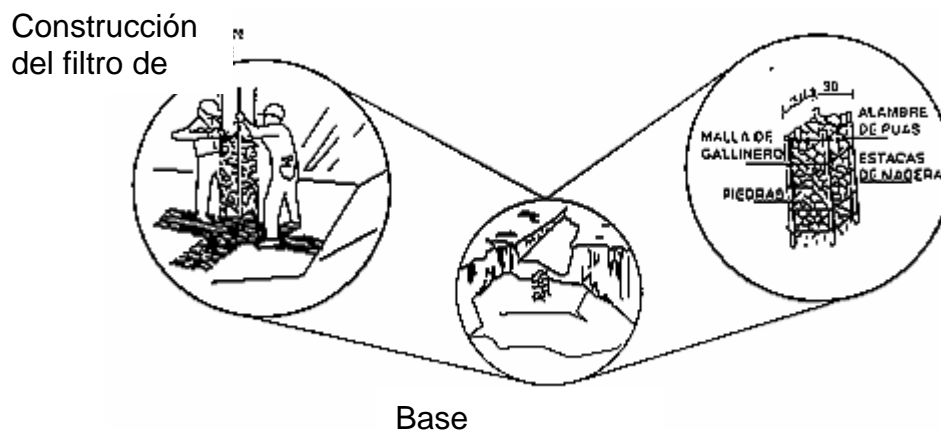
En caso de que el suelo no permita la infiltración o que el acuífero esté siendo usado como fuente de abastecimiento en una zona cercana se requerirá tratar el lixiviado.

Frente a la alta concentración de material sólido en el lixiviado, el tratamiento sólo a través de procesos químicos resulta demasiado costoso.

Dado que el percolado de los residuos sólidos municipales presenta características semejantes a las aguas residuales domésticas (con gran porcentaje de materia orgánica biodegradable de difícil ponderación), se deben realizar estudios de tratabilidad para aplicar los tratamientos biológicos con el fin de mejorar en lo posible la calidad de este líquido. Entre los procesos biológicos que pueden ser utilizados en el tratamiento del percolado, se tienen los filtros percoladores y las lagunas de estabilización.

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.

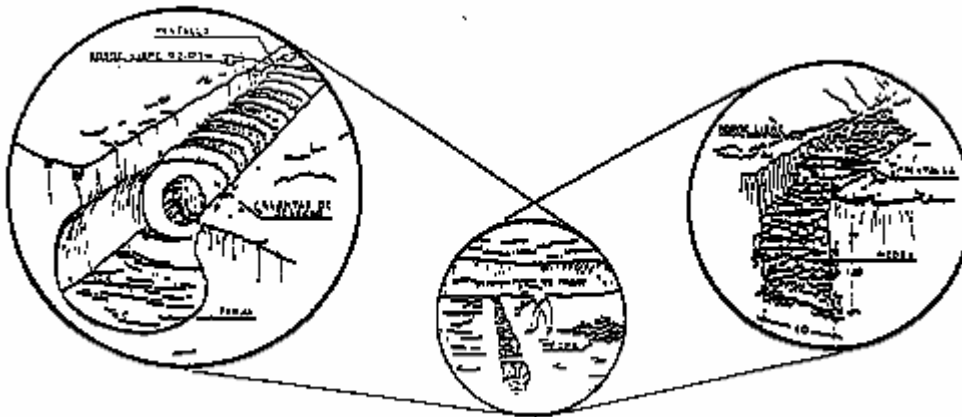
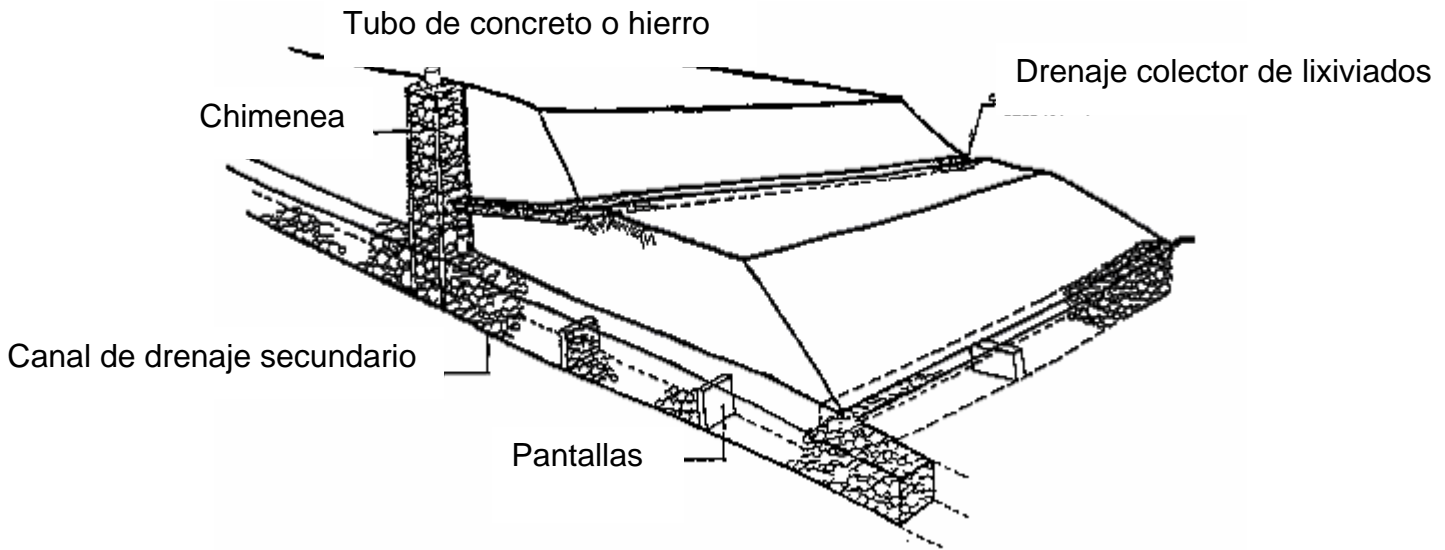
**Figura 20. Método constructivo del drenaje de gases**



- Construcción de las chimeneas utilizando estacas de madera, alambre de púas o malla de gallinero y piedras
- Construcción de las chimeneas utilizando un tubo plástico o metálico y piedras. El tubo se va extrayendo a medida que se eleva el relleno

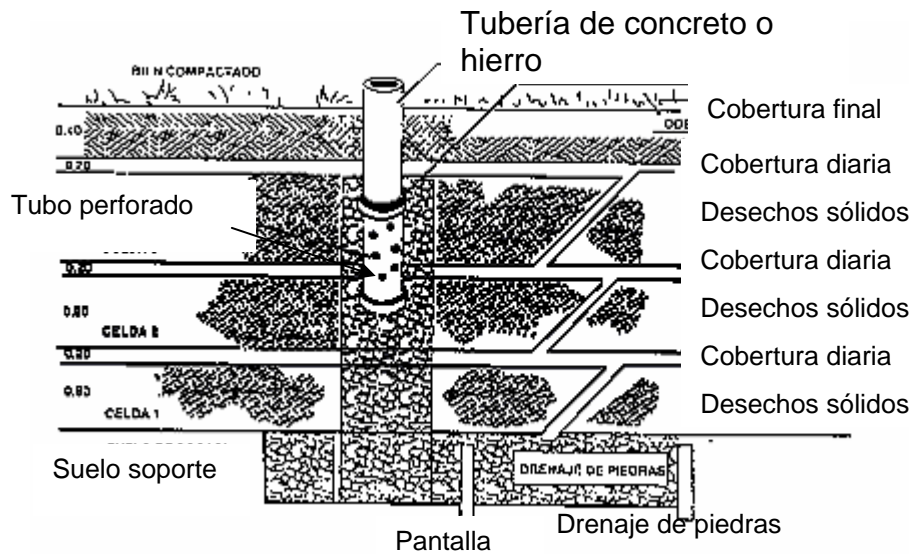
Se deben interconectar los drenes, a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el relleno sanitario.

**Figura 21. Interconexión de drenaje (Corte de terrazas)**

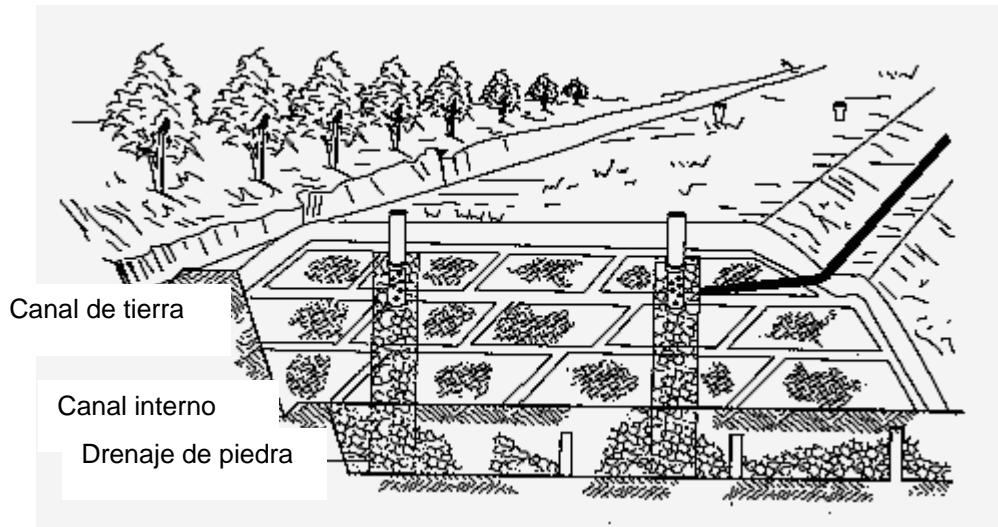


Luego de tenerse prevista la conclusión de la última celda, se colocan dos tubos de concreto o de metal: el primero, perforado para facilitar la captación y salida de gases; además, para que los desechos sólidos o la tierra de cobertura no obstruyan los orificios del tubo se reviste en piedra o cascajo a manera de camisa de protección. El segundo tubo en cambio no será perforado a fin de coleccionar el gas y quemarlo eliminando los olores producidos por otros gases.

**Figura 22. Detalle constructivo del filtro para drenaje de gases**



**Figura 23. Distribución de las chimeneas en el relleno**



Fuente: Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manual programa de salud ambiental (Organización Panamericana de la Salud)

### **2.3.13 Consideraciones para el manejo de residuos sólidos y protección ambiental**

La municipalidad de Mataquescuintla, al hacer un análisis de la agudización del problema, siendo este mayor cada día que transcurre, decide tomar el apoyo técnico que le ofrece la universidad de San Carlos, que pretende reducir la contaminación ambiental y mejorar el entorno a través del establecimiento de un sistema sostenible para el manejo de residuos sólidos; disminuir los riesgos para la salud humana derivado de la mala disposición final de los desechos sólidos, mediante la eliminación de focos de contaminación 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 ocasionara 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 periodo de recepción de residuos, etapas de poscierre y control del área rellenada en todos los casos en que se generan



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 mayo 2005 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 Republica 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 Republica 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 desarrollara 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.

Las actividades del componente incluyen el estudio de viabilidad económica del sistema, la definición de una estructura organizativa eficiente que incluya normas y mecanismos de control administrativo y contable, el establecimiento de cuotas de acuerdo a los niveles socioeconómicos de los sectores de la población, la comercialización de los productos finales, monitoreo y evaluación. El concepto de empresa se orienta a una concesión municipal que posibilite la participación de grupos privados, organizaciones locales o trabajadores de la planta, la municipalidad mantendrá la propiedad de la infraestructura y supervisara que la misma cumpla con las funciones establecidas en los reglamentos municipales para el manejo de los desechos sólidos.

#### **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.

#### **2.4.6 Monitoreo y evaluación del proyecto**

Todos los proyectos de relleno sanitario usan un sistema estándar para medir su progreso en relación con las metas, actividades y resultados planificados. Se elabora un informe de implementación del proyecto, el cual es monitoreado trimestralmente, basado en la información básica que se recopila en el ámbito de campo y en el análisis de la gerencia, ajustado a los planes y objetivos del mismo.

Una evaluación formal será realizada a finales del segundo año concentrándose en el desempeño, la sustentabilidad y el progreso realizado hacia el logro de las metas del proyecto.

Para mejorar la calidad del servicio de aseo en los municipios pequeños se recomienda contratar a un tecnólogo o promotor de saneamiento, quien tendrá las funciones de jefe de aseo urbano o supervisor de aseo.

Este funcionario será entonces el encargado de coordinar tanto el relleno como todo el servicio de aseo, sirviendo de interlocutor entre los usuarios, los trabajadores y la administración.

Los administradores del servicio de aseo deben estar constantemente enterados de la calidad de las operaciones del relleno sanitario manual.

Entre otras funciones, el supervisor de aseo realizará las siguientes actividades específicas:

- Dar las instrucciones y distribuir adecuadamente las tareas asignadas con base en la programación definida por la dirección en lo que respecta a cada una de las actividades del servicio (recolección, transporte y disposición final de basuras).
- Velar por la eficiencia y calidad del servicio, planificando el abastecimiento y mantenimiento de materiales, herramientas y equipos necesarios para el buen desempeño de las labores.
- Ejercer los controles del caso, tanto en la recolección como en el propio relleno sanitario manual.
- Informar periódicamente sobre el desarrollo de las actividades y anomalías que se presenten.
- Dentro de lo posible, se recomienda que las personas que hayan recibido una adecuada capacitación en las distintas actividades del aseo urbano - especialmente en la construcción y operación del relleno sanitario manual no sean cambiadas con frecuencia, pues esto se traduce en bajas eficiencias y mayores costos.

## **2.5 Sistema de recolección de los desechos sólidos**

### **2.5.1 Investigación de desechos sólidos**

La periodicidad de la extracción de basura en el área urbana del municipio es la siguiente 24% de viviendas, el 31% de instituciones y el 45% de comercios la extraen diariamente, el 29% de viviendas, el 21% de instituciones y 50% de comercios realiza la extracción una vez a la semana. 24% viviendas, 47% instituciones, 29% instituciones dos veces por semana. Para el diseño del sistema de recolección y disposición de los desechos sólidos se necesita lo siguiente.

Composición de la basura, cantidad de basura por habitante por día, densidad de la basura, población a servir. Mostrada en pag. 55 y 56.

La recolección y el transporte de la basura es de suma importancia para la salud de cualquier población, por tal motivo hay que tomar varias decisiones para su mejor funcionamiento, los cuales son

- Agencia de recolección
- Punto de recolección
- Frecuencia de recolección
- Horario de recolección
- Equipo
- Tamaño de cuadrilla



Punto de recolección, el tipo de recolección a utilizar es domiciliar y el punto de recolección más aceptable es desde la banqueta, la recolección desde la banqueta de la vivienda es aceptable y el costo relativamente bajo, por lo que es el sistema preferido, siendo necesario solamente que los depósitos para la basura sean adecuados.

Frecuencia de la recolección, por razones sanitarias no conviene reducir la frecuencia a menos de dos veces por semana. La recolección en los días feriados la forma lógica de compensar al personal es mediante el pago de sobre tiempo, pero si ello no fuera posible, habría que establecer algún sistema de turnos.

El horario de recolección a utilizar será de 7:00 a 12:00 hrs. y de 13:00 a 16:00 hrs., haciendo un total de 8 hrs. diarias en semana laboral de 6 días.

Equipo, consideraciones teóricas el equipo a utilizar para la recolección de desechos sólidos son, un camión con capacidad de 20 m<sup>3</sup> y de 4 toneladas a soportar, transportando 15 m<sup>3</sup>, un camión con capacidad de 12 m<sup>3</sup> y 2 ½ ton a soportar, transportando 9 m<sup>3</sup> de basura. Para las rutas de recolección se trata de aumentar la distancia productiva, los recorridos no deben fragmentarse ni traslaparse, se debe tratar que el inicio de una ruta este cerca del garaje y el final este cerca del lugar de disposición final. En lugares con colinas o fuentes desniveles del terreno, el recorrido debe procurar hacerse desde la parte alta hacia la parte baja, recoger simultáneamente ambos costados de la calle, sin embargo ello no es recomendable en avenidas muy anchas o con mucho tránsito. En el caso de calles muy cortas o sin salida es preferible que los camiones recolectores no entren en ellas, que esperen en la esquina y que el personal vaya a buscar los depósitos de basuras, esto economiza mucho tiempo.

Numero de viajes por turno (N) para el diseño de rutas  
Lo determinamos, con los siguientes tiempos.

A = desde el garaje hasta el comienzo del recorrido= 4 minutos

B = duración de la recolección= 5.15 horas = 309 minutos

C1 = en ir al lugar de disposición = 15 minutos

C2 = en regresar al lugar de disposición = 0min

D = en el lugar de disposición (descarga) = 30min

E= desde el lugar de disposición al garaje = 10min

F= improductivo = 1.75hrs=105 minutos

J = jornada de trabajo = 8 horas

N = numero de viajes por turno

V = volumen de la basura = 15 m<sup>3</sup>

$J=A+B+N(C1+C2+D) - C2+E+F$

$N = (J-A-B+C2-E-F) / (C1+C2+D)$

$N = 52/45 = 1.15$  viajes

Por lo tanto, se usara: 1 viaje para camiones de 15m<sup>3</sup> de basura

Para el cálculo del número de unidades se tiene, capacidad de cada camión (C), Volumen del camión = de 20 m<sup>3</sup> transportara 15m<sup>3</sup> de basura.

Densidad = peso/ volumen= 450 kg/m<sup>3</sup>

$C = 450\text{kg/m}^3 \cdot 15\text{m}^3 = 6,750 \text{ kg/día}$

Calculando el número de unidades se tiene

$K = 1.3 \cdot B / N \cdot C$

$K = 1.3 \cdot 5158.90 \text{ kg/día} / 1 \cdot 6,750\text{kg/día} = 0.99$  camiones, o sea

1 camión de 20 m<sup>3</sup> de capacidad y 4 ton a soportar

El camión hará un viaje diario

Tamaño de la cuadrilla

Para el camión de 20m<sup>3</sup>: el piloto y 3 peones- cargadores

Tiempo de recolección efectiva, es el tiempo que queda disponible para recoger desechos sólidos por casa.

$T_r = \text{laboral diario} - \text{tiempo de no recolección}$

Tiempo laboral=8horas

$T_r = 8 \text{ horas} - T_{nr}$

$$T_r = 480 \text{ minutos} - \frac{\sum_{i=1}^{i=7} T_i + (X-1)(T_3+T_4+T_8)}{X}$$

8 horas = 480 minutos

X= numero de cargas realizadas por el carro colector por dia

Fases de recolección macrorutas

Macrorutas, a la selección y cálculos de los tiempos de viaje entre los sitios de recolección y los sitios de disposición final, se llaman macrorutas, el objetivo es optimizar los recursos disponibles y prestar un servicio mas eficiente, estos tiempos pueden llamarse tiempos de no recolección efectiva de desechos sólidos.

Microrutas, su objetivo fundamental es minimizar las distancias de recolección puerta a puerta una forma de evaluar los tiempos de recolección

$$T_N = \frac{(l=S)}{100T_cP_c} \left( \frac{7}{N} \right) + ((T_4 + 2e/V_c) * (\sum_{i=1}^{i=7} M_i D_i (ppc)) + \sum_{i=1}^{i=7} M_i D_i (ppc))$$

$T_N$ =tiempo para efectuar la recolección en una manzana en minutos/dia

S=factor de corrección de  $t_n$

$7/N$  = tiempo máximo entre recolección (dia)

$T_4$ = tiempo de descarga en el relleno sanitario

$e$ = distancia de los sitios de recolección al relleno

1000 = factor de conversión (toneladas a kilogramos)

$p_c$ =peso del camión recolector(ton)

$M_i$ =numero de manzana

$D_i$ =densidad de población en sector "i"

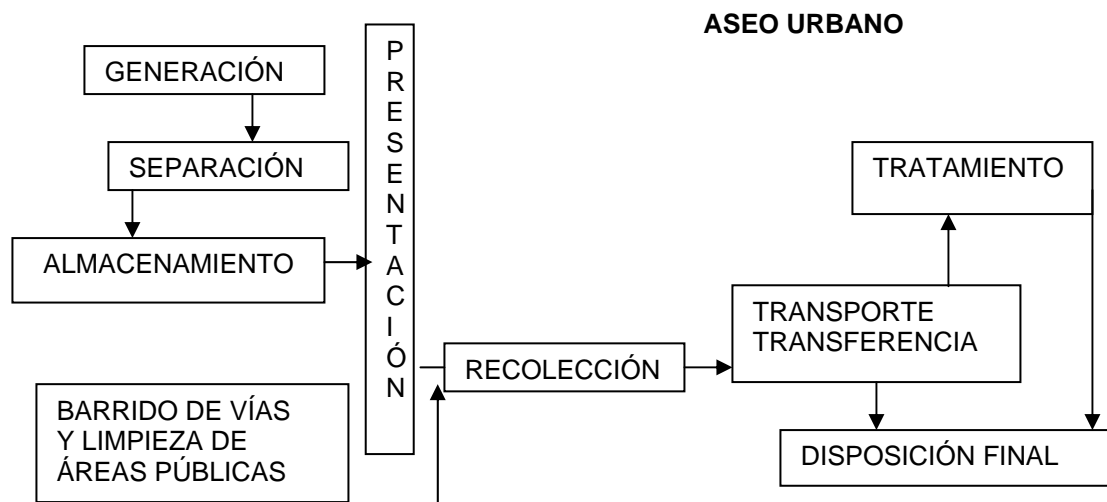
$(ppc)_i$  = producción de desechos sólidos per cápita en el sector "i"

$V_c$ =velocidad de recolección (kg de D.S/min)

$a=27.850$ ,  $b=0.052$  cte de regresión.

$a, b$ = constantes de regresión al ajustar la velocidad de recolección de los desechos solidos en una ruta.

**Figura 24. Proceso de los residuos sólidos municipales**



## 2.6 Costo del relleno sanitario

### 2.6.1 Costo inicial

**Tabla I. Costo inicial**

Costo de apertura del relleno y de clausura del basurero

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo</b>
a) Estudios y diseños	0		0	0
b) Adquisición del terreno	0		0	0
c) Apertura Relleno				
- Limpieza y desmonte	2,566	m <sup>2</sup>	Q12	Q30,792
- Mów. de tierras	480	m <sup>3</sup>	Q300	Q144,000
- Vías de acceso	1	global	Q114,808	Q114,808
- Drenaje gases	33	ml	Q1,812	Q59,800
- Drenaje lixiviados	35	ml	Q2,285	Q79,975
- Cercas	90	ml	Q200	Q18,000
- Arborización	800	unidad	Q10	Q8,000
- Casetas, almacén.	1	global	Q51,000	Q51,000
- Instal. sanitarias	1	global	Q15,000	Q15,000
- Cartel	1	unidad	Q1,500	Q1,500
- Puerta	2	unidad	Q900	Q1,800
d) Clausura Basurero				
- Estudios y diseño	1	unid.	Q20,000	Q20,000
- Alquiler maquinaria	320	hr.	Q300	Q96,000
- Material cubierta	437	m <sup>3</sup>	Q80	Q34,960
- Vegetación	2000	m <sup>2</sup>	Q5	Q10,000
<b>Total</b>				Q685,635

## 2.6.2 Costos de operación **Tabla II. Costo de operación**

Mano de obra	Q420,000 c/año
- Herramientas	Q88,520 c/año
- Elementos de protección	Q40,000 c/año
- Mantenimiento	Q150,000 c/año
- Adecuación periódica del sitio (Caminos, drenajes, excavaciones)	Q100,000 c/año
<b>Total</b>	<b>Q798,520 c/año</b>

**Q 798, 520 X 10 (vida útil)= (en los 10 años del proyecto).....Q 7, 985,200**

El personal afectado a la operación del relleno sanitario manual

Un encargado del servicio, un chofer maquinista, un administrador, un ingeniero civil, un ingeniero con maestría en sanitaria, un vigilante y dos peones.

Las herramientas utilizadas en el relleno sanitario manual, se considera su duración es de un año. Los elementos de protección podrían ser dos uniformes por año, un par de botas, gafas, mascarillas y guantes, su costo se evalúa según los precios locales. Las tarifas que hay que aplicar a la población varían según la política que establezca la municipalidad o alcaldía, aunque esta en función del volumen de basura generada y del tipo de usuario, la disponibilidad económica, este caso las familias pagan por el servicio, independiente de su situación económica, la tarifa se calcula;

Tarifa mensual media = costo de operación / 12\* (numero de viviendas)

Las cuales quedan así: Q10 domicilios particulares, Q25 comercios, Q30 colegios y Q35 pensiones estas tarifas son para los costos de disposición final.

Las tarifas recolección de la basura se considera; Q 15 mensual domicilios, Q30 comercios, Q35 colegios y Q40 pensiones.

### 2.6.3 Costo estimado recomendado para el municipio

TOTAL =Q/. .....Q 9, 622, 729

### 2.6.4 Resumen de costos      Tabla III. Resumen de costos

Costo inicial	Q 685, 635
Costo de operación (completo)	Q 7, 985,200
Costos finales de clausura	Q 150, 000
<b>Sub. Total</b>	<b>Q 8,820,835</b>
Indirectos (10%)	Q 801,894
<b>Costo total del proyecto</b>	<b>Q9, 622,729</b>

**Costo total del proyecto** = Q/. .....Q 9, 622, 729  
**TOTAL DÓLARES (USA) T.C.=\$/7.60** = .....\$1,266,148

Recuperación de Capital

$$R = Vp * [ i * (1 + i)^n / (1 + i)^{n-1} ]$$

VP= valor presente, i=4.22 % de acuerdo al BID, n= 10 años.

$$R= Q423,215.7 .$$

Valor futuro en los 10 años

$$VP= R [ (1 + i)^{n-1} / i ]$$

$$VP= Q14,548,189.30$$

La recuperación de costos de operación, en muchas ocasiones los municipios han obtenido el apoyo o un subsidio para cubrir las inversiones iniciales y parte de la operación, en este caso, los costos anuales del servicio de la tarifa de disposición final cubre un 75% del costo de operación.

Uno de los aspectos que frecuentemente descuidan los administradores municipales es el relativo a la recolección y análisis de los costos del servicio de aseo urbano, pese a que estos presentan uno de los mayores problemas puesto que en general este servicio debe ser subsidiado por el municipio devorando gran parte del presupuesto. Por lo tanto, es necesario enfatizar la importancia de recolectar la información relacionada con los costos del relleno sanitario manual, tanto durante, la etapa de inversión como la construcción, operación y mantenimiento, puesto que su análisis nos permite buscar los máximos rendimientos con una mayor economía. Se recomienda separar las cuentas de cada servicio público.

**2.6.5 Viabilidad económica del proyecto      Tabla IV**

Año	inversión	Año	inversión
2005	Q9, 622, 729	2011	Q12, 851,556.71
2006	Q10, 452,023.87	2012	Q13, 393,892.40
2007	Q10, 893,099.28	2013	Q13, 959,114.66
2008	Q11, 352,788.07	<b>2014</b>	<b>Q14, 548,189.30</b>
2009	Q11, 831,875.72		
2010	Q12, 331,180.88		



## 2.6.6 Cronograma de ejecución

Tabla V

ACTIVIDADES	1MES	2MES	3MES	4MES	5MES	6MES
<b>Identificación del sitio a rellenar y sus alrededores.-----</b>						
- Selección del sitio	X					
- Levantamiento topográfico	X					
- Estudios y diseño		X	X	X		
<b>Infraestructura periférica.</b>						
- Vías de acceso				X	X	
-Drenaje pluvial					X	
-Desvío y aislamiento de eventuales cursos de agua					X	X
<b>Infraestructura del relleno.</b>						
- Limpieza y desmonte	X	X				
- Cortes		X	X			
- Preparación del suelo de soporte		X	X			
- Drenaje de líquido percolado		X	X	X		
- Drenaje de gases				X	X	X
- Acceso interno			X	X		
- Drenaje pluvial interno			X	X	X	
<b>Construcciones auxiliares.</b>						
- Cerca perimetral			X	X		
- Arborización perimetral				X	X	
- Caseta o portería						X
- Valla publicitaria o cartel	X					
- Caseta			X			
-Instalaciones sanitarias			X			
- Pozo de monitoreo				X	X	X
<b>Clausura botadero (s).</b>						
- Exterminio de roedores y artrópodos	X	X				
- Cubrimiento con tierra y apisonado		X	X			
- Cercado	X					
- Avisos	X					
<b>Inicio de operación del relleno.</b>						X



## **2.7 Operación y mantenimiento**

### **2.7.1 Operaciones 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

Para la operación de clausura del botadero, en lo posible se deben realizar las siguientes acciones:

- Hacer pública la clausura del botadero, anunciando que ya no se permitirá la disposición de basuras en el lugar e informar además a la comunidad sobre la existencia del relleno sanitario manual para que se dirijan al mismo y su ubicación para obtener su cooperación.
- En especial a los comerciantes, que esporádicamente generan gran cantidad de basuras y contratan a un particular para su disposición, informarles de la existencia del relleno sanitario manual, e indicarles que las depositen allí.

- Colocar avisos informando a la ciudadanía las sanciones que se aplicarán a quienes infrinjan las normas dictadas al respecto.
- Construir un cerco para impedir el ingreso de personas extrañas y de animales.
- Realizar un programa de exterminio de roedores y artrópodos. En esta actividad es importante la asesoría de la división de saneamiento ambiental de los servicios de salud. Si esta etapa no se realiza, es posible que esos bichos, al no disponer de guarida y alimento (por el enterramiento de las basuras), emigren a las viviendas vecinas, con los consiguientes riesgos y problemas.
- Inmediatamente después del exterminio, se procede a cubrir con tierra bien compactada todos los botaderos con una capa de 0.20 a 0.40m de espesor, y se proveen los drenajes necesarios para evitar la erosión
- Sembrar vegetación sobre la tierra de cobertura en toda el área.
- 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 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 manual, como su nombre lo indica, todas las operaciones están basadas en el trabajo desarrollado por obreros del municipio o comunidad. 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. Para la operación del relleno sanitario manual, el equipo necesario se reduce al empleo de herramientas o utensilios de albañilería, tales como: carretillas de llanta neumática, palas, picas, azadones, barras, pisones de madera, así como de horquillas o rastrillos y un rodillo compactador.

La cantidad de estas herramientas está en función del número de trabajadores y éstos a su vez dependen de la cantidad de desechos sólidos a enterrar en el relleno.

Para el acarreo del material de cobertura o basura, sobre las celdas ya construidas se recomienda la colocación en la superficie del relleno de unos tabloncillos en forma lineal para facilitar el desplazamiento de las carretillas, sobre todo en época de lluvias, mejorando así los rendimientos en la operación.

### **2.7.2 Clasificación y descarga**

Esta etapa la realizarán los empleados contratados para agilizar los respectivos trabajos.

### **2.7.3 Comercio y retiro del subproducto clasificado**

Se tendrá que comercializar con empresas que se dedican a la compraventa de toda clase de sólidos inorgánicos.

### **2.7.4 Mantenimiento**

Las áreas donde se tendrá contacto con los sólidos contarán con una torta de concreto para que haya una constante limpieza.

- **Recursos**

A diferencia de otras obras, la construcción de un relleno sanitario manual requiere de una constante supervisión y mantenimiento, lo cual implica algunos gastos que, aunque son mínimos, deben ser atendidos oportunamente, debiendo preverse los recursos correspondientes en el presupuesto anual del municipio.

- **Supervisión**

Uno de los elementos más importantes en el relleno sanitario manual es el jefe o supervisor de aseo, quien debe organizar, dirigir y controlar las operaciones; además, debe contar con el pleno respaldo de la administración municipal.

Si el relleno sanitario manual no cuenta con una buena supervisión ni con un adecuado mantenimiento técnico y económico, fácilmente podrá convertirse

en un botadero a cielo abierto, con todos sus perjuicios. Un relleno sanitario manual exige una constante supervisión para poder evitar fallas futuras.

- **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 mantención 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.

- **Abastecimiento de materiales y herramientas**

Una vez concluidas las labores diarias, las herramientas deben dejarse limpias y en caso de daños o quiebras, deben ser reparadas o sustituidas a la mayor brevedad. Uno de los mayores problemas administrativos es el abastecimiento de materiales del cual depende todo mantenimiento. Por lo tanto, es necesario planificarlo. Esto incluye la previsión de piezas y otros materiales que deben depositarse en el almacén del municipio. Es conveniente también llevar un control de las herramientas e implementos suministrados a los trabajadores tanto para su inventario como para establecer el tiempo de reposición por daños.

- **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.

- **Material Disperso**

Es importante mantener limpias las áreas adyacentes al frente de trabajo diario, puesto que en algunas ocasiones, cuando se dejan acumular los papeles volantes arrastrados por el viento se brinda un mal aspecto a la apariencia estética del relleno. Se aconseja que uno de los trabajadores, utilizando un saco o un costal, recoja todos estos materiales dispersos al término de la jornada diaria y los deposite en el sitio donde se construye la celda.

- **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.

- **Acabado final y asentamiento**

La colocación de la cobertura final y el engramado requiere gran atención, pues no sólo incide en el funcionamiento, sino también en la imagen del relleno terminado. Con el transcurso del tiempo, los desechos sólidos se descomponen (parte se transforma en gas y parte en líquido), y la tierra de cobertura y la humedad penetran en sus vacíos, asentándolo. Después de dos años, el asentamiento se reduce mucho y prácticamente desaparece a los cinco años.

Como el asentamiento no es uniforme, se producen depresiones en la superficie del relleno, donde se acumula el agua de lluvia; por lo tanto, se deben hacer nivelaciones al terreno y procurar su drenaje.



## **2.8 Riesgo y vulnerabilidad**

### **2.8.1 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.

### **2.8.2 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.

### **2.8.3 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 sísmos y pongan en riesgo la seguridad del personal o la operación del relleno.

## **2.9 Medidas de mitigación**

### **2.9.1 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.

### **2.9.2 Manejo de aguas sub-superficial**

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.

### **2.9.3 Tratamiento de biogás**

Debido a los asentamientos del relleno, al tránsito vehicular por encima de las celdas y demás, las chimeneas de gases se van deformando e inclinando, por lo que es necesario mantenerlas verticales a medida que se eleva el nivel del relleno, para evitar su obstrucción y pérdida.

Un manejo adecuado de los gases producidos en el relleno, mediante el uso de chimeneas verticales que conduzcan el biogás hacia la atmósfera y posibiliten su uso como quemadores, independiente del sistema de control que se usa el biogás que sea venteado o extraído deberá ser quemado, la instalación del quemador deberá reunir las condiciones adecuadas para un óptimo funcionamiento.

### **2.9.4 Tratamiento de lixiviados**

Se deberá instalarse un sistema de captación de lixiviados inmediatamente por encima del sistema de impermeabilización los sistemas de captación de lixiviados deberán ser capas drenantes ubicadas en la base del relleno y sobre cualquier capa superior donde se espere tener acumulación de líquidos y estar diseñados para conducir de la forma mas rápida posible el agua libre del relleno.

## CONCLUSIONES

1. El problema de los desechos sólidos y su disposición final en el municipio de Mataquescuintla, presenta características de una crisis que aun puede controlarse, para lo cual la municipalidad deberá tomar las medidas necesarias con carácter urgente. La actual operación del botadero de desechos sólidos, constituye un grave deterioro al medio ambiente.
2. El basurero requiere de una adecuación para su mejor funcionamiento y se debe tecnificar su manejo como relleno sanitario manual que es el que mejor se adapta a las necesidades y recursos del municipio.
3. Como en todo diseño, se debe incluir una evaluación o presupuesto como información básica del proyecto, los costos se separan en costo iniciales y costo de operación; estos costos es necesario asociarlos con la vida útil, puesto que las obras de infraestructura serán construida para el periodo de diseño. Se indica que con criterio técnico administrativo y financiero, este proyecto es factible, los costos de operación se le atribuye un 75% a las tarifas de servicio; se estima que lo recaudado por concepto de cuotas mensuales de los domicilios particulares, comercios, colegios y otros; genera un monto anual de ingresos, más el financiamiento del gobierno del 12% anual, sumando todo esto permite que el proyecto sea pueda hacer.

4. Este proyecto realizado correctamente puede llegar a producir fuentes de trabajo con el reciclado de papel, vidrio, metales, etc. y se obtienen otros ingresos y se resuelve parte del problema de la basura.

## RECOMENDACIONES

A la municipalidad de Mataquescuintla

- 1) Que contrate personal calificado para la construcción del relleno sanitario para garantizar la calidad y el buen funcionamiento de la obra.
- 2) Para la operación del relleno sanitario contratar un ingeniero residente para supervisar y aplicar las especificaciones técnicas contenidas en este documento a fin de alcanzar el periodo de diseño estipulado.
- 3) Crear un sistema de educación ambiental en la comunidad, para el mantenimiento y manejo, así como llevar un control de los desechos a fin de evitar los efectos ambientales, generalizados por la exposición de la basura.
- 4) Es necesario hacer un relleno sanitario manual para cumplir con los costos.
- 5) Que todos los recursos humanos, materiales y equipo destinados al proyecto de relleno sanitario, no sean utilizados para desarrollar otras actividades ajenas al proyecto, ya que, si esto sucede no se logra una buena eficiencia.





## BIBLIOGRAFÍA

1. 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. 08 T (4,372).
2. Mendrano Pérez Justo Enrique. **MANEJO, DISPOSICIÓN FINAL Y REGLAMENTACIÓN 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).
3. Ponsa Molina Enrique. **ANÁLISIS DEL COSTO DE RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS EN UN RELLENO SANITARIO.**  
Tesis de Graduación Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1978. 08 T (1,058).
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. Sandoval Leandro. **GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN, RELLENOS SANITARIOS MANUALES PROGRAMA DE SALUD AMBIENTAL.**  
Organización panamericana de la salud.  
Serie técnica No 28 enero de 1997.
6. Jaramillo Pérez Jorge Alberto, Zepeda Porras Francisco. **GUÍA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CIUDADES PEQUEÑAS Y ZONAS RURALES.**  
Washington D.C 1991. Organización panamericana de la salud (OPS).

7. 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. 08 T (1,732).
8. Ing. MSC. Cordero Fono Claudia Maria. **ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CERCANAS AL BASURERO DEL TRÉBOL EN LAS ZONAS 3 Y 7 DE LA CIUDAD CAPITAL.**  
Tesis de Graduación en Maestría en Sanitaria. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería sanitaria y Recursos Hidráulicos, 1995. T (4,059).
9. Rossell Marroquín Egdy Aquiles. **MÉTODO GEOFÍSICOS APLICADOS A LA EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS A NIVEL DE CUENCAS.**  
Tesis de Graduación Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990. 08 T (2,796).

## **APÉNDICES**



Tabla VI. Cálculo libreta topográfica del polígono

LIBRETA TOPOGRÁFICA												
Proyecto: CALCULOS DE DISEÑO DEL PROYECTO RELLENO SANITARIO			Municipio: MATAQUESCUINTLA			Levantto: CARLOS A. PADILLA			COTA			
Departamento: JALAPA			Departamento: JALAPA			Calculo: CARLOS A. PADILLA			HI			
						Fecha: JUNIO DE 2,004			HM			
									HS			
									< VERT			
			AZIMUT									
EST	PO											
	0	+										
E0												
E0	R1	0	+	23° 5' 6"	97° 5' 6"	0.940	0.860	500.00	7.71	7.09	3.02	
	R2	0	+	292° 19' 42"	86° 15' 10"	1.706	1.494	501.69	21.11	8.02	-19.53	
	R3	0	+	281° 38' 0"	85° 20' 5"	3.324	3.100	502.44	44.50	8.98	-43.59	
	R4	0	+	240° 4' 42"	109° 18' 12"	2.517	2.300	486.07	38.66	-19.28	-33.50	
	R5	0	+	219° 4' 48"	113° 10' 5"	1.650	1.400	482.42	42.26	-32.81	-26.64	
	R6	0	+	156° 16' 42"	125° 12' 4"	3.750	3.450	484.18	20.03	-18.34	8.06	
	R7	0	+	130° 31' 54"	113° 15' 30"	3.650	3.550	494.68	8.44	-5.49	6.42	
E0	E1	0	+	201° 37' 36"	120° 12' 30"	1.980	1.420	475.95	41.82	-38.70	-15.44	
		1	0	+	178° 48' 54"	3.047	3.000	474.71	9.40	-48.10	-15.25	
		1	0	+	269° 3' 54"	65° 8' 5"	1.022	1.000	478.26	3.62	-38.76	-19.07
		1	0	+	160° 45' 54"	100° 5' 10"	2.600	2.400	471.63	19.39	-57.01	-9.06
		1	0	+	151° 45' 12"	103° 13' 0"	3.280	3.100	466.46	34.12	-68.76	0.70
		1	0	+	130° 5' 30"	107° 0' 0"	1.546	1.400	465.90	33.63	-60.36	10.28
		1	0	+	119° 50' 54"	109° 10' 3"	1.097	0.900	464.93	33.80	-55.53	13.87
		1	0	+	107° 30' 0"	102° 20' 25"	1.546	1.400	470.08	27.87	-47.09	11.13
		1	0	+	91° 14' 42"	90° 10' 5"	1.930	1.800	475.70	26.00	-39.37	10.55
E1	E2	0	+	74° 0' 42"	90° 8' 6"	0.820	0.700	476.82	24.00	-32.03	7.71	
		1	0	+	135° 35' 18"	98° 25' 32"	0.915	0.900	477.04	2.94	-34.12	9.77
		1	0	+	16° 14' 6"	66° 12' 6"	0.645	0.600	481.10	7.53	-24.79	9.82
		1	0	+	5° 2' 24"	60° 20' 6"	0.716	0.600	487.75	17.52	-14.58	9.25
		1	0	+	356° 11' 12"	55° 8' 15"	1.580	1.400	493.86	24.24	-7.84	6.10
E2	E0	0	+	345° 38' 36"	54° 13' 18"	1.640	1.400	499.84	31.59	-0.23	-0.14	

**Tabla VII. Cálculo de nivelación**

ESTACION	PUNTO OBSER	AZIMUTH	H.I	Hilos			Vert	DIST	PARCIAL		TOTAL	
				S	M	I			Y	X	Y	X
E0	E0		1.55						0	0	0	500.358
	R1_BM_POSTE	23.0506		0.86	0.9		97.0506	7.71	7.09	3.02	7.093	3.023
	R2_ACCESO_RELLENO	292.1942		1.494	1.6		86.151	21.109	8.02	-19.53	8.02	-19.527
	R3_ESQ_CERCO-OESTE	281.38		2.876	3.1		85.2005	44.504	8.98	-43.59	8.983	-43.588
	R4_CERCO-OESTE	240.0442		2.517	2.3	2.083	109.1822	38.656	-19.28	-33.5	-19.282	-33.504
	R5_CERCO-OESTE	219.0448		1.65	1.4	1.15	113.1005	42.261	-32.81	-26.64	-32.806	-26.641
	R6_CERCO-ESTE	156.1642		3.75	3.6	3.45	125.1204	20.031	-18.34	8.06	-18.339	8.058
R7_CERCO-ESTE	130.3154		3.65	3.6	3.55	113.153	8.441	-5.49	6.42	-5.485	6.415	
E1	E1	201.4516	1.633	1.98	1.7	1.42	120.123	41.67	-38.7	-15.44	-38.7	-15.44
	R8_CERCO-OESTE_ABAJO	178.4854		3.047	3	2.953	89.121	9.398	-9.4	0.19	-48.098	-15.25
	R8A_ESQ_CERCO-OESTE_ABAJO	269.0354		1.022	1	0.978	65.0805	3.622	-0.06	-3.62	-38.761	-19.066
	R9_CERCO-SUR_ABAJO	160.4554		2.6	2.5	2.4	100.051	19.387	-18.3	6.39	-57.007	-9.057
	R10_ESQ_CERCO_ABAJO	151.4512		3.28	3.1	2.92	103.13	34.115	-30.05	16.15	-68.755	0.701
	R11_CERCO-ESTE	130.053		1.546	1.4	1.254	107	33.63	-21.66	25.73	-60.36	10.283
	R12_CERCO-ESTE	119.5054		1.097	0.9	0.703	109.103	33.8	-16.82	29.32	-55.525	13.872
	R13_CERCO-ESTE	107.3		1.546	1.4	1.254	102.2025	21.866	-8.38	26.57	-47.087	11.131
	R14_CERCO-ESTE	91.1442		1.93	1.8	1.67	90.1005	26	-0.56	25.99	-39.267	10.55
	E2	73.5514	1.55	0.82	0.7	0.58	90.0806	24.1	6.67	23.16	-32.03	7.71
E2	R15_RELLENO	135.3518		0.915	0.9	0.885	98.2532	2.936	-2.1	2.05	-34.124	9.767
	R15_CERCO-ESTE-ARRIBA	16.1406		0.645	0.6	0.555	66.1206	7.535	7.23	2.11	-24.793	9.82
	R17_CERCO-ESTE-ARRIBA	5.0224		0.716	0.6	0.484	60.2006	17.517	17.45	1.54	-14.578	9.252
	R18_CERCO-ESTE-ARRIBA	356.1112		1.58	1.4	1.22	55.0815	24.237	24.18	-1.61	-7.844	6.101
	E0	345.3615	1.65	1.64	1.4	1.16	54.1318	31.59	31.8	-7.85	-0.23	-0.14

Y+	Y-	X+	X-
31.8	32.0273	23.1572	23.298
DELTA Y =	-0.2273	DELTA X =	0.1408
SUM Y/Y =	63.8273	SUM X/X =	46.4552
f.c. Y=	1	CONDICIONAL	
f.c. X=	1	DEBE SER <	
NORMA GUATEMALA			
E.T.	0.2674	SI ES MENOR	
E.U.	0.0027	0.003	.....cumple ley

Distancia 97.36



Figura 25. Perfil esquemático del relleno sanitario

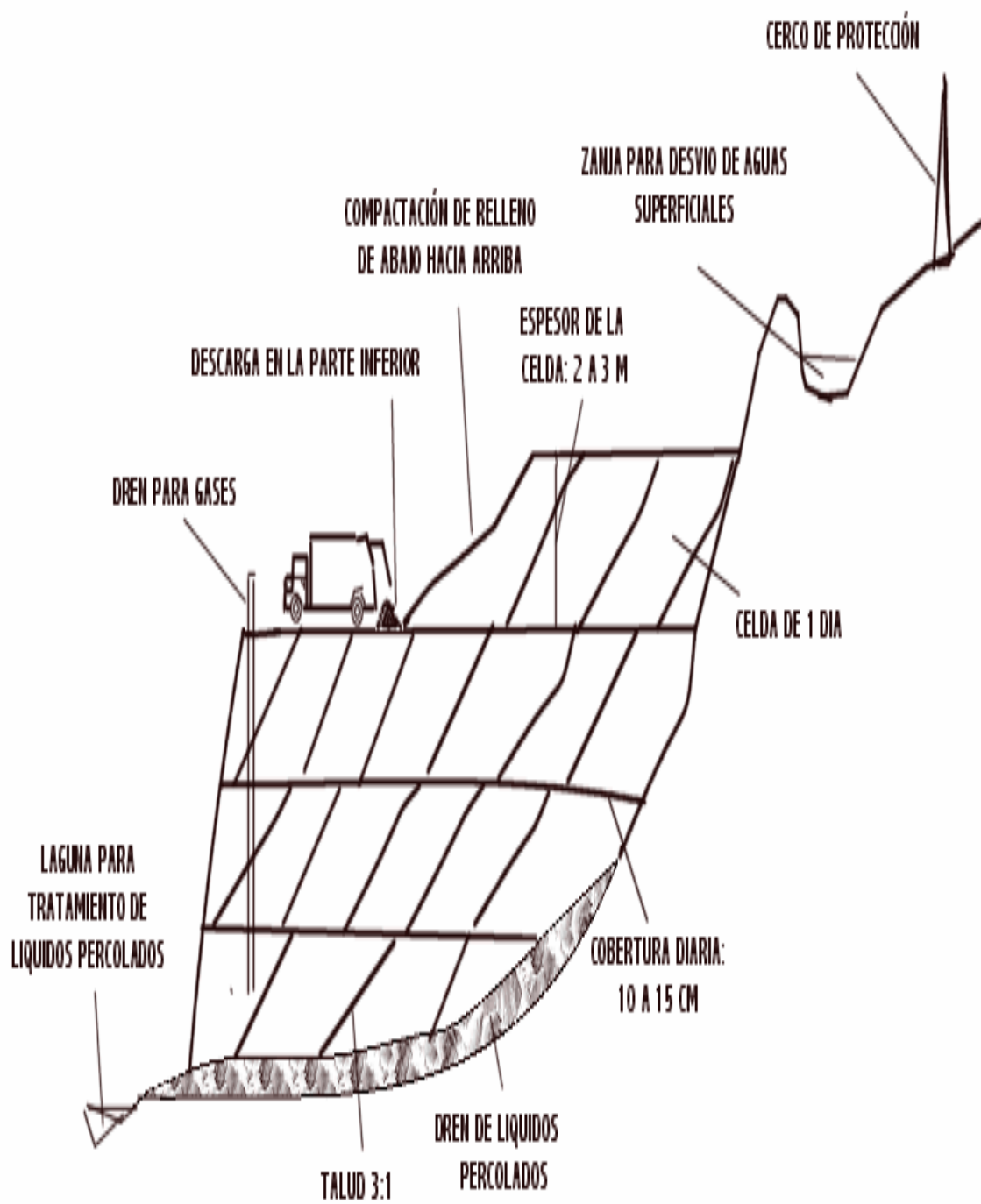




Figura 26. Drenajes de aguas de lixiviado

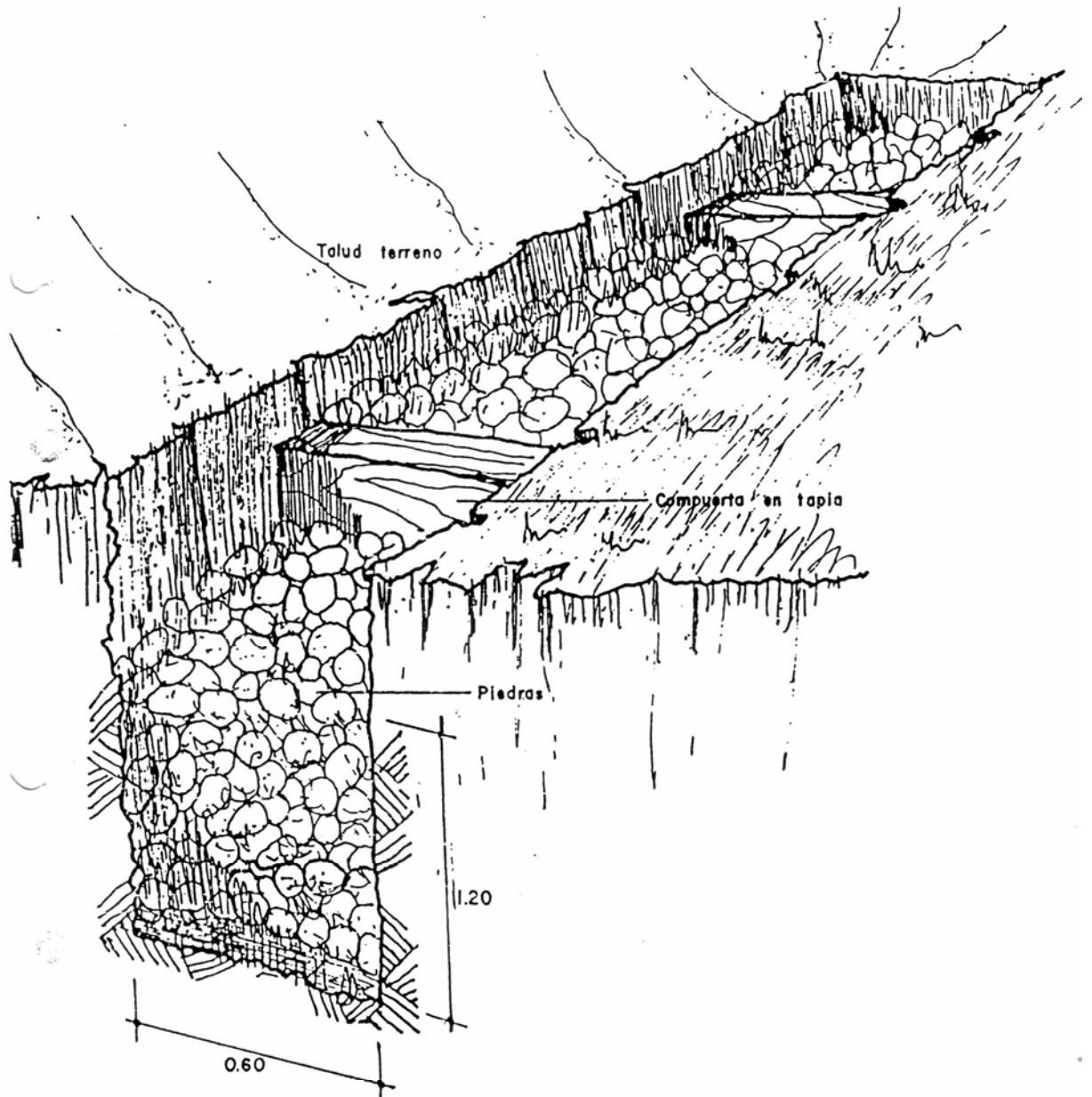


Figura 27. Drenajes de gases

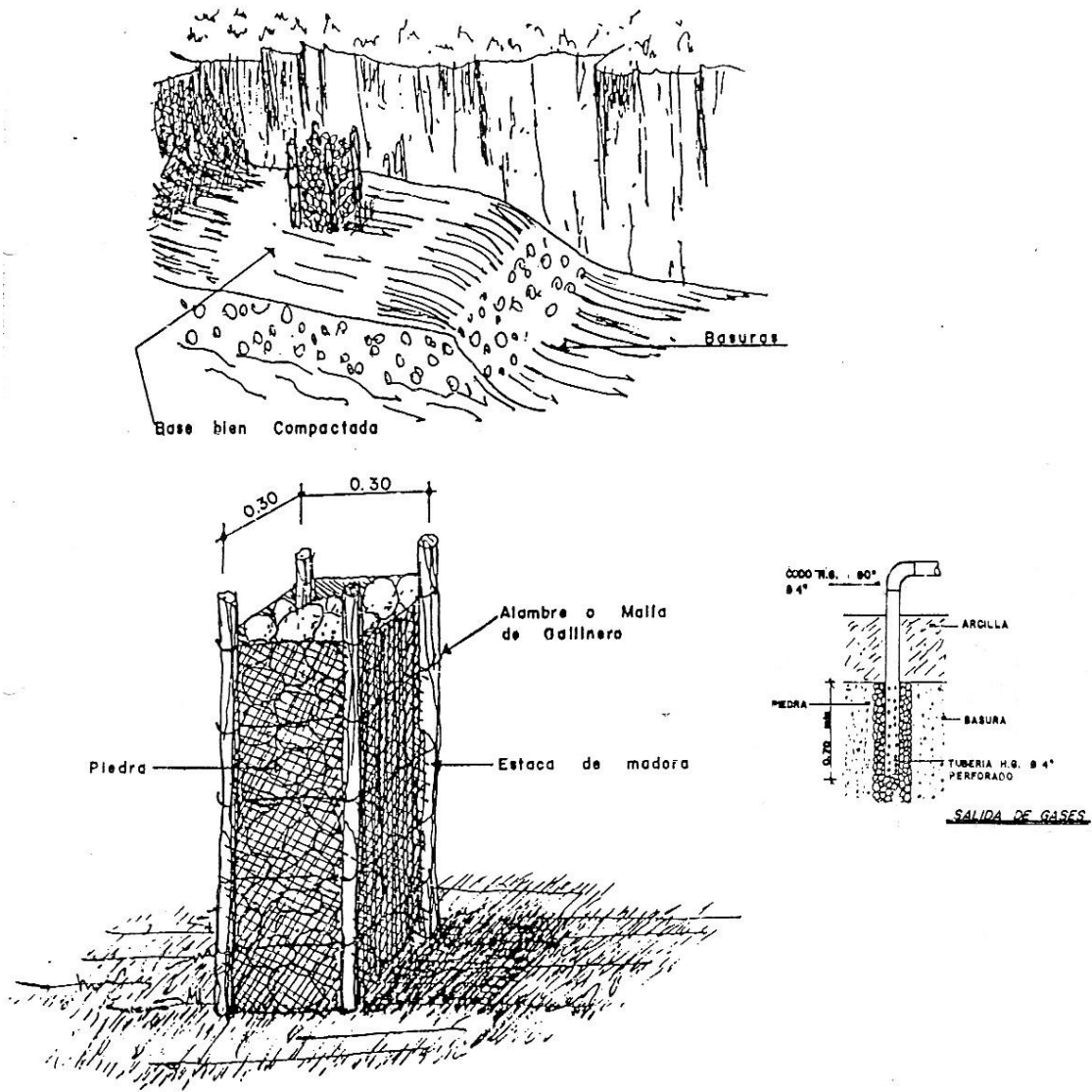


Figura 28. Sistema de tratamiento de lixiviados

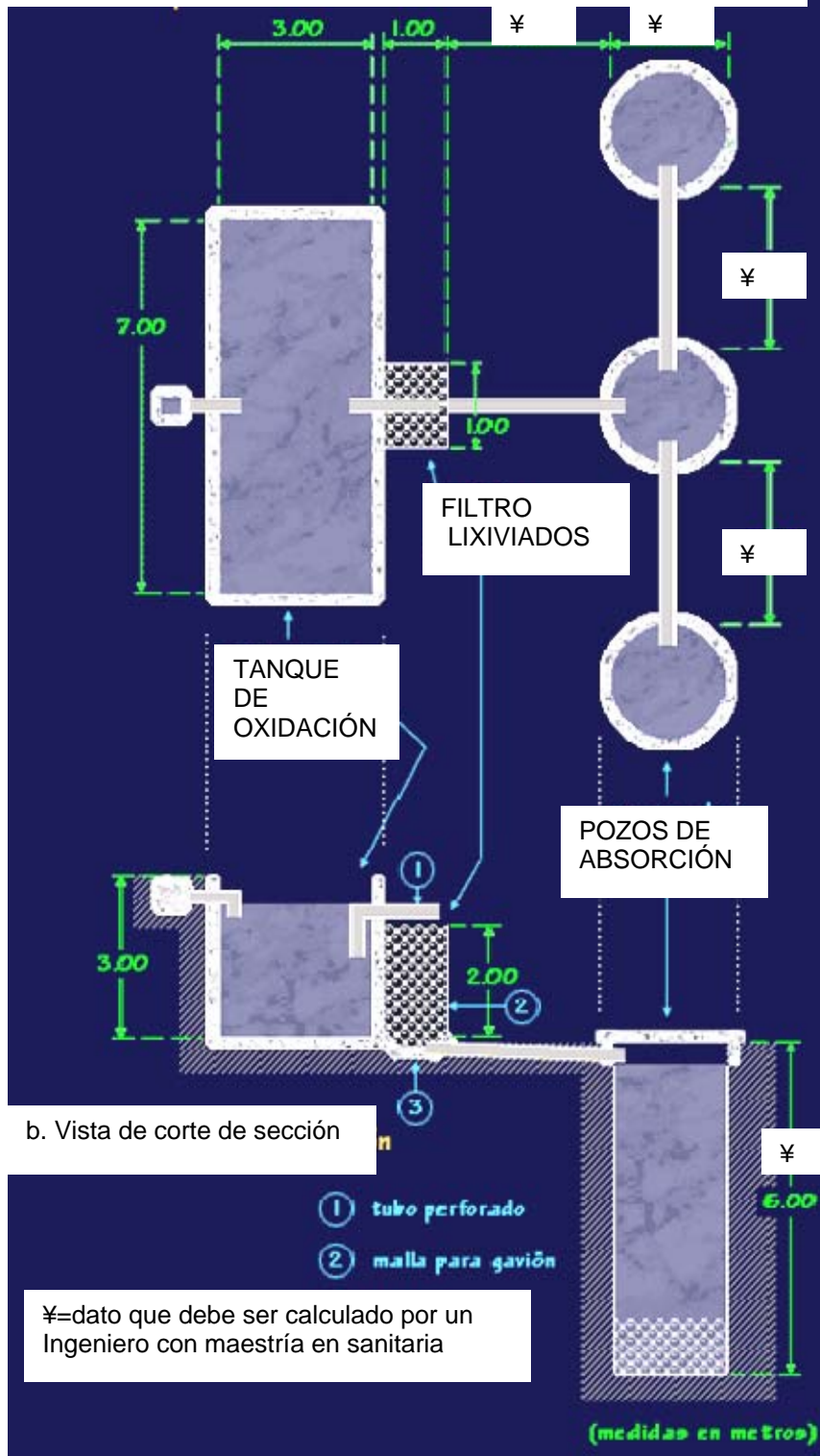


Figura 29. Tipos de desechos sólidos



**Figura 30. Como conforma la piedra los drenajes de lixiviados y gases**



**Figura 31 Fotografías del basurero actualmente**



## PLANOS





Figura 32 Polígono del terreno

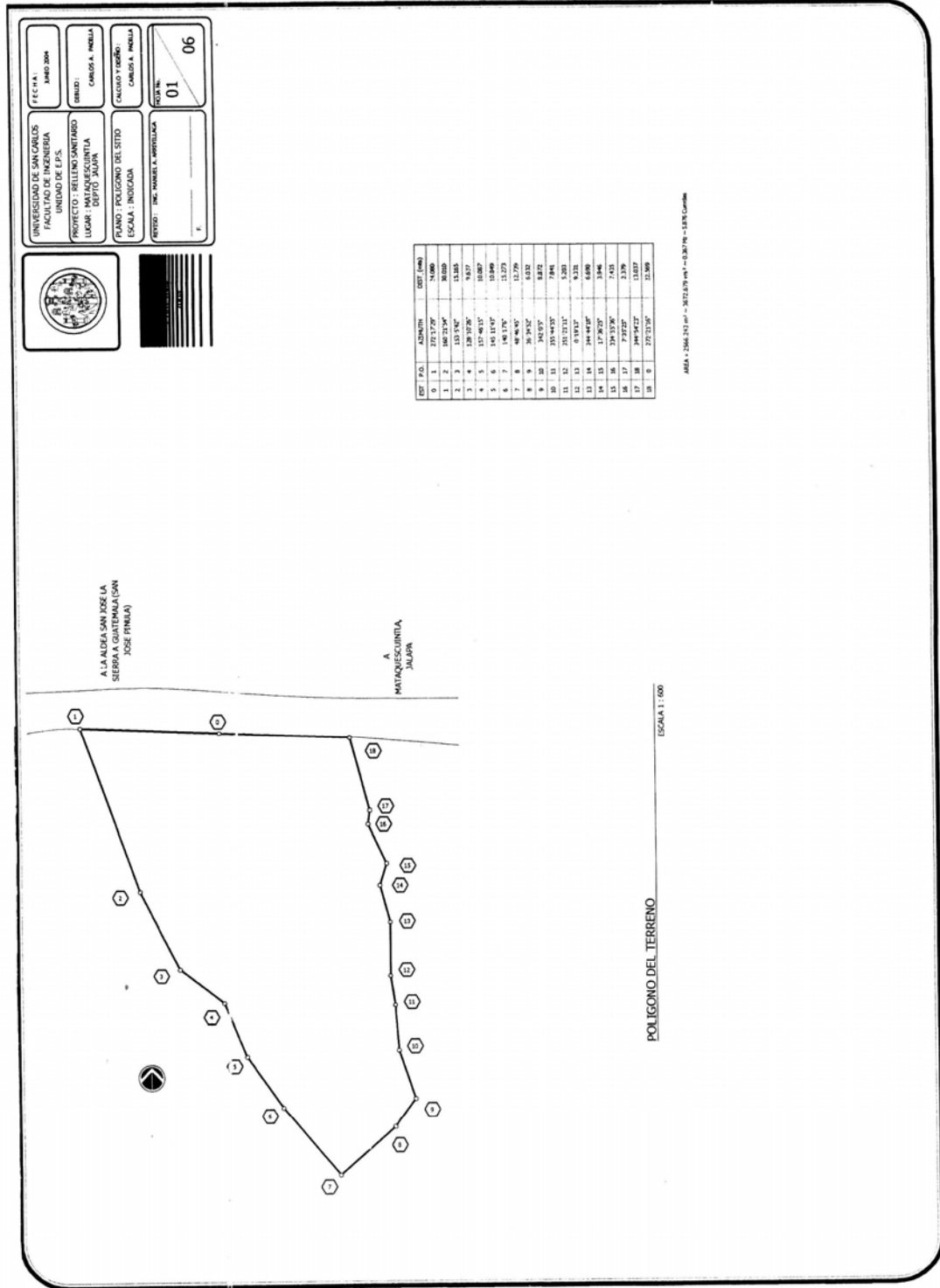


Figura 33 Curvas de nivel y perfil

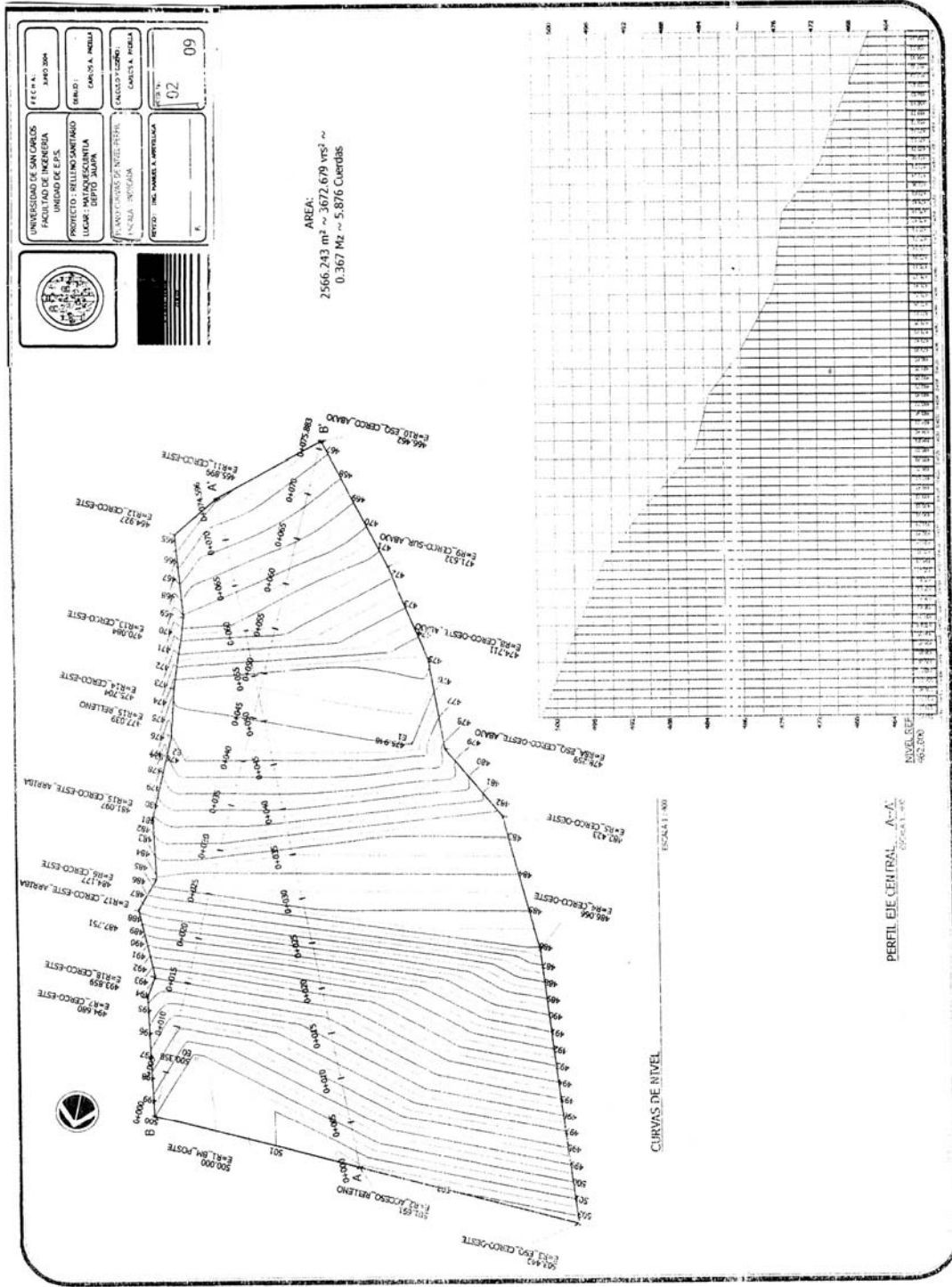


Figura 34 Secciones del Polígono

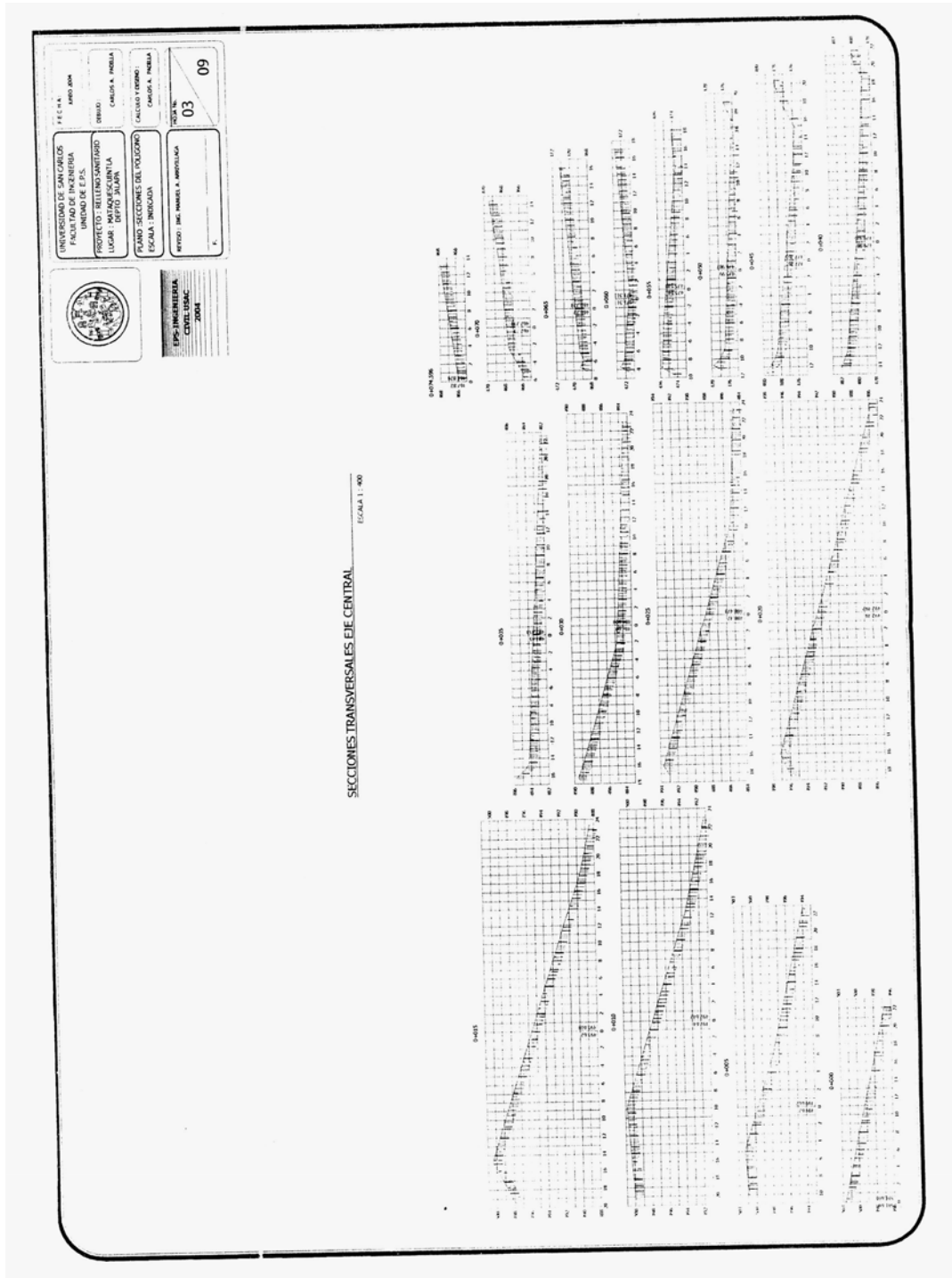


Figura 35 Cortes A-A',B-B',C-C'

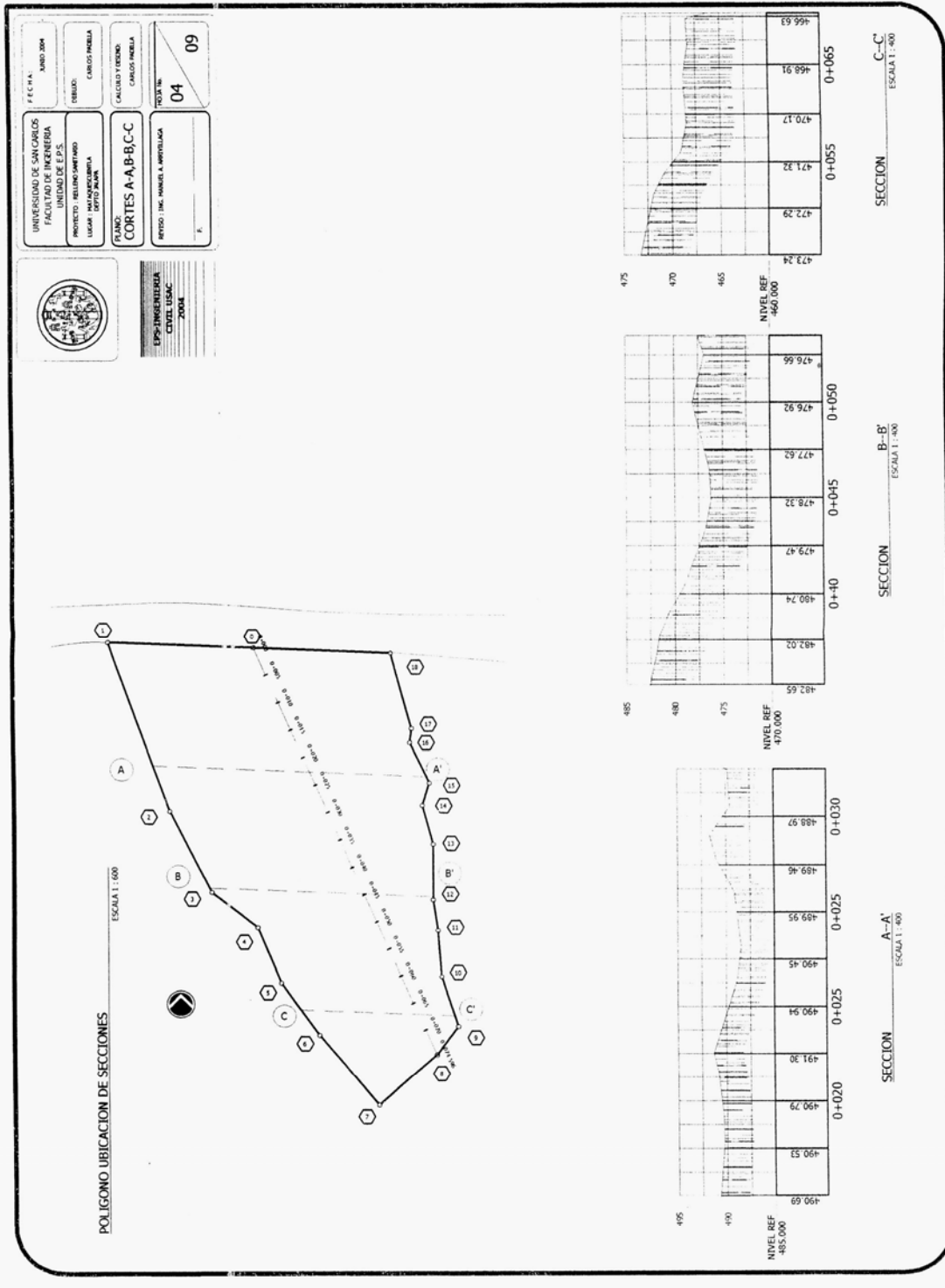


Figura 36 Volumen a rellenar

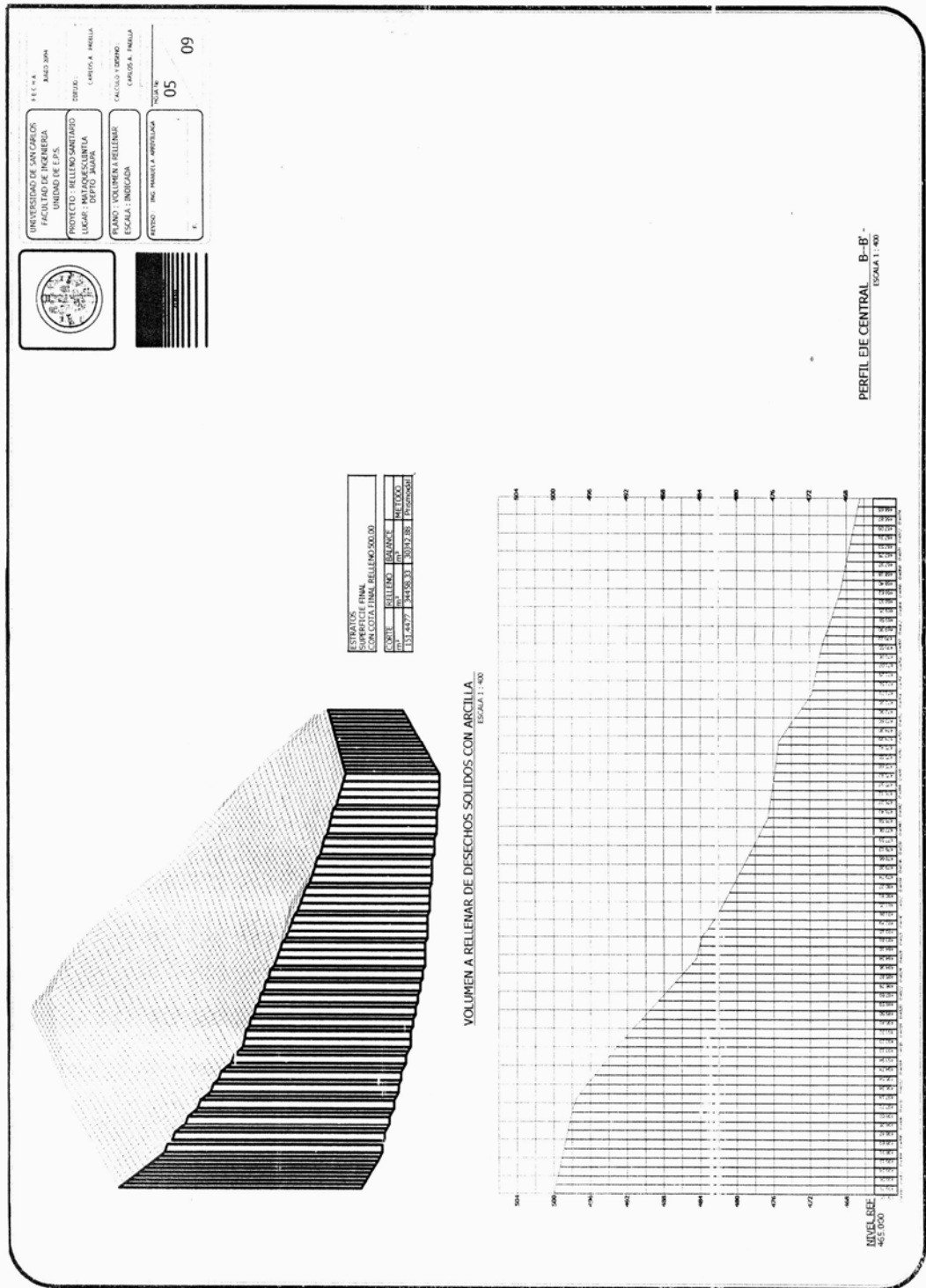


Figura 37 Perfil Esquemático del Relleno Sanitario

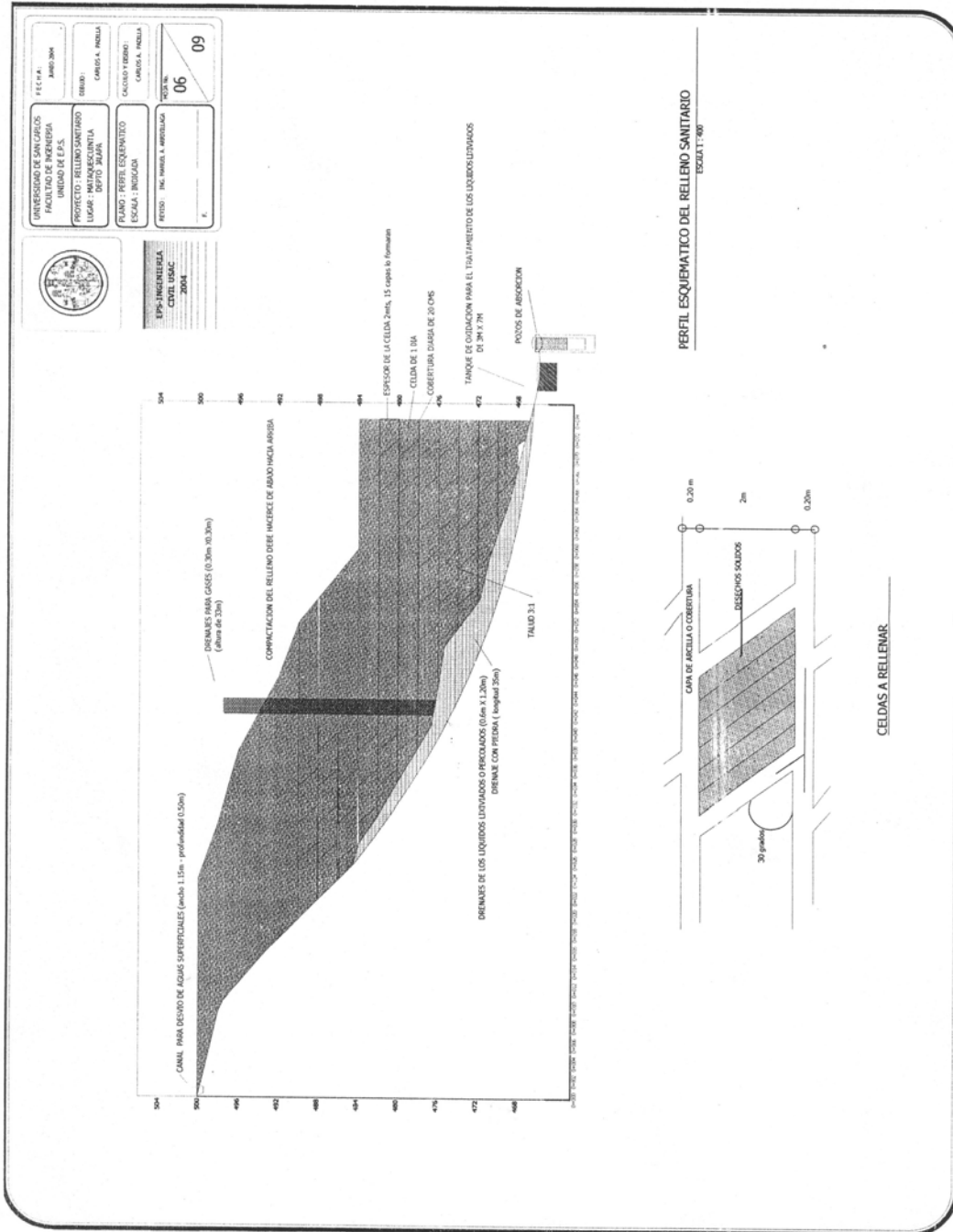


Figura 38 Sistema de Drenaje

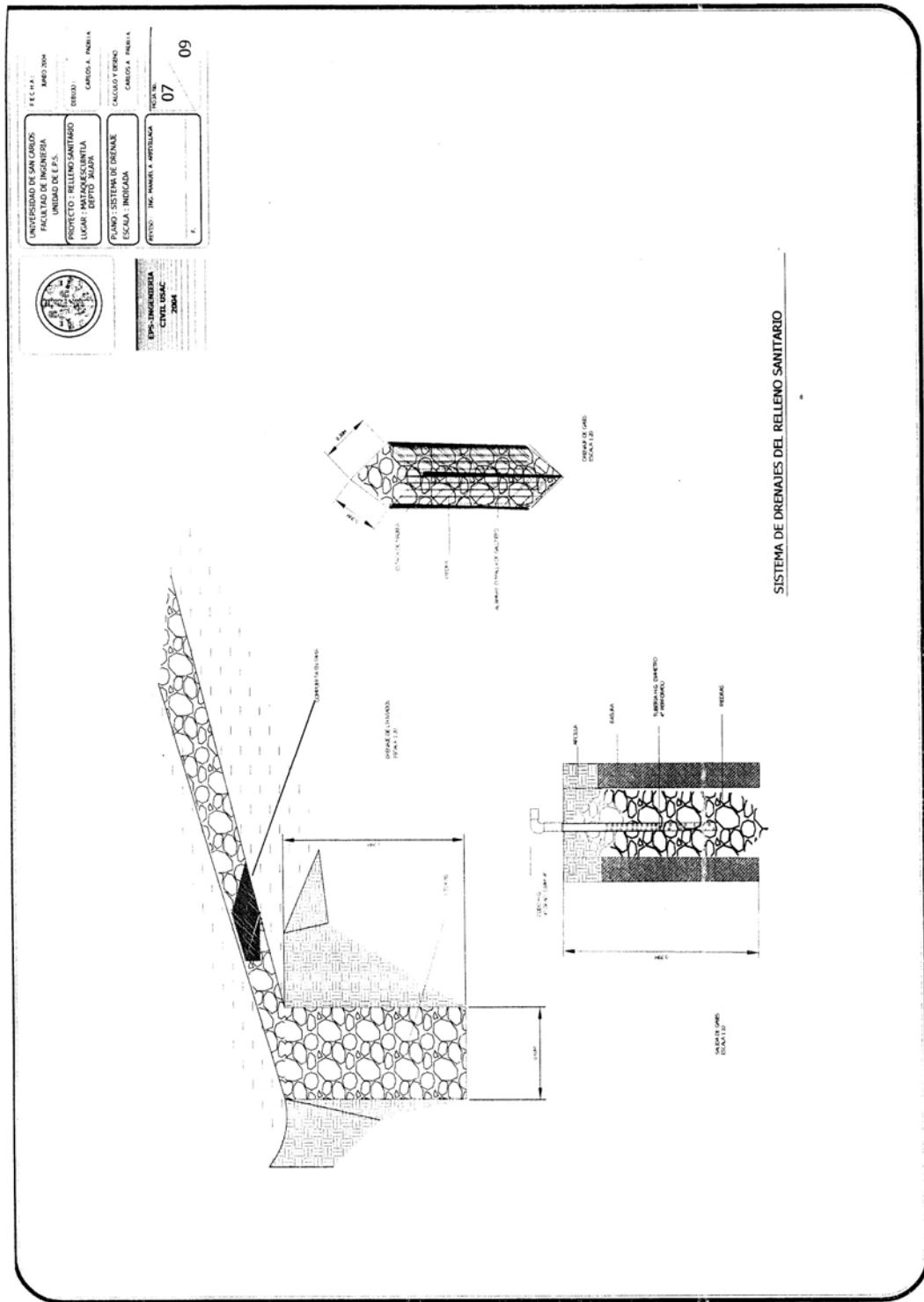


Figura 39 Mapa de la Cabecera

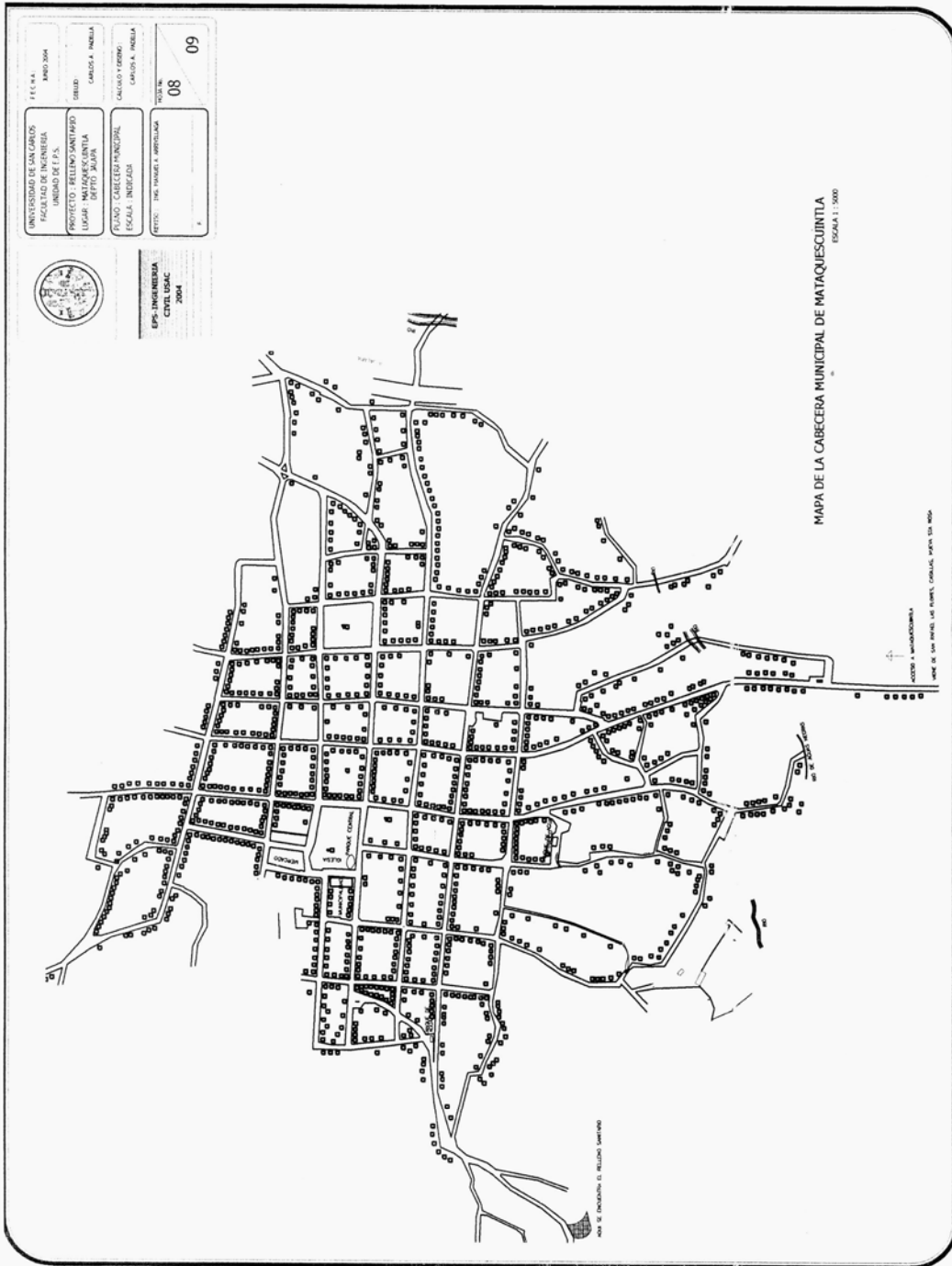
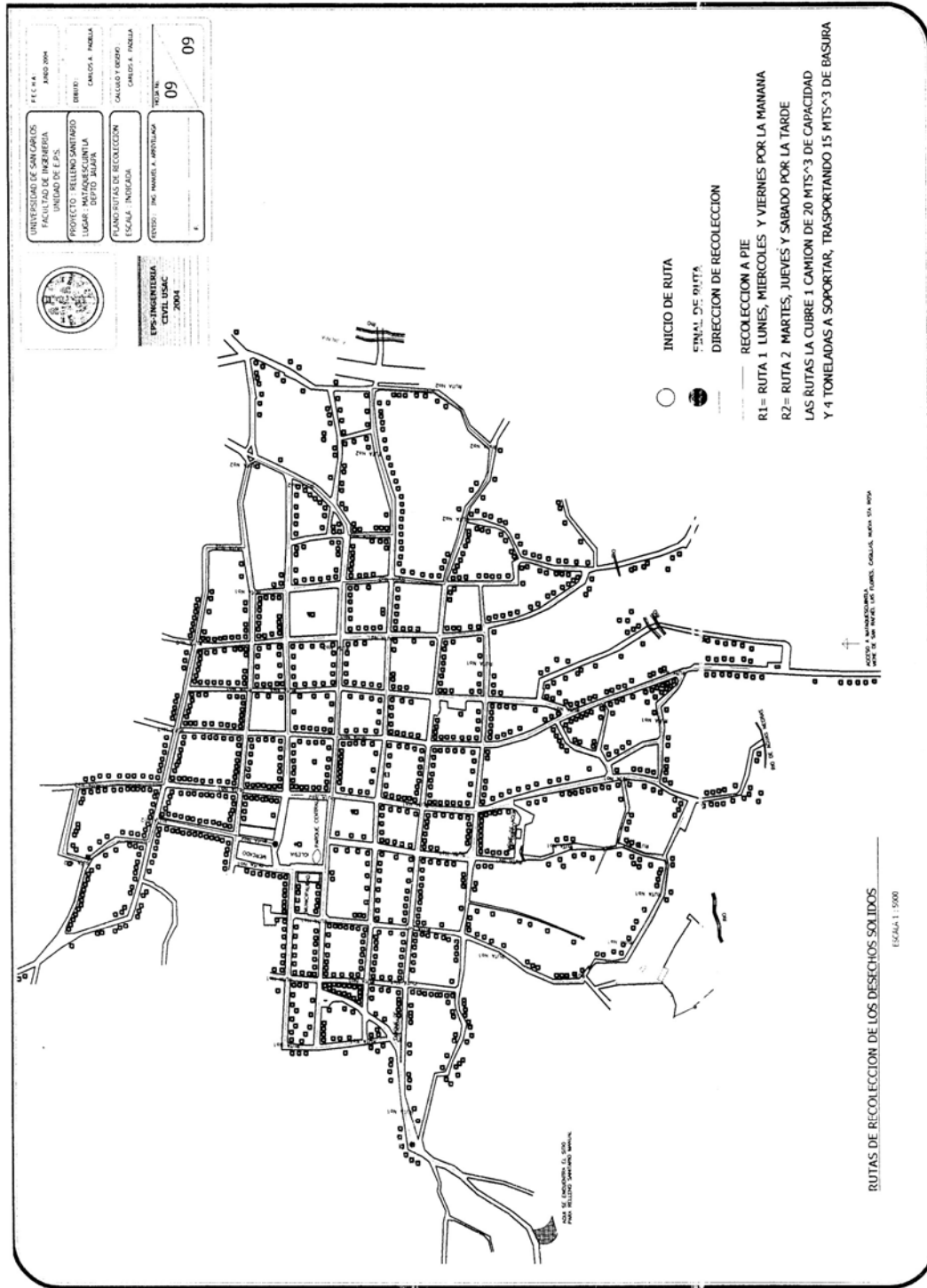




Figura 40 Rutas de Recolección





## **ANEXO**



Tabla IX Caudal Medio anual en la cuenca los Esclavos.

CAUDAL MEDIO ANUAL EN 10 <sup>3</sup> litros por segundo				
Cuenca	Nombre del Río	Punto de control	Caudal Medio	Ubicación
1.13	Gorrion	Calvillo 2	1.53	14 19 30, 90 45 50, Escuintla Escuintla
1.13	Aguacapa	Las Lomas 2	5.19	14 18 20, 90 28 18, Pueblo Nuevo Viñas Santa Rosa
1.13	Aguacapa	Agua Caliente	9.89	14 17 28, 90 30 29, Pueblo Nuevo Viñas Santa Rosa
1.13	Agua Tibia	Agua Tibia	1.71	14 17 30, 90 30 27, Pueblo Nuevo Viñas Santa Rosa
1.15	Tapalapa	Poza Escondida	0.92	14 26 26, 90 07 55, San Rafael Las Flores Santa Rosa
1.15	Margaritas	Chiquimulilla	6.44	14 00 35, 90 17 48, Chiquimulilla Santa Rosa
1.15	Los Esclavos	La Sonrisa	10.21	14 15 42, 90 15 22, Cuilapa Santa Rosa
1.15	Los Esclavos	Sinacantan	11.49	14 06 50, 90 21 40, Chiquimulilla Santa Rosa
1.16	Paz	El Jobo	23.20	14 01 00, 89 54 26, Jalpatagua Jutiapa
1.17	Ostúa	Casa de Tablas	6.83	14 31 33, 89 55 08, Monjas Jalapa
1.17	Mongoy	El Jicaral	1.73	14 16 56, 89 41 26, Asunción Mita Jutiapa
1.17	Mongoy	La Montañita	0.73	14 15 04, 89 42 55, Asunción Mita Jutiapa
1.17	Tamazulapa	Los Llanitos	6.15	14 19 15, 89 41 38, Asunción Mita Jutiapa
2.1	Copán	Copán	13.09	14 48 30, 89 13 24, Camotán Chiquimula
2.1	San José	Petapilla	3.03	14 50 07, 89 30 25, Esquipulas Chiquimula
2.1	Grande de Zacapa	Camotán	28.50	14 49 20, 89 22 15, Camotán Chiquimula
2.2	Motagua	Morales	201.85	15 28 47, 88 49 15, Morales Izabal
2.2	Sunzapote	Pasabién	2.39	15 02 36, 89 41 08, Río Hondo Zacapa
2.2	Colorado	El Tule	2.37	15 04 27, 89 37 04, Río Hondo Zacapa
2.2	Motagua	Concúa 2	16.51	14 52 47, 90 36 20, Granados Baja Verapaz
2.2	Motagua	El Sisimite	32.68	14 52 57, 90 26 27, Chuarrancho Guatemala
2.2	Bobos	Las Quebradas	3.73	15 23 05, 88 44 45, Morales Izabal
2.3	El Sauce	El Boquerón	11.54	15 33 30, 89 17 04, El Estor Izabal
2.2	Tzepelá	Chiché	2.04	14 58 57, 91 04 42, Chichicastenango El Quiché
2.2	Pixcayá	El Tesoro	1.04	14 40 46, 90 51 15, Zaragoza Chimaltenango
2.2	Las Vacas	San Antonio Las Flores	3.99	14 45 25, 90 30 10, Chinalutla Guatemala
2.2	Los Platanos	Panajax	20.73	14 52 12, 90 23 54, Sanarate El Progreso
2.4	Chilásco	Chilásco	1.74	15 07 05, 90 06 39, Salamá Baja Verapaz
2.4	Cucanja	Tucurú	5.11	15 18 14, 90 05 35, Tucurú Alta Verapaz
2.4	Boca Nueva	Boca Nueva 2	14.19	15 23 04, 89 40 05, Panzós Alta Verapaz
2.4	Trece Aguas	Trece Aguas	1.84	15 25 00, 89 47 15, Senahú Alta Verapaz
2.4	Polochic	Telemán	71.9	15 20 00, 89 44 00, Panzós Alta Verapaz
2.4	Matanzas	Matucuy	46.22	15 17 45, 89 53 25, Panzós Alta Verapaz
2.5	Cahabón	Cahaboncito	164.20	15 27 34, 89 32 55, Cahabón Alta Verapaz
2.5	Mestela	Chio	5.09	15 27 30, 90 22 30, Cobán Alta Verapaz

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, vulcanología, Meteorología e Hidrológica (INSIVUMEH)

**Tabla X Velocidad del viento y lluvia mm en los últimos años en los Esclavos**

AÑO	Velocidad del Viento en Km. / Hora												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1990	3.3	3.4	3.0	2.8	2.6	2.6	2.6	2.8	2.6	2.6	2.6	3.3	2.9
1991	3.1	3.6	3.0	2.7	2.9	2.6	2.9	2.9	2.6	2.4	2.5	3.2	2.9
1992	3.4	3.3	3.3	3.1	2.7	2.6	2.8	2.7	2.1	2.3	1.9	1.9	2.7
1993	2.6	2.3	2.5	2.0	2.2	1.3	1.0	1.0	1.0	1.3	2.0	2.1	1.8
1994	2.0	3.9	3.4	3.2	2.6	2.9	2.9	2.8	2.5	2.3	2.1		2.8
1995		1.0	2.7	2.6	3.0	2.8	3.1	4.0	4.0	1.8	2.1	1.4	2.6
1996	2.1	2.5	2.5	3.6	2.9	3.0	2.4	2.9	3.6	3.6	2.3	2.5	2.8
1997	2.0	2.0	2.1	1.7	1.3	1.4	1.8	1.7	1.3	1.3	2.5	1.8	1.7
1998	1.6	2.0	2.0	1.5	1.7	1.6	1.5	1.8	2.6	1.8	1.4	1.8	1.8
1999	2.0	3.6	3.3	3.0	2.7	2.4	1.6	2.0	1.2	1.6	2.3	2.9	2.4
2000	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0	1.7	2.0	1.6	2.2	2.0	2.0	4.1	1.9
2001	2.5	3.5		3.2	2.5	2.9	2.6	2.4	2.2	1.8	2.1	2.8	2.6
2002	3.7	3.0	3.6	2.6	3.0	2.4	2.9	3.0	3.0	3.0	2.3	3.0	3.0
2003	3.0	3.0											

AÑO	Lluvia en MM												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1990	0.6	14.0	2.0	51.4	248.2	331.1	144.2	273.5	296.2	149.1	120.8	0.0	1631.1
1991	0.0	2.1	0.0	48.2	159.9	428.0	91.1	198.7	310.1	353.9	63.4	101.0	1756.4
1992	0.0	0.6	45.4	14.5	55.4	366.2	211.8	317.4	311.1	215.4	59.2	0.0	1597.0
1993	9.6	0.0	27.1	49.5	221.5	316.8	185.1	286.3	319.7	161.3	0.0	0.0	1576.9
1994	0.0	0.0	0.0	38.4	310.1	249.8	110.9	296.6	268.4	203.3	60.0	0.0	1537.5
1995	0.0	0.0	2.0	65.2	120.0	417.0	316.2	476.4	445.6	194.5	12.5	27.5	2076.9
1996	0.0	13.0	2.0	67.5	374.5	314.0	318.5	227.0	448.4	248.1	60.0	0.0	1757.0
1997	0.0	3.5	14.5	84.5	119	338.4	157.6	145.9	368.7	95.5	149	0.0	1476.6
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	87.5	271.5	253.5	410.5	211.5	465.8	200.5	0.0	1900.8
1999	0.0	9.0	13.0	29.0	195.8	312.0	106.1	285.2	459.8	294.5	11.5	0.0	1715.9
2000	0.0	0.0	0.0	29.0	225.5	293.5	0.0	310.5	258.5	112.5	27.5	0.0	1257.0
2001	0.0	0.0	1.5	35.5	247.0	198.0	339.5	156.5	295.5	122.0	0.0	19.0	1414.5
2002	0.0	1.0	0.0	9.5	224.5	242.0	153.0	117.0	200.7	228.5	26.5	14.5	
2003	0.0	2.0											

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, vulcanología, Meteorología e Hidrológica (INSIVUMEH)

**Tabla XI. Temperatura mínima absoluta y humedad relativa media en la cuenca los Esclavos.**

Temperatura Mínima Absoluta en °C

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	11.6	12.5	13.0	15.0	17.0	18.0	16.0	17.3	17.0	12.8	12.1	11.4	14.5
1991	12.8	10.0	9.5	16.4	18.3	18.0	16.3	16.4	19.8	16.6	10.6	10.0	14.6
1992	12.2	12.4	14.0	16.5	13.5	17.5	17.4	17.0	16.5	14.5	15.5	11.5	14.9
1993	6.0	7.5	9.5	15.5	18.0	18.8	16.8	17.6	17.5	17.0	13.4	13.2	14.2
1994	12.4	11.5	11.2	15.5	15.0	15.5	17.0	18.0	16.8	16.8	15.5	14.0	14.9
1995		10.5	11.0	15.5	17.5	17.5	18.0	18.0	17.5	15.0	14.5	12.5	15.2
1996	7.5	7.5	9.5	16.0	18.0	17.5	17.5	16.0	17.5	16.0	16.0	13.0	14.3
1997	11.5	14.0	14.5	17.0	16.5	19.0	18.5	19.5	19.5	19.0	17.5	11.4	16.5
1998	15.0	12.0	13.5	18.0	18.5	20.0	18.5	19.0	19.0	19.5	14.5	12.5	16.7
1999	10.0	12.0	12.5	17.0	19.5	19.0	18.5	19.0	19.0	15.5	14.0	8.5	15.4
2000	11.0	11.5	13.0	17.0	19.0	18.5	20.5	18.0	19.0	17.0	15.0	11.0	15.9
2001	10.5	14.0	14.0		19.0	19.0	18.5	19.5	22.0	18.0	15.5	14.0	16.7
2002	10.0	15.6	16.0	18.0	20.5	20.0	18.5	19.5	19.0	18.0	12.5	14.0	16.8
2003	12.5	13.0											

Humedad Relativa Media en %

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	68	60	63	57	83	84	74	79	81	82	77	80	74
1991	79	72	74	78	87	90	85	86	89	92	77	76	82
1992	76	73	74	74	77	85	83	82	85	83	80	76	79
1993	72	65	64	73	79	85	80	83	89	86	78	74	77
1994	67	65	64	74	83	85	79	86	87	85	83	72	78
1995		64	63	73	87	91	86	93	93	92	87	84	83
1996	79	76	76	78	87	88	87	86	87	87	77	74	82
1997	74	65	69	74	76	85	78	77	86	84	81	76	77
1998	75	72	65	70	73	82	83	85	86	85	79	70	77
1999	67	82	67	69	78	83	63	93	88	90	79	80	78
2000	79	72	63	61	82	86	85	84	89	56	57	50	72
2001	50	47		52	60	61	56	58	90	92	89	88	68
2002	88	87	87	88	93	94	92	95	95	94	91	90	91
2003	89	89											

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, vulcanología, Meteorología e Hidrológica (INSIVUMEH)

**Tabla XII Red de estaciones hidrológicas**

No	Cuenca	Estación	Departamento	No	Cuenca	Estación	Departamento
1	1.01	Cunlaj	San Marcos	18	2.01	Ipala	Jutiapa
2	1.02	Malacatán	San Marcos	19	2.01	Camotán	Chiquimula
3	1.02	Pajapita	San Marcos	20	2.02	Morales	Izabal
4	1.02	Meléndrez II	San Marcos	21	2.02	Chiché	Quiché
5	1.03	Coatepeque	Quetzaltenango	22	2.02	Puente Orellana	Progreso
6	1.04	Caballo Blanco	Retalhuleu	23	2.02	Panajax	Progreso
7	1.05	Cantel	Quetzaltenango	24	2.06	Modesto Méndez	Petén
8	1.05	Candelaria	Quetzaltenango	25	3.01	Cuilco	Huehuetenango
9	1.06	La Máquina	Suchitepéquez	26	3.02	Chojil	Huehuetenango
10	1.07	Monte Cristo	Suchitepéquez	27	3.02	Xemal	Huehuetenango
11	1.07	San Miguel moca	Suchitepéquez	28	3.03	La Laguna	Huehuetenango
12	1.10	Puente Coyolate	Suchitepéquez	29	3.07	San Agustín Chixoy	Alta Verapaz
13	1.12	Puente de Itzapa	Chimaltenango	30	3.08	El Porvenir	Petén
14	1.12	San Luís Las Carretas	Sacatepéquez	31	3.10	San Pedro Mactún	Petén
15	1.12	Alotenango	Sacatepéquez	32	3.11	Chachaclún	Petén
16	1.13	El Pino	Santa Rosa	33	3.11	Bethel	Petén
<b>17</b>	<b>1.15</b>	<b>El Portezuelo</b>	<b>Santa Rosa</b>	34	3.11	Tikal	Peten



**Tabla XIII Cuencas de la vertiente del pacifico**

<b>CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL PACIFICO</b>					
<b>No. *</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>No. *</b>	<b>Cuenca</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
1.1	Coatán	270	1.10	Coyolate	1,648
1.2	Suchiate	1,054	1.11	Acomé	706
1.3	Naranja	1,273	1.12	Achiguate	1,291
1.4	Ocosito	2,035	1.13	María Linda	2,727
1.5	Samalá	1,510	1.14	Paso Hondo	512
1.6	Sis - Iacán	919	1.15	Los Esclavos	2,271
1.7	Nahualate	1,941	1.16	Paz	1,732
1.8	Atitlán	541	1.17	Ostúa - Güija	2,243
1.9	Madre Vieja	1,007	1.18	Olopa	310

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, vulcanología, Meteorología e Hidrológica (INSIVUMEH)

Figura 41. Mapa red de estaciones hidrológicas

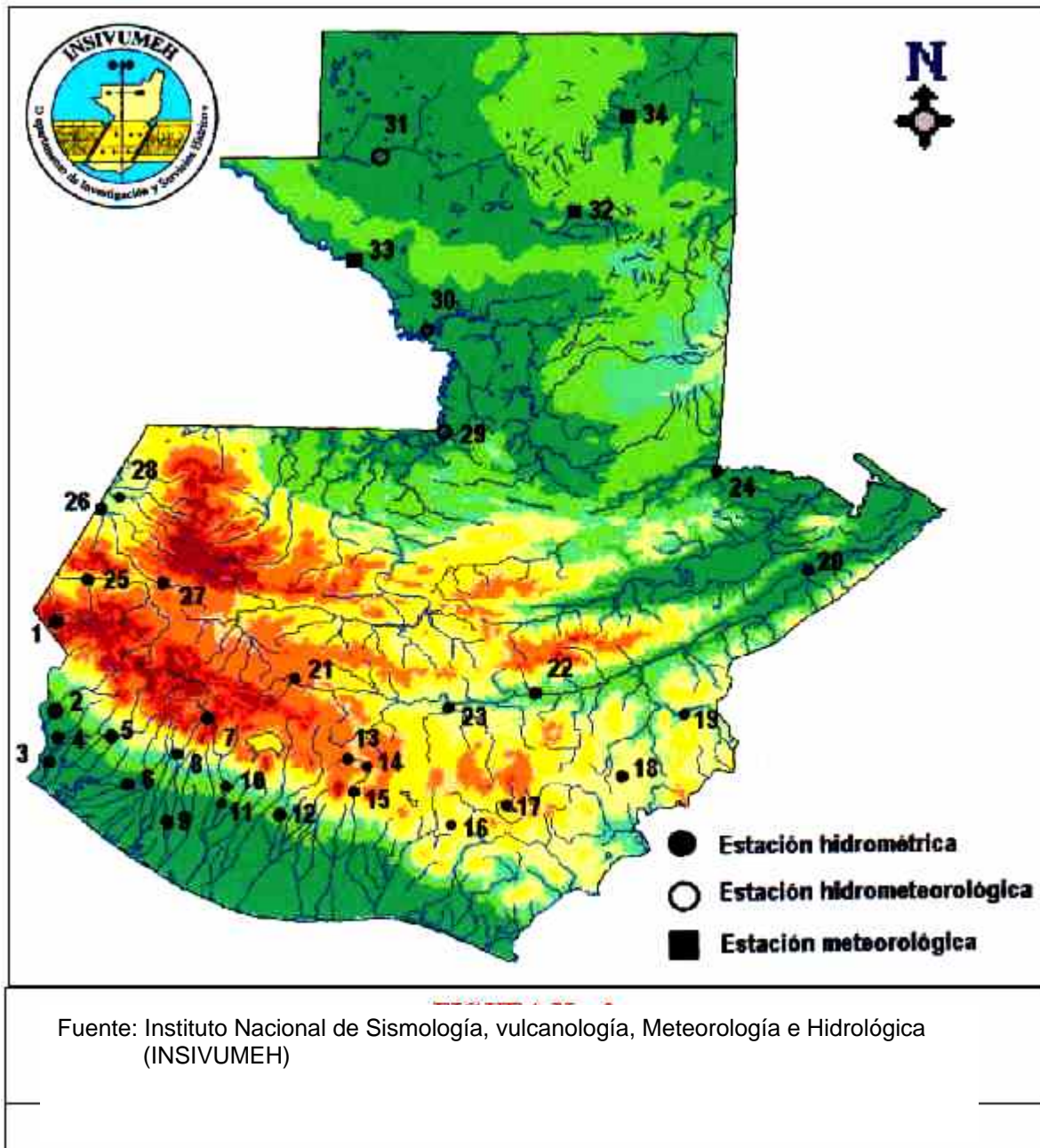


Figura 42. Mapa de cuencas y vertientes de Guatemala

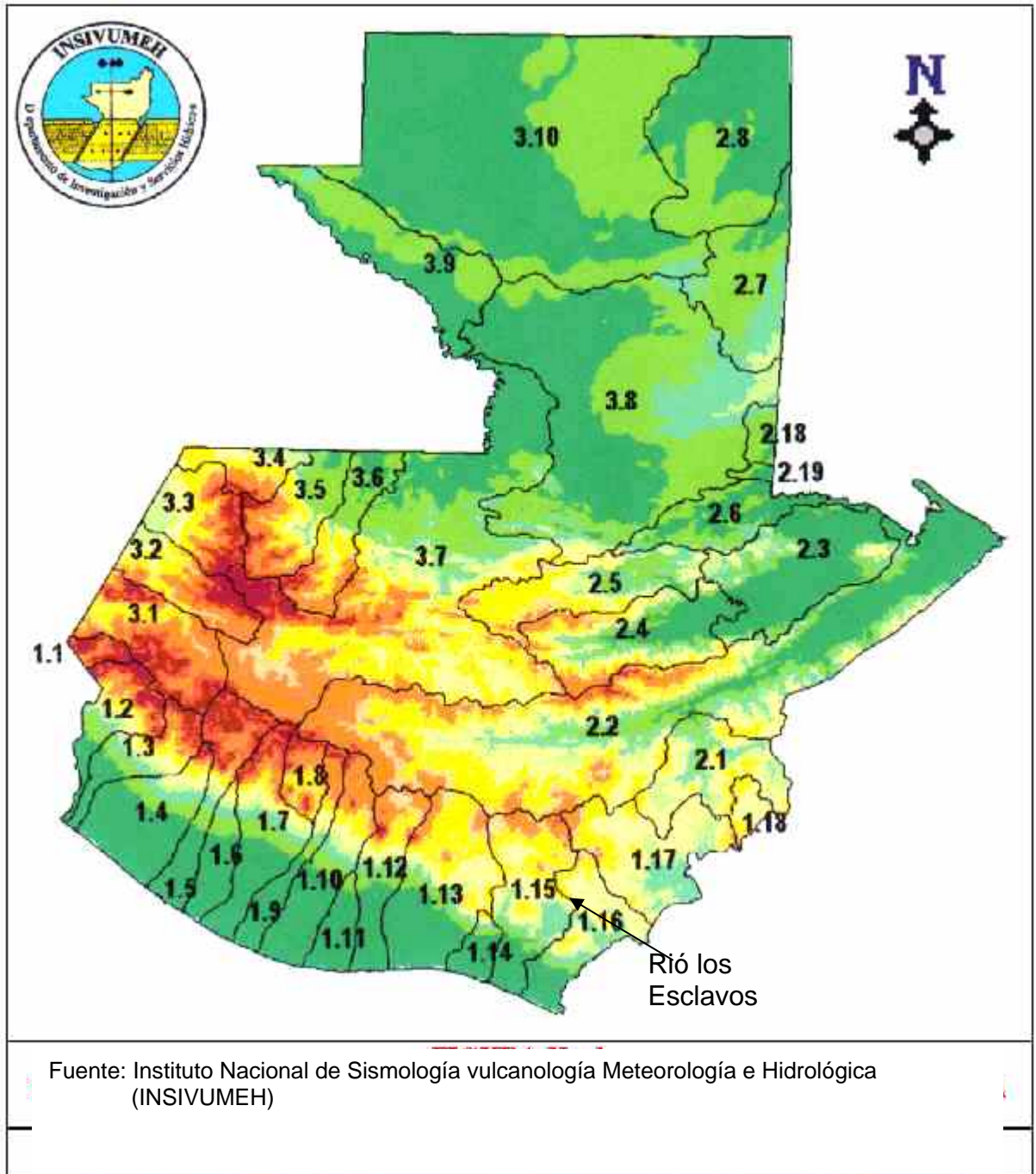
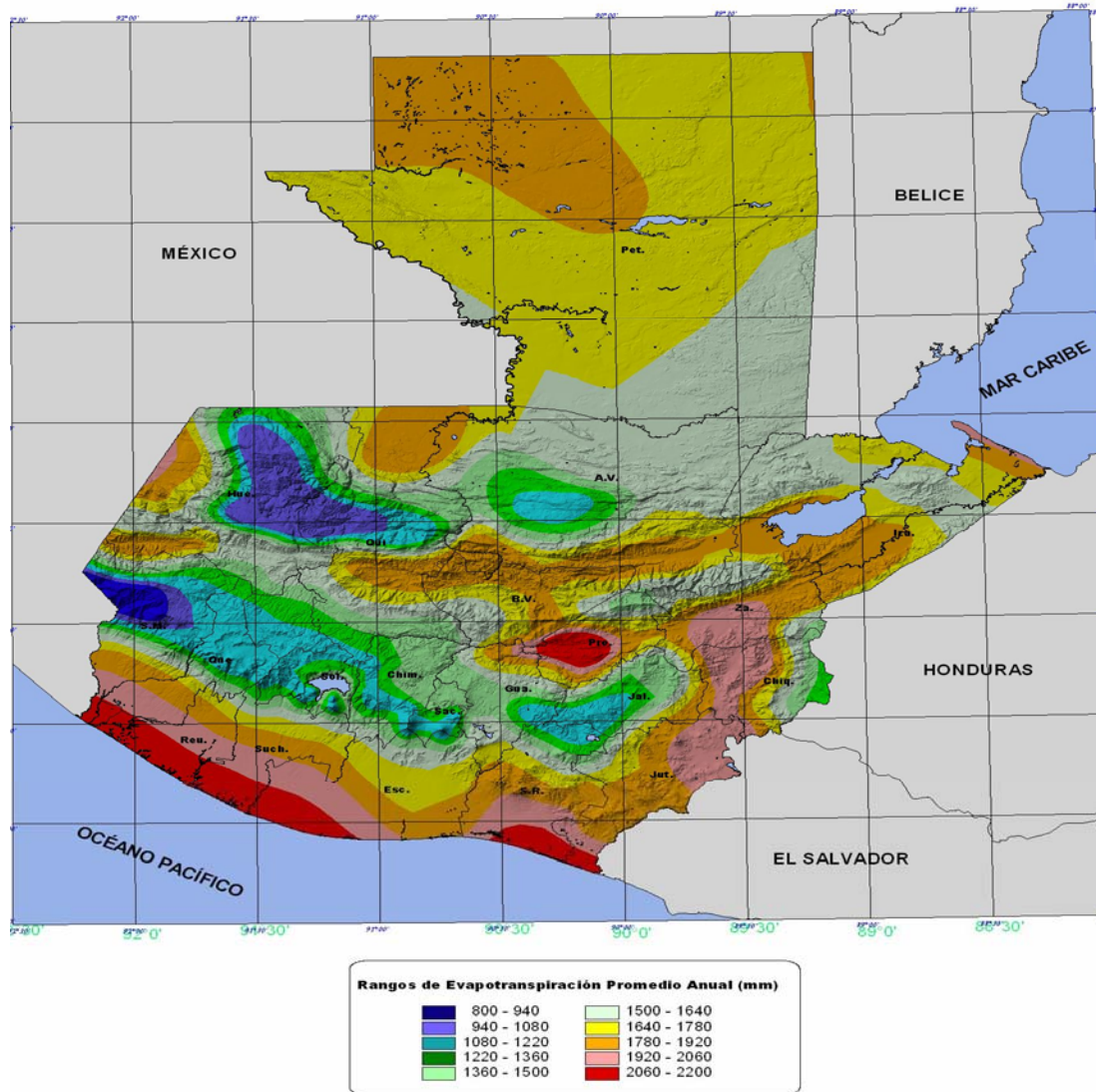


Figura 43. Mapa de evapotranspiración potencial de Guatemala

No. 5



Mapa de Evapotranspiración Potencial  
República de Guatemala



Escala : 1 : 2,000,000  
40 0 40 80 120 Kilometros

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).  
Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UPGGR)  
(Laboratorio de Información Geográfica)

Fuente: Instituto Nacional de Sismología vulcanología Meteorología e Hidrológica (INSIVUMEH)

Figura 44. Mapa de precipitación promedio anual de Guatemala

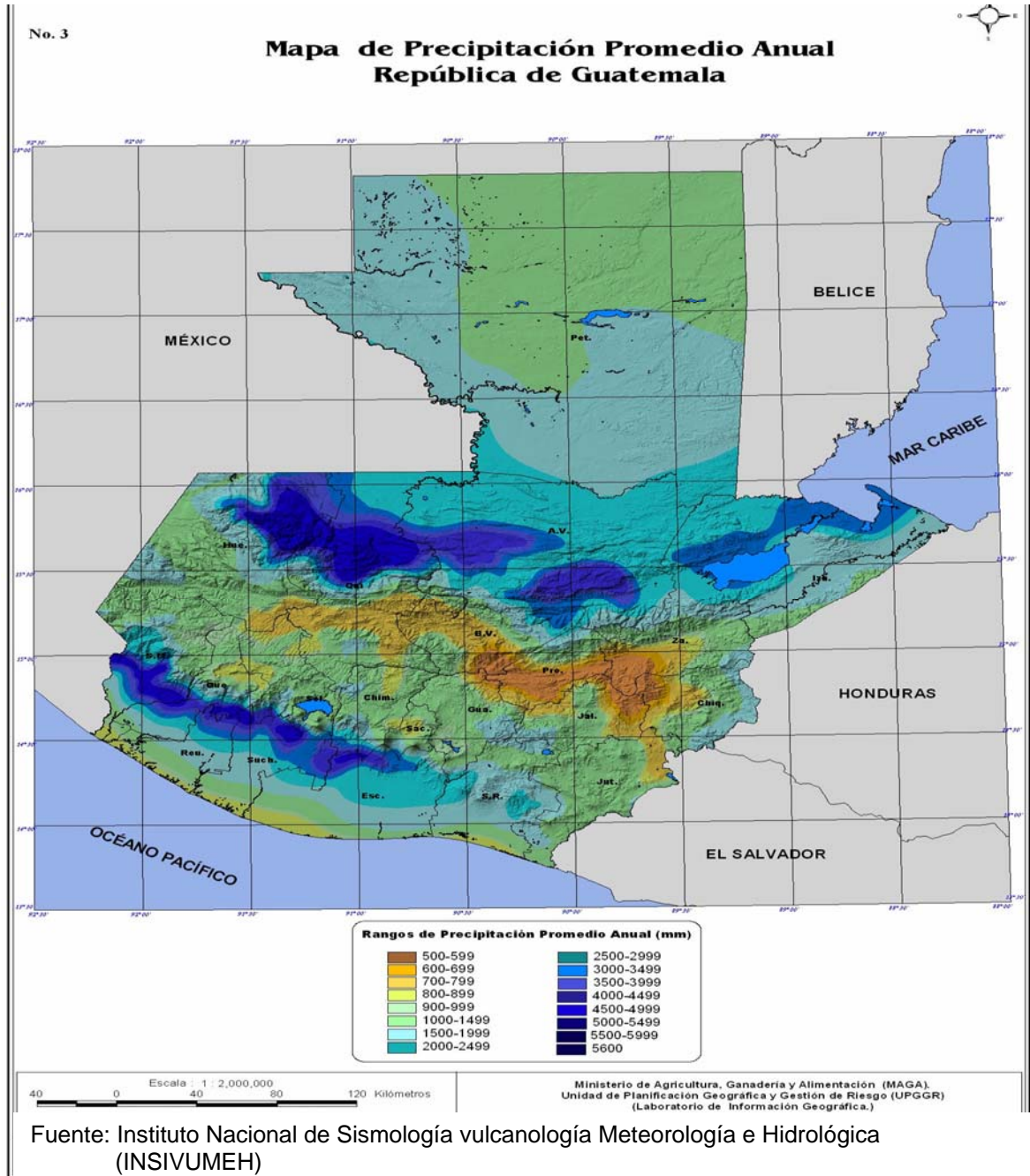
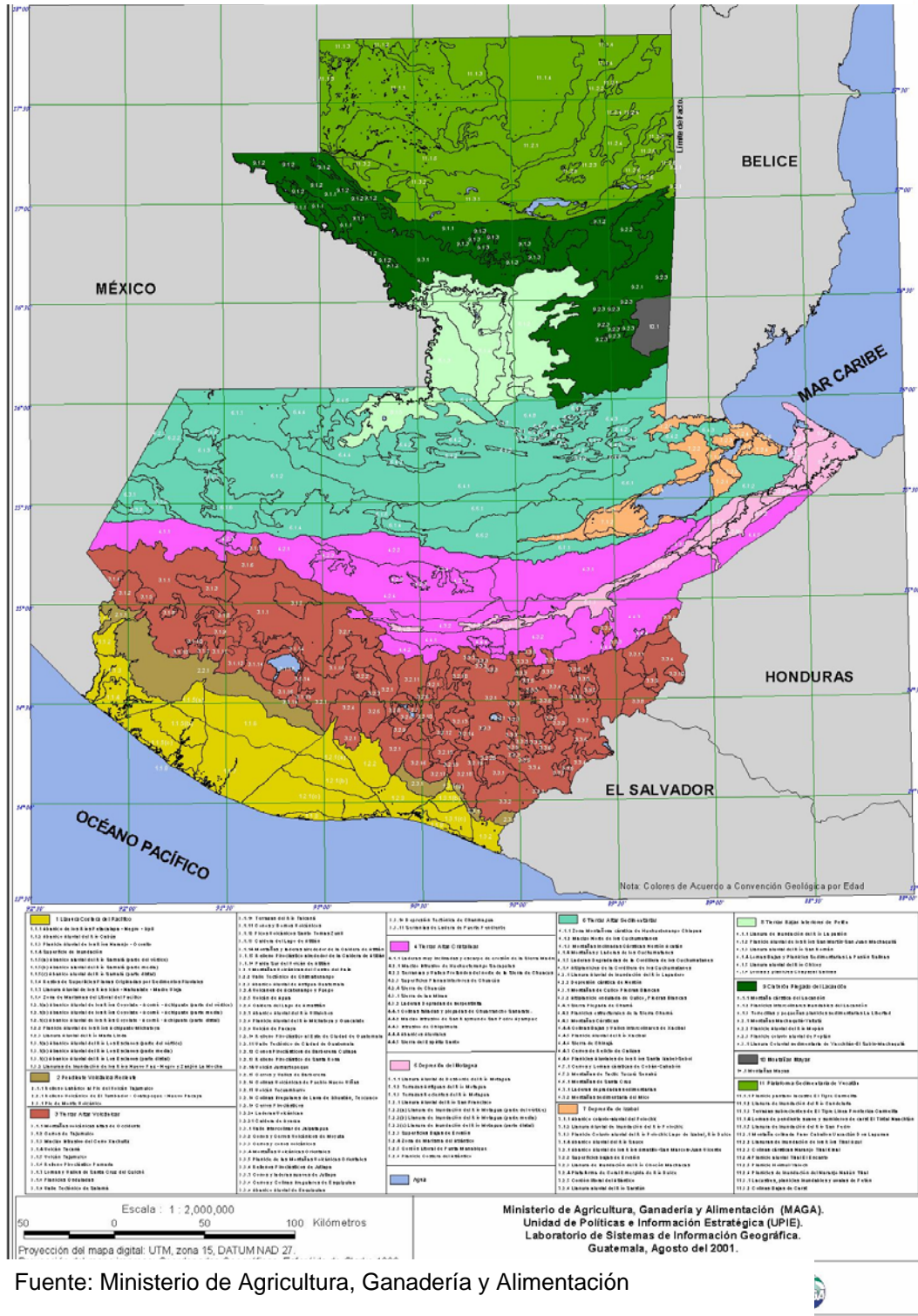
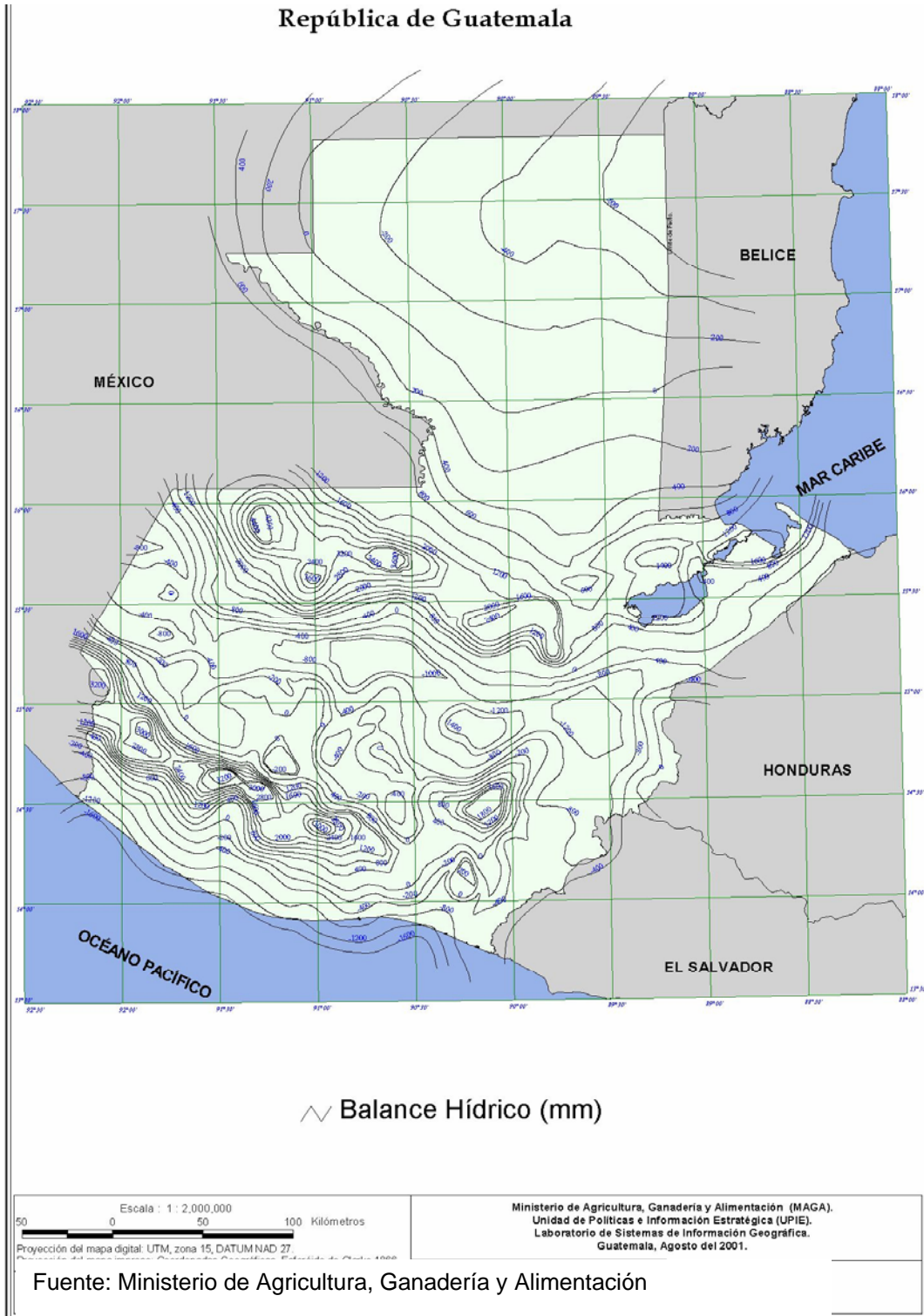


Figura 45. Mapa de fisiográfico-geomorfológico de Guatemala



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

**Figura 46. Mapa de balance hídrico de Guatemala**



**Figura 47. Mapa de estaciones meteorológicas de Guatemala**



Fuente: Instituto Nacional de Sismología vulcanología Meteorología e Hidrológica (INSIVUMEH)



Figura 48. Mapa geológico de Guatemala

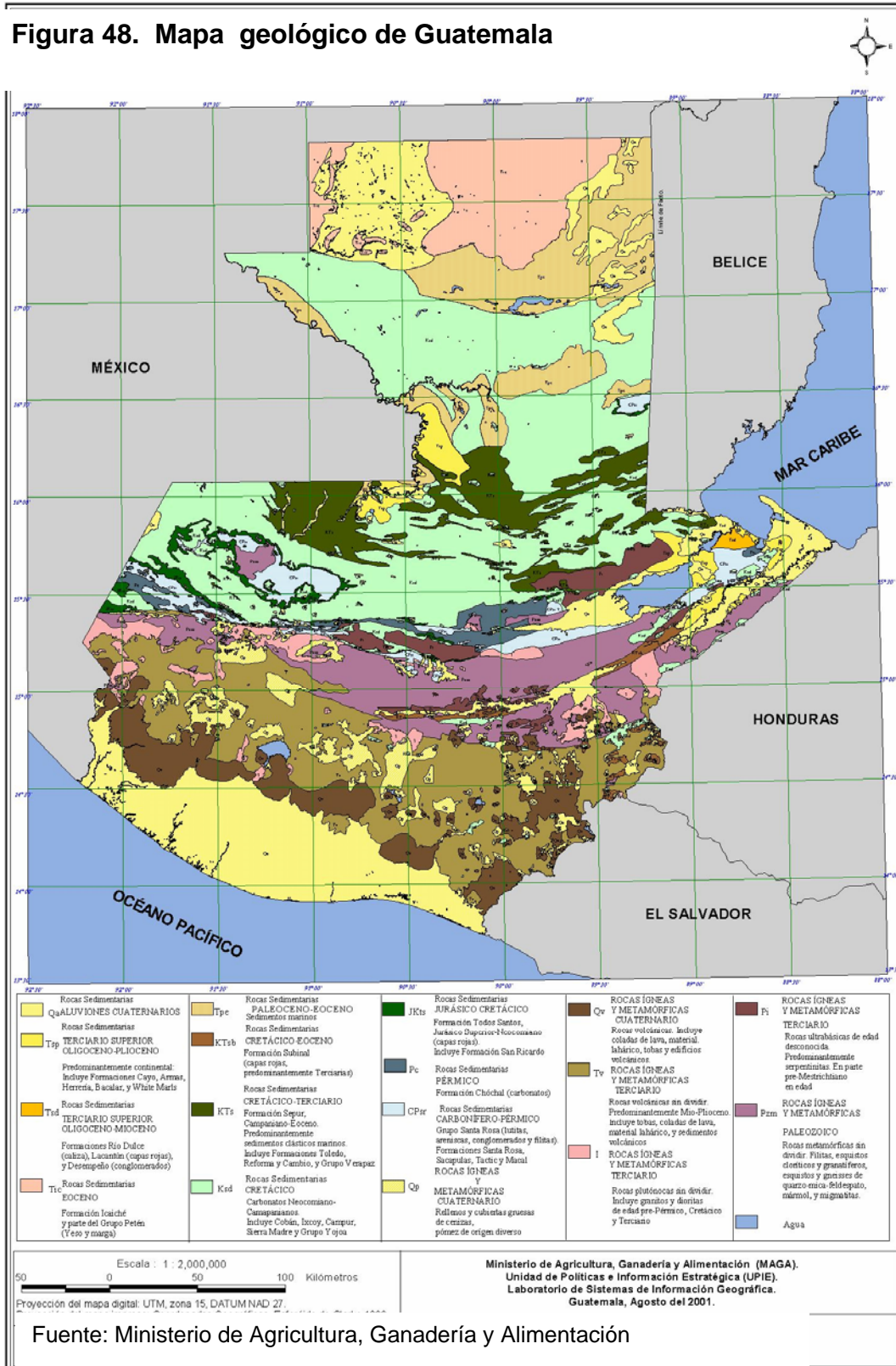
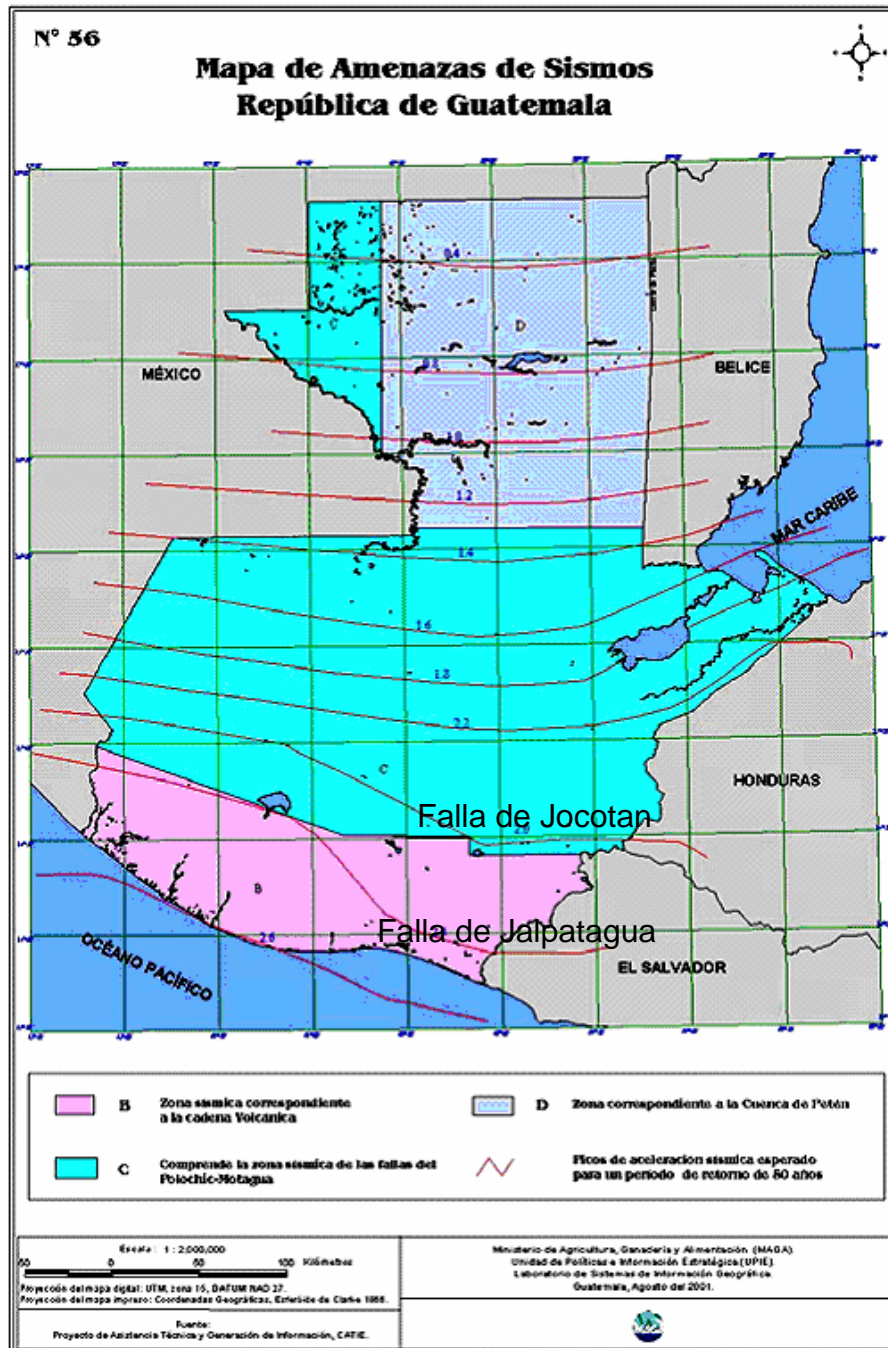
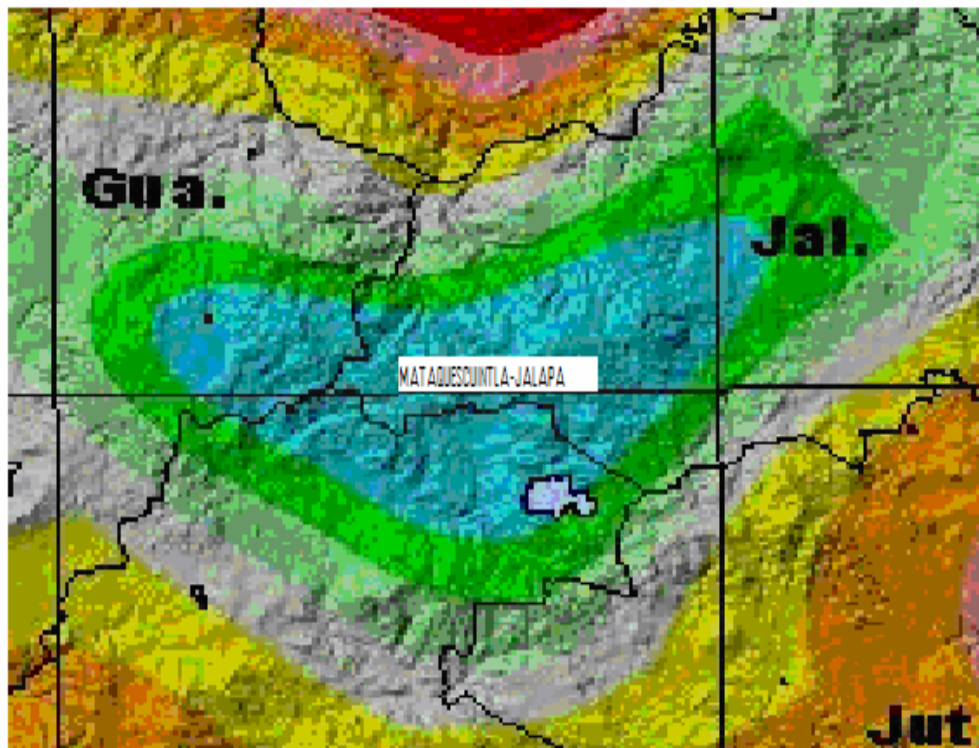
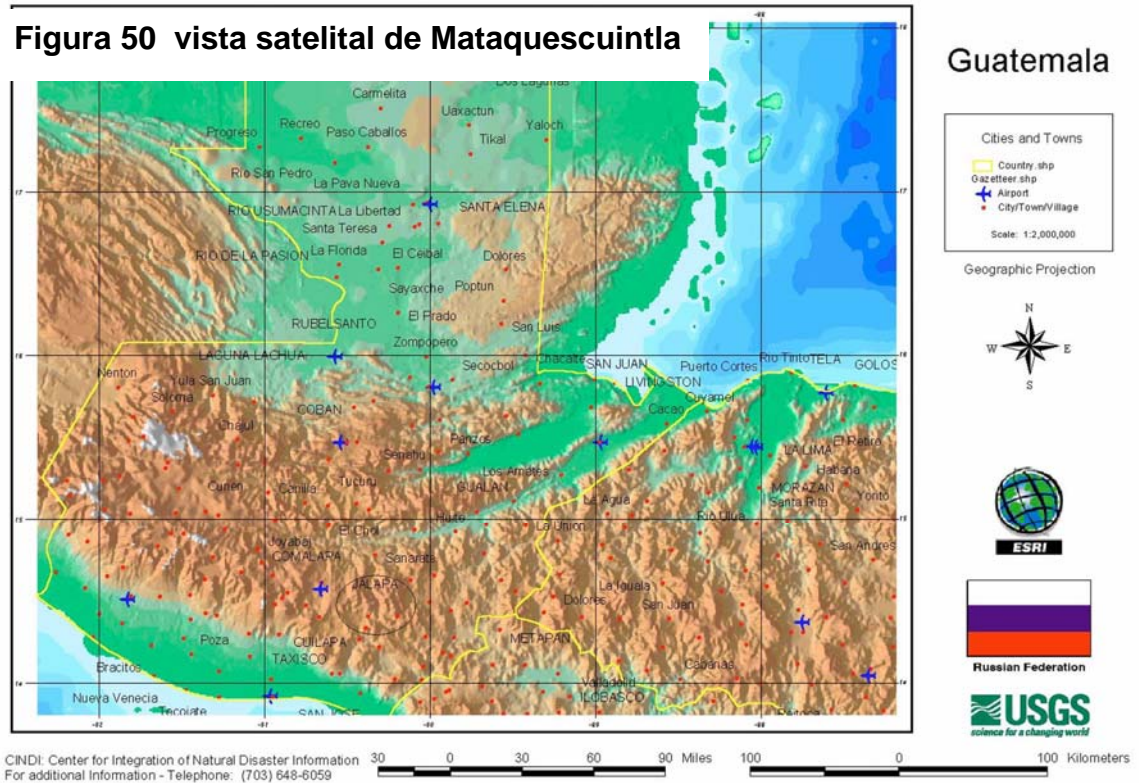


Figura 49. Mapa de Amenazas de Sismos de Guatemala



Fuente: Comisión Nacional para la Reducción de Desastres CONRED

**Figura 50 vista satelital de Mataquesuintla**



Fuente: Centro de integración de desastres natural (CINDI)

Figura 51. Mapa de base del departamento de Jalapa

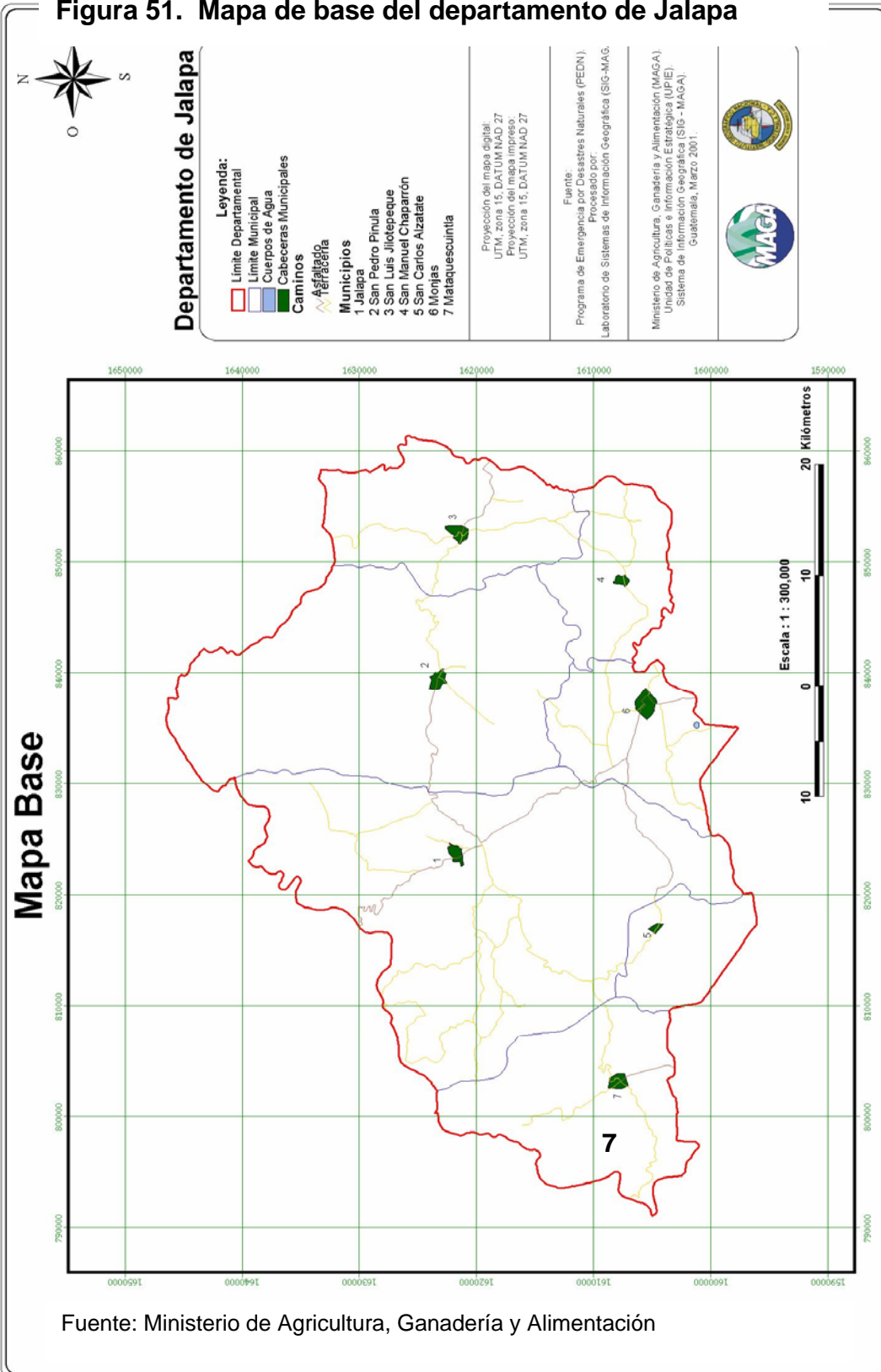
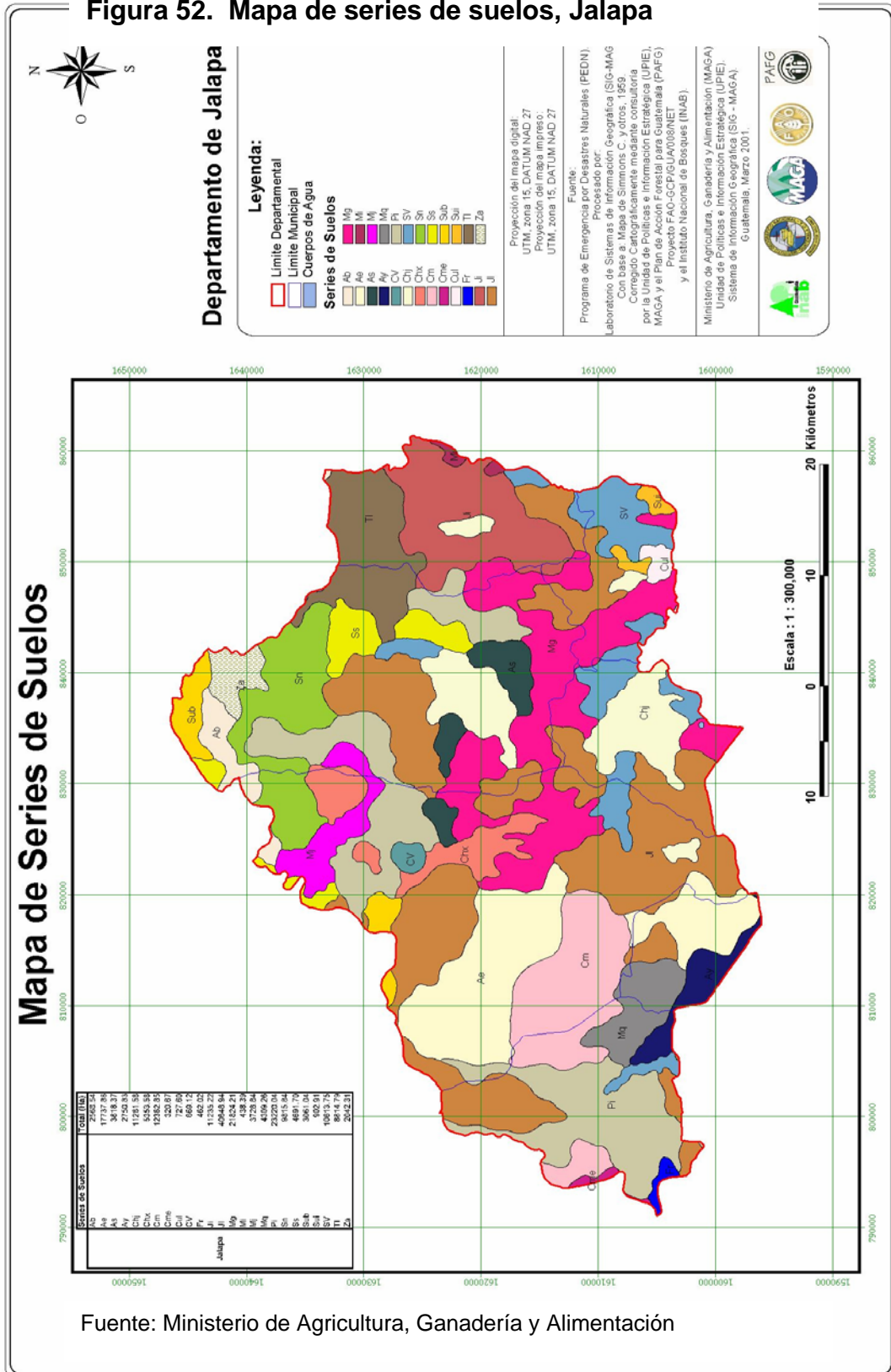


Figura 52. Mapa de series de suelos, Jalapa



**Figura 53. Mapa de precipitación media anual, Jalapa**

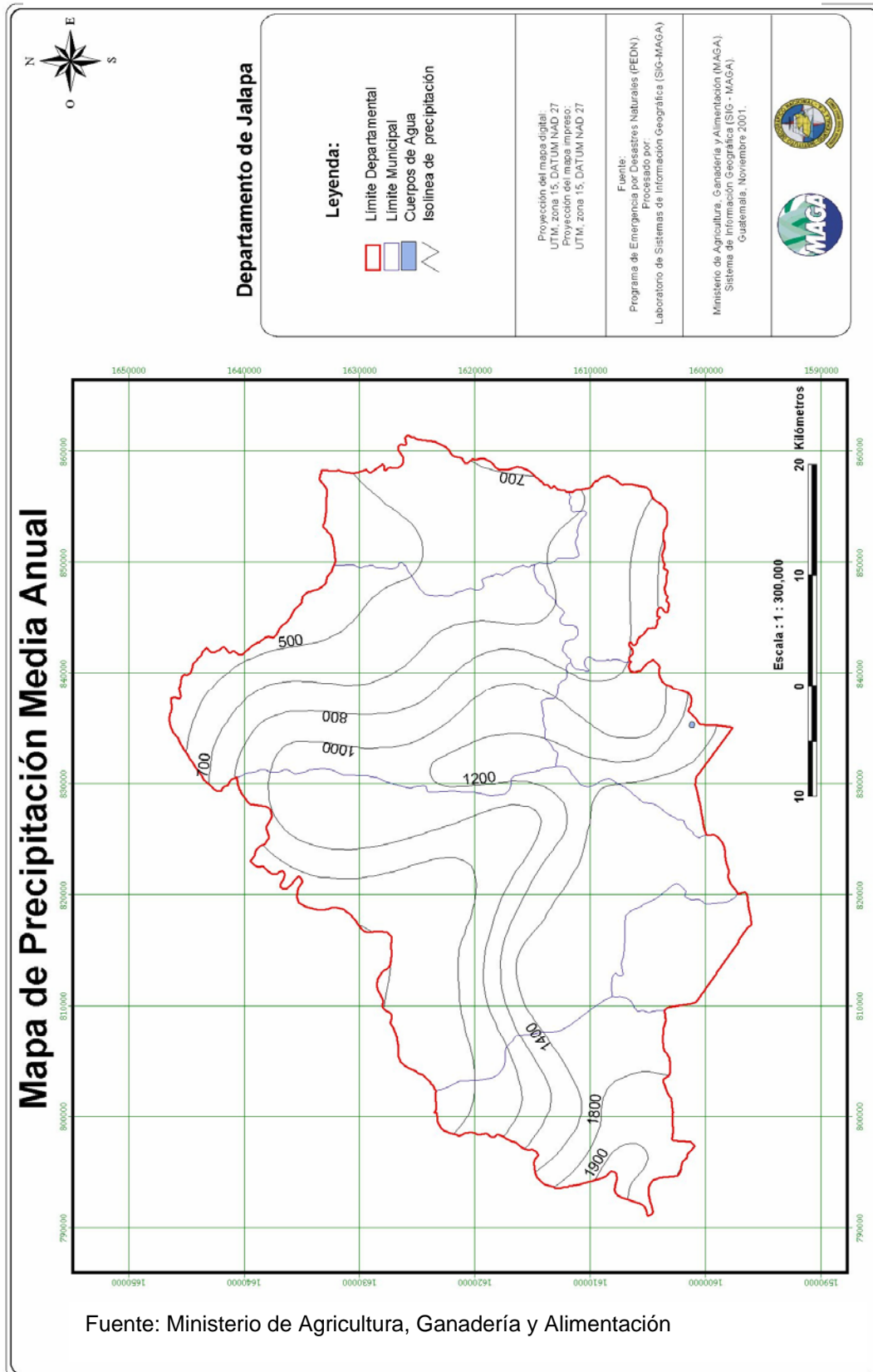


Figura 54. Mapa geológico, Jalapa

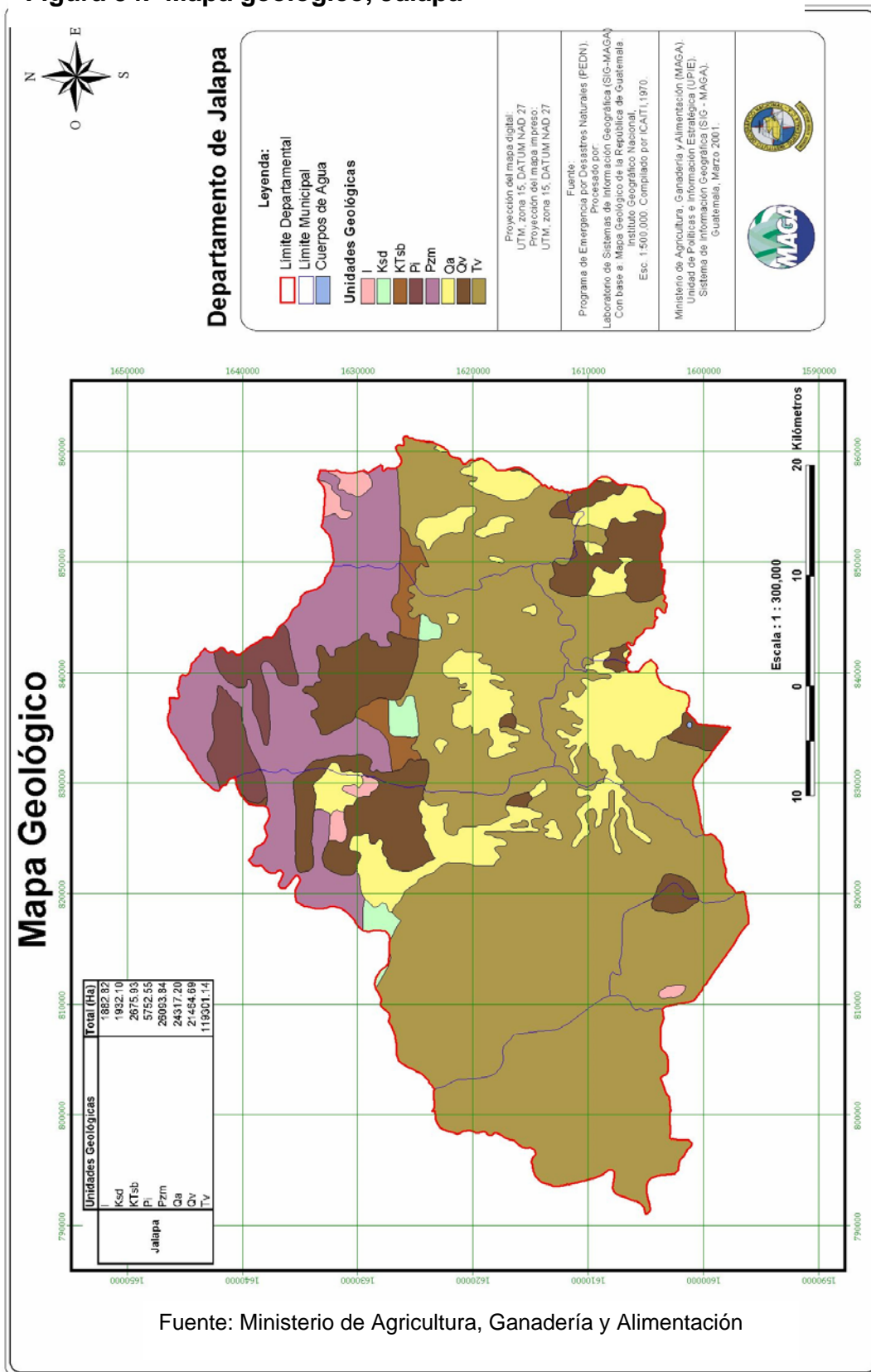


Figura 55. Mapa fisiográfico-geomorfológico

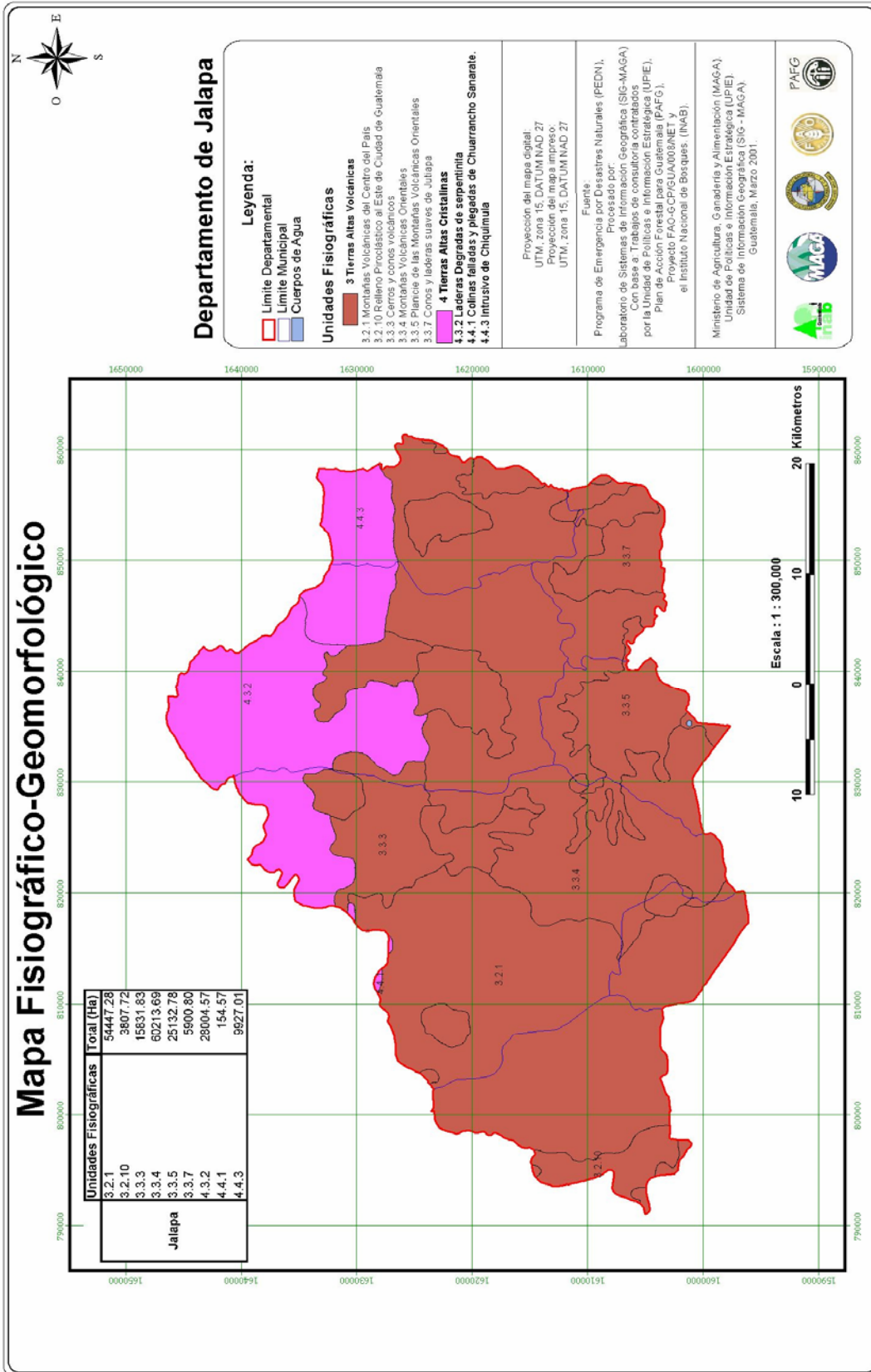




Figura 56. Mapa de cuencas hidrográficas, Jalapa

