



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

**TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS
SÓLIDOS PARA EL PUEBLO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ,
MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO
DE SACATEPÉQUEZ**

ROBERTO ALEJANDRO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

Asesorado por Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, mayo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS
PARA EL PUEBLO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, MUNICIPIO DE
SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE
LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ROBERTO ALEJANDRO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2004

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:

TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS PARA EL PUEBLO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, MUNICIPIO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 16 de marzo de 2004.

Roberto Alejandro Hernández Hernández

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
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 Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

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. Juan Merck Cos
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

AGRADECIMIENTOS

A todos los que de alguna manera hicieron posible este trabajo de graduación, en especial a:

Lourdes Ileana de Hernández

Por todo el amor que me ha brindado, infinitas gracias mamá.

Ing. Edgar Hernández

Sin su ayuda no hubiera sido posible llegar hasta aquí, gracias papá.

Ing. Mario Corzo

Por su desinteresada colaboración y consejo en el desarrollo de este documento final y por hacerme ver la ingeniería desde una perspectiva distinta.

Ing. Bidkar Monterroso

Por sus ideas creativas y ayuda desinteresada.

Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga

Por su supervisión, asesoría y consejo.

Ing. Oscar Peralta

Sin su ayuda nunca hubiera podido realizar mi E.P.S.

Ing. Francisco Álvarez e Ing. Roberto Baldizón

Por su valiosa ayuda.

Señor Alcalde Municipal Don Manuel Navas

Por permitir la realización de mi E.P.S y desarrollar así una propuesta de solución al problema de los desechos sólidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez.

Paola, Sara y Lisa

Por todas sus atenciones dentro de la Municipalidad de Santiago Sacatepéquez.

A todos los trabajadores de la Municipalidad de Santiago Sacatepéquez.

DEDICATORIA

A: Dios

Por permitirme estar aquí en este momento y realizar mi sueño.

A: Mi mamá

Lourdes Ileana de Hernández

Eternamente agradecido por tus cuidados y amor.

A: Mi papá

Ing. Edgar Hernández Flores

Mi ejemplo a seguir, sin tu ayuda no hubiera podido volar alto.

A: Mi hermana

Lucía Alejandra Hernández H.

Por tu amor y tu apoyo siempre

A: Mi abuelita

Dora Arandi vda. de Hernández

Por todas tus atenciones y muestras de amor

A: Mi novia

Jenny Cristina Moscoso

Por todo el amor que me has brindado y por estar conmigo siempre.

A: Mis tíos, tías, primos y primas

Con mucho aprecio

A: Mis amigos y amigas

Gracias por estar siempre conmigo

A: Mis Compañeros de estudio

Que de alguna u otra manera compartieron gratos momentos conmigo.

A Al Colegio Viena

Sin la enseñanza de sus profesores nunca hubiera llegado hasta aquí.

A: La Facultad de Ingeniería y la Universidad de San Carlos.

Muy agradecido por las enseñanzas de sus catedráticos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL PUEBLO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ	1
1.1 Aspectos generales.....	1
1.2 Proyecto de desarrollo necesario en la comunidad.....	4
2. PRINCIPIOS Y DEFINICIONES RELACIONADOS CON UN RELLENO SANITARIO	7
2.1 Definición de relleno sanitario	7
2.2 Fondo del relleno sanitario	7
2.2.1 Barrera geológica	7
2.2.2 Capa de plástico y geotextil	8
2.3 Capa de drenaje.....	8
2.3.1 Capa de piedra bola	9
2.3.2 Tubería de drenaje	9
2.4 Base del relleno sanitario	10
2.5 Proceso de degradación orgánica.....	10
2.6 Aguas lixiviadas o lixiviados	11
2.7 Gases.....	12
2.8 Polvo	13

3. PRINCIPIOS Y DEFINICIONES RELACIONADOS CON EL COMPOST	15
3.1 Definición de compost.....	15
3.2 Orígenes del compost	16
3.3 El proceso de compostaje.....	16
3.4 Etapas del compostaje aeróbico	17
3.4.1 Etapa de latencia.....	18
3.4.2 Etapa mesotérmica 1.....	18
3.4.3 Etapa termogénica	19
3.4.4 Etapa mesotérmica 2.....	19
3.5 Parámetros a considerar en desechos sólidos a compostar.....	20
3.5.1 Relación carbono-nitrógeno (C/N).....	20
3.5.2 Estructura y tamaño de los residuos	21
3.5.3 Humedad.....	21
3.5.4 El pH.....	22
3.5.5 La aireación.....	22
3.5.6 Temperatura.....	22
4. ANÁLISIS DE LOS DESECHOS SÓLIDOS	23
4.1 Número de muestras.....	24
4.2 Producción por vivienda por día (PV).....	25
4.3 Método del cuarteo	28
4.4 Prueba de densidad	29
4.5 Prueba de composición física (base húmeda)	29
5. RESULTADOS DE OTROS ESTUDIOS	31
5.1 Topografía.....	31
5.2 Hidrología.....	32
5.3 Geología	33

6.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN FINAL Y TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS	35
6.1	Entrada de desechos.....	35
6.2	Clasificación	35
6.3	Relleno Sanitario	35
6.3.1	Capacidad y vida útil del relleno sanitario.....	36
6.3.2	Estabilidad de taludes utilizando neumáticos usados	39
6.3.3	Diseño del fondo del relleno sanitario.....	40
6.3.4	Diseño del drenaje.....	40
6.3.5	Tratamiento de las aguas lixiviadas.....	41
6.4	Planta de Compostaje	42
6.4.1	Trituración de desechos.....	42
6.4.2	Manejo del proceso de compostaje en pilas	42
6.4.3	Mezcla, revuelta y movimiento.....	44
6.4.4	Aireación.....	45
6.4.5	Humedecimiento o riego	45
6.4.6	Separación de materiales foráneos	45
6.4.7	Clasificación del producto.....	46
6.4.8	Tratamiento del aire.....	46
6.5	Clasificación domiciliaria	47
6.6	Factores de éxito para un programa de clasificación domiciliaria	47
7.	COSTOS APROXIMADOS DE INVERSIÓN.....	49
8.	RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD.....	57
9.	GUÍA PRELIMINAR PARA LA OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO	61
9.1	Recursos humanos, materiales y técnicos	61

9.1.1 Personal necesario.....	61
9.1.2 Vehículos, herramientas y equipo	62
9.1.3 Balanza	64
9.1.4 Materiales para el mantenimiento y la operación	64
9.2 Plan de operación	65
9.3 Ingreso de los desechos y registro.....	66
9.4 Descarga, colocación, compactación y cubierta	67
9.5 Terminación de una celda o un módulo	68
9.6 Trabajos y controles después de cierre de relleno.....	68
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFÍA.....	81
APÉNDICE	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Localización de estación meteorológica Suiza Contenta	2
2.	Localización a nivel departamento del municipio de Santiago Sacatepéquez	3
3.	Localización a nivel municipio del pueblo de Santiago Sacatepéquez	4
4.	Sistema de espina de pescado	10
5.	Base ideal para un relleno sanitario	10
6.	Método del cuarteo	28
7.	Fallas geológicas cercanas	34
8.	Techo para cubierta de pilas	43
9.	Proceso de colocación y compactación de desechos	67
10.	Cuenca aportante	83
11.	Modelo 3D de predio actual	85
12.	Comparación con escala humana de volúmenes producidos de desechos sólidos	87
13.	Morbilidad en el pueblo de Santiago Sacatepéquez	89
14.	Resultados de ensayos, hoja 1/6	91
15.	Resultados de ensayos, hoja 2/6	93
16.	Resultados de ensayos, hoja 3/6	95
17.	Resultados de ensayos, hoja 4/6	97
18.	Resultados de ensayos, hoja 5/6	99
19.	Resultados de ensayos, hoja 6/6	101
20.	Plano de ubicación de proyecto a nivel pueblo	107
21.	Plano de topografía	109
22.	Plano de curvas de nivel	111

23.	Plano de perfiles	113
24.	Plano de taludes	115
25.	Plano de disposición de neumáticos para taludes	117
26.	Plano de cortes	119
27.	Plano de planta conjunto	121
28.	Plano de planta acotada	123
29.	Plano de plataformas de relleno	125
30.	Plano de área de descarga y clasificación	127
31.	Plano de detalles	129
32.	Plano de drenaje para lixiviados-planta	131

TABLAS

I.	Propiedades óptimas para una capa impermeable óptima	8
II.	Producción de lixiviados	12
III.	Valores promedio de factores f_O , f_{AO} y f_A	13
IV.	Ejemplo de alteración de la densidad de los desechos sólidos	23
V.	Desviación estándar X_i según número de viviendas	24
VI.	Número de muestras según número de hogares por zona	25
VII.	Resultados de muestras, determinación de PV y PPC	26
VIII.	Producción de desechos sólidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez	27
IX.	Producción de desechos sólidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez según tipo	27
X.	Densidad de la muestra de desecho sólidos	29
XI.	Composición física de los desechos sólidos	30
XII.	Capacidad de relleno sanitario	36
XIII.	Producción de desechos sólidos en el tiempo compostando el 17%	37

XIV.	Producción de desechos sólidos en el tiempo compostando el 100%	37
XV.	Producción de desechos sólidos en el tiempo compostando el 75%	38
XVI.	Producción de desechos sólidos en el tiempo compostando el 0%	39
XVII.	Fracciones de compost según diámetro y aplicación	46
XVIII.	Presupuesto aproximado de inversión inicial del proyecto	49
XIX.	Resumen de costos aproximados de inversión inicial por fases	53
XX.	Resumen de costos aproximados de inversión inicial por renglones de trabajo	53
XXI.	Gastos e ingresos aproximados en 11 años de vida útil del relleno sanitario	55
XXII.	Amenazas, riesgos, vulnerabilidades y medidas preventivas en relleno sanitario	57
XXIII.	Amenazas, riesgos, vulnerabilidades y medidas preventivas en planta de compostaje	59
XXIV.	Personal necesario en relleno sanitario	62
XXV.	Herramientas necesarias en relleno sanitario	63
XXVI.	Análisis elementales en el relleno sanitario ideal	65
XXVII.	Evaluación de la necesidad e importancia de análisis	66

LISTA DE SÍMBOLOS

C/N	relación carbono nitrógeno
°C	grados Celsius
lb/m³	libras por cada metro cúbico
gr/ hab/día	gramos por habitante cada día
Ha	hectáreas
kg	kilogramos
kg/ m³	kilogramos por cada metro cúbico
mm	milímetros
m	metros
m²	metros cuadrados
m³	metros cúbicos
m/s	metros por cada segundo
m³/s	metros cúbicos por cada segundo
m³/km²*día	metros cúbicos por kilómetro cuadrado cada día
m³/m²*día	metros cúbicos por metro cuadrado cada día
PP	producción de desechos sólidos pueblo
PPC	producción per cápita anual
PV	producción por vivienda anual
ton	tonelada
ton/ m³	tonelada por cada metro cúbico
V	volumen acumulado de desechos sólidos
Vdc	volumen máximo de desechos
Vdr	volumen de desechos sólidos a tratar

GLOSARIO

Actividad metabólica	Aquella relacionada con las transformaciones de las sustancias que son absorbidas por un organismo vivo.
Altimetría	Parte de la topografía que trata de la medida de las alturas.
Biodegradación	Destrucción de un producto, una vez desechado es destruido por bacterias, microorganismos u otros agentes biológicos.
Compactación	Proceso de apisonamiento con el fin de comprimir e incrementar así su densidad.
Compost	Mezcla estable, lo más homogéneamente posible y sanitariamente neutra con valor en el mercado y aplicable al suelo como abono.
Compostaje	Proceso en el que al someter los desechos sólidos orgánicos a descomposición microbiológica en condiciones controladas de aireación, humedad y temperatura, se transforma en compost.

Cuerpo de desechos sólidos	Volumen constituido por desechos sólidos rellenos.
Desecho sólido	Conjunto de materiales sólidos de origen orgánico e inorgánico que no tienen utilidad práctica o valor comercial para la persona o actividad que los produce.
Desecho sólido inorgánico	Desecho sólido que no es propenso a la putrefacción (por ejemplo, vidrio, metal, plástico, etc.).
Desecho sólido orgánico	Desecho sólido que es putrescible (por ejemplo, cáscaras frutas y verduras, estiércol, malezas, etc.).
Disposición final	Proceso de aislar y depositar los residuos sólidos en forma definitiva, disponiéndolos en lugares especialmente diseñados para recibirlos y eliminarlos, obviando su contaminación y favoreciendo la transformación biológica de los materiales biodegradables, de modo que no presenten daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.
Drenaje pasivo	Difusión controlada de los gases de relleno afuera del cuerpo de desechos sólidos mediante chimeneas.
Fermentación	Degradación de sustancias orgánicas por la acción de enzimas microbianas, acompañada frecuentemente con desprendimientos gaseosos.

Gas de relleno	El gas que se produce en un relleno sanitario (o botadero) como producto de la degradación biológica de los desechos orgánicos.
Lixiviado o aguas lixiviadas	Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o de los desechos sólidos bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas; y como resultado de la percolación de aguas a través de los residuos en proceso de degradación.
Mantenimiento	Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen.
Muro de contención	Muro que sirve para soportar la presión detrás de él después de su construcción.
Nivel freático	Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno.
Oxidación	Combinación con el oxígeno y, más generalmente, reacción en la que un átomo o un ión pierden electrones.
Percolación	Movimiento de un líquido a través de un medio poroso.
Permeabilidad	Propiedad que tiene un cuerpo de permitir el paso de un fluido a través de él.

pH	Nombre de la escala que mide el valor de la acidez o alcalinidad de una sustancia. Sus valores van de 0-14. Se considera neutro un valor de 7, mientras que por debajo del valor corresponde a una materia ácida y por encima a una alcalina.
Pila	Conjunto de materia colocada una sobre otra formando un montículo.
Planimetría	Parte de la topografía que enseña a representar en una superficie plana una porción de la superficie terrestre.
Relleno sanitario	Lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los desechos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería.
Talud	Inclinación de un terreno o bien del paramento de un muro.

RESUMEN

El presente informe final de E.P.S., resultado de meses de estudio y diseño en la Municipalidad de Santiago Sacatepéquez; representa una propuesta a nivel prefactibilidad para el tratamiento de los desechos sólidos para el pueblo de Santiago Sacatepéquez, utilizando tecnología que se encuentra a nuestro alcance y que no es aprovechada.

La propuesta, es la elaboración de un relleno sanitario utilizando neumáticos usados para la estabilidad de los taludes de relleno. Sobre las plataformas del relleno sanitario se encontrará una de las dos plantas de compostaje que funcionarán, con el fin de tratar la fracción de desechos sólidos orgánicos que puedan dársele este tratamiento.

Dicha propuesta, surge de la necesidad que el pueblo de Santiago Sacatepéquez afronta. Dicho pueblo, carece de un manejo y tratamiento de residuos sólidos adecuado. La mayoría de personas vierte éstos en los barrancos aledaños o bien en las calles del pueblo; lo que les provoca problemas de salud debido a las plagas que por esta acción se producen. Además, incide directamente en un deterioro ambiental en lugar, contaminación visual y mala imagen del pueblo para el turista.

El presente informe, se desarrolla a lo largo de nueve capítulos, los cuales abordan los temas de la forma más sencilla posible, con el fin de que cualquier persona, aún no siendo experta en el tema, pueda comprenderlos.

El primer capítulo abarca los aspectos generales de Santiago Sacatepéquez; el segundo y tercero, son teóricos y se presentan de forma sencilla los aspectos más relevantes de los principios de la técnica del compostaje y de un relleno sanitario.

El cuarto, trata sobre los resultados de ensayos y análisis realizados a los desechos sólidos del pueblo de Santiago Sacatepéquez; en el siguiente se muestran los resultados de los estudios topográficos, hidrológicos y geológicos; la propuesta de solución para la disposición final y tratamiento de desechos sólidos se presenta en el seis.

El antepenúltimo capítulo trata sobre los costos de inversión aproximados del proyecto propuesto; en el capítulo siguiente se abarcan los riesgos, amenazas y vulnerabilidades que representan la construcción del proyecto.

En el último capítulo se presenta una guía preliminar para la operación del relleno sanitario; para la planta de compostaje no fue necesario la elaboración de otro capítulo como éste, ya que la operación de ésta se explica en el capítulo seis.

OBJETIVOS

General

- Aplicar los conocimientos de ingeniería civil obtenidos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para desarrollar un proyecto de prioridad en el pueblo de Santiago Sacatepéquez y poder así elaborar el informe final de graduación de la Práctica Profesional Supervisada (E.P.S), previo a obtener el título de ingeniero civil.

Específicos

1. Plantear una propuesta de solución, previa a un diseño final para la disposición final y tratamiento de los desechos sólidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez, integrando factores técnicos, sociales, económicos, organizacionales y ambientales que evitarán la proliferación de plagas que repercuten en problemas a la salud de los habitantes de este pueblo, previo al desarrollo de un estudio de factibilidad y diseño final.
2. Iniciar la investigación sobre muros de contención utilizando neumáticos usados para la estabilidad de taludes de relleno; esperando que los datos obtenidos sirvan para la elaboración de estudios específicos sobre este tema.
3. Aportar un documento de consulta en el que se aborden teóricamente los temas de compostaje y de relleno sanitario.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de preservar el medio ambiente, manipular grandes volúmenes de desechos sólidos de forma que se evite de alguna manera la contaminación y la proliferación de vectores causantes de enfermedades y al mismo tiempo encontrar rentabilidad en tal proceso; nos lleva al redescubrimiento del compostaje, el cual se ve potenciado con los nuevos aportes científicos.

Técnicamente, el proceso de compostaje, consiste en la descomposición microbiológica en condiciones controladas de aireación y temperatura de los desechos orgánicos. El compostaje de desechos sólidos, permite la reducción de los mismos y la obtención de un producto valorizable. Casi todos los desechos sólidos orgánicos, que tienen su origen en los seres vivos, tanto animales como vegetales, pueden ser transformados en compost.

Debe de tenerse en cuenta, que es un procedimiento de reducción de desechos sólidos y no necesariamente un negocio.

Simultáneamente, con el proceso de la elaboración de compost, debe de considerarse la disposición final de todos aquellos desechos que por algún motivo no son compostables y deben de dársele un tratamiento para evitar la contaminación del medio en que habitamos; ya sea reciclándolos o en un relleno sanitario.

1. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL PUEBLO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ

Aspectos generales

El nombre geográfico oficial del área estudiada, es el de pueblo de Santiago Sacatepéquez, pertenece al municipio del mismo nombre y forma parte además del departamento de Sacatepéquez.

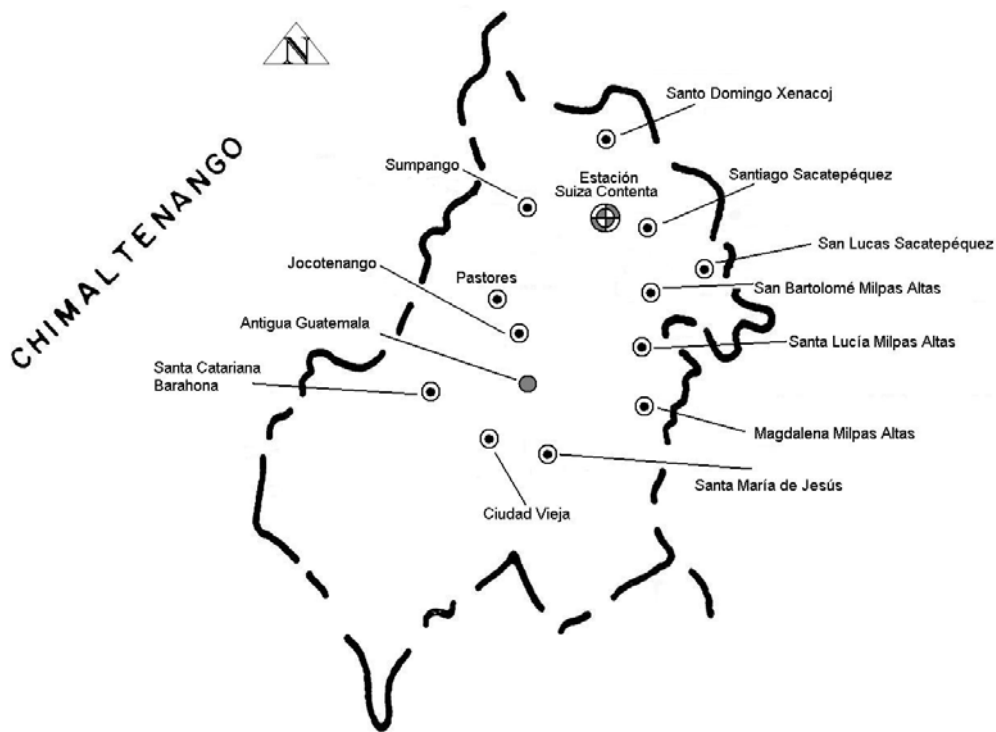
Según el historiador Fuentes y Guzmán, el nombre proviene de "Sacat" que significa yerba o zacate; y "tepet", cerro; que quiere decir cerro de yerba o zacate, anteponiéndosele el nombre de Santiago debido al Santo Apóstol.

El municipio de Santiago Sacatepéquez cuenta con un área aproximada de 15km²; mientras que el área del pueblo de Santiago Sacatepéquez es de 1.17km² y posee un perímetro de 6.77Km.

Santiago Sacatepéquez, se encuentra situado en la parte Este del departamento de Sacatepéquez, y a nivel República en la Región V o Región Central. Se localiza en la latitud 14° 38' 05" y en la longitud 90° 40' 45" y se encuentra a una altura de 2,040msnm, por lo que generalmente su clima es relativamente frío. Se encuentra a una distancia de 17km de la cabecera departamental de Sacatepéquez. La población total en el pueblo de Santiago Sacatepéquez es de 15,005 habitantes.

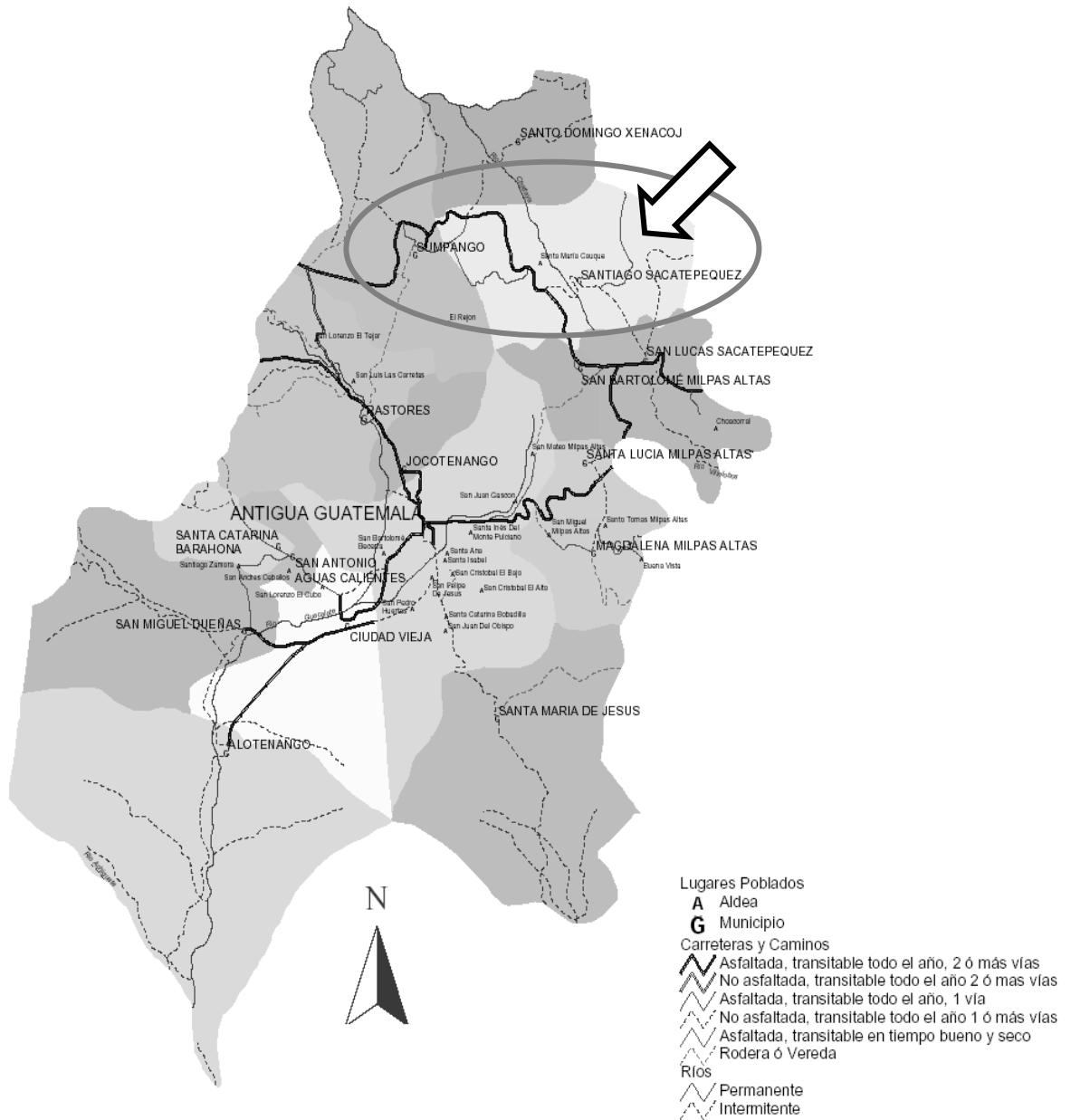
La estación meteorológica más cercana a Santiago Sacatepéquez es la Suiza Contenta, es del tipo B; y se encuentra localizada en la latitud $14^{\circ} 37' 01''$ y la longitud $90^{\circ} 39' 30''$ y a una altura de 2,105 msm. De esta estación, según datos del INSIVUMEH, la precipitación anual promedio es de 1,394.2mm, la temperatura media anual es de 19.2°C , la temperatura máxima promedio anual es de 21.1°C , la temperatura mínima promedio anual es de 8.6°C , la temperatura mínima absoluta anual 4°C y la temperatura máxima absoluta anual es de 24.2°C .

Figura 1. Localización de estación meteorológica Suiza Contenta



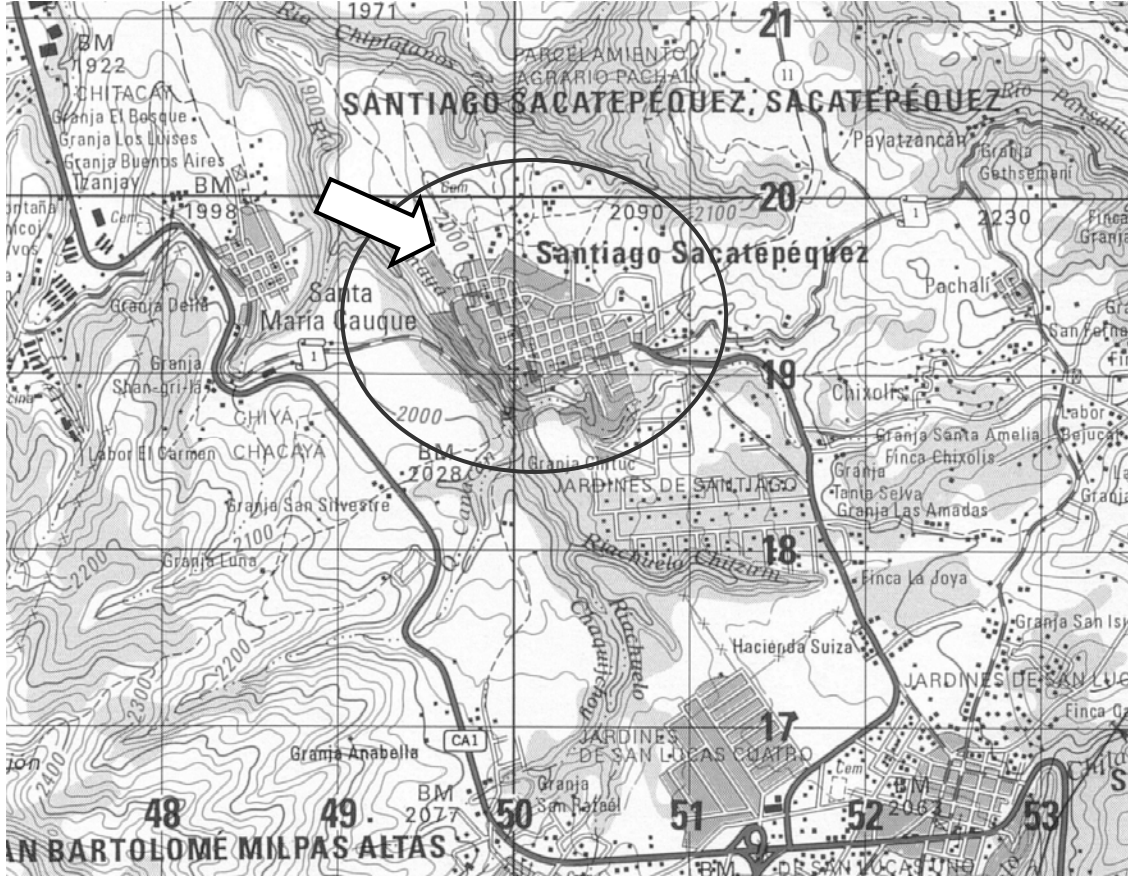
Fuente: INSIVUMEH, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala, 2003

Figura 2. Localización a nivel departamental del municipio de Santiago Sacatepéquez



Fuente: Diccionario Geográfico IGN, Instituto Geográfico Nacional, Guatemala 2000.

Figura 3. Localización a nivel municipio del pueblo de Santiago Sacatepéquez



Fuente: IGN, mapa escala: 1:50,000, hoja 2059 I

Proyecto de desarrollo necesario en la comunidad

Para poder determinar el proyecto de desarrollo necesario más urgente en el pueblo de Santiago Sacatepéquez, se realizó un estudio de priorización de proyectos. En dicho estudio, la necesidad comunitaria en lo que a proyectos de desarrollo se refiere, se ve evidenciada con la necesidad de dar tratamiento y disposición final de los desechos sólidos que el pueblo produce.

El 62 % de habitantes del pueblo de Santiago Sacatepéquez, coincide que la falta de este proyecto repercute en problemas para la salud, además de deterioro al medio ambiente y una falta de interés del lugar por parte del turismo.

El 35% de los encuestados, aseguran que es necesario un proyecto de tratamiento y disposición final de los desechos sólidos; el 23% piensa que la municipalidad con ayuda del gobierno central debe preocuparse por la educación y las buenas costumbres de los pobladores; el 19% afirma que se debe mejorar el sistema de recolección de aguas servidas; el 14% indica que el servicio de agua potable debe de mejorarse; el 5% de la entrevistados se ven preocupados por la situación actual de las calles del pueblo; el 4% restante opina que existen problemas en otros proyectos.

Por su parte del 85% de los entrevistados y encuestados afirma, que la Municipalidad de Santiago Sacatepéquez, es la encargada de velar por las acciones necesarias para solventar las necesidades de la población de Santiago Sacatepéquez.

Es necesario educar a la población para que no siga deteriorando su entorno; aspecto que podría encargarse una comisión especial, nombrada por la municipalidad, en coordinación conjunta con los establecimientos educativos y el centro de salud del lugar.

2. PRINCIPIOS Y DEFINICIONES RELACIONADOS CON UN RELLENO SANITARIO

Definición de relleno sanitario

Un relleno sanitario es un lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los desechos sólidos, sin que éste cause peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería para su control, tales como cobertura diaria, control de gases y lixiviados, etc.

Fondo del relleno sanitario

2.2.1 Barrera geológica

Se entiende como barrera geológica, a la capa de suelo natural de baja permeabilidad que se encuentra arriba de la primera capa freática. En el caso de un relleno sanitario lo ideal es que el suelo ya disponga de ésta, lo ideal son capas de arcilla o limo; si el suelo natural posee un factor de permeabilidad menor a 1×10^{-6} m/s y con un espesor de 3m o más constituye una barrera geológica natural ideal.

De no poseer el terreno las con las características antes mencionadas, se debe de construir una protección de una capa mineral impermeable al fondo del relleno, a fin de impedir la filtración de las aguas lixiviadas hacia las capas freáticas. Dicha capa protectora debe de cumplir con las propiedades que se muestran en la tabla I.

Tabla I. Propiedades óptimas para una capa impermeable ideal

Criterio	Valor
Espesor(m)	0.75
Factor de permeabilidad kf (m/s)	<10 ⁻⁹
Contenido de partículas pequeñas	>20
Contenido de arcilla (%)	>10
Tamaño máximo de partículas (mm)	20.00
Contenido de carbonato de potasio (%)	<15
Contenido de agua (%)	<5
Contenido de materia orgánica (%)	<5

Fuente: Eva Röben. Manual para el diseño, construcción, operación y cierre de relleno sanitario municipal. DED/ Ilustre Municipalidad de Loja Ecuador. 2002. Pág.22.

No es probable encontrar un suelo que cumpla con todos los criterios mostrados en la tabla anterior, así, el suelo más apropiado, será el que posea las características más próximas. Es importante mencionar que la compactación debe de realizarse separadamente tres veces con capas de 50cm cada una, hasta alcanzar los 0.75m que se recomiendan de espesor.

2.2.2 Capa de plástico y geotextil

La capa de plástico se coloca sobre la capa mineral y se recomienda utilizar rollos de polietileno de alta densidad (PEHD) con un espesor no menor a 2mm o un material equivalente. Cuando esté terminado, el proceso de colocación del plástico y sobre éste la capa de drenaje, se debe colocar geotextil (tela de ingeniería) sobre esta última.

Capa de drenaje

Es aquella que se coloca sobre el geotextil y tiene como función el drenaje de las aguas lixiviadas, a fin de conducir éstas a una planta de tratamiento biológico.

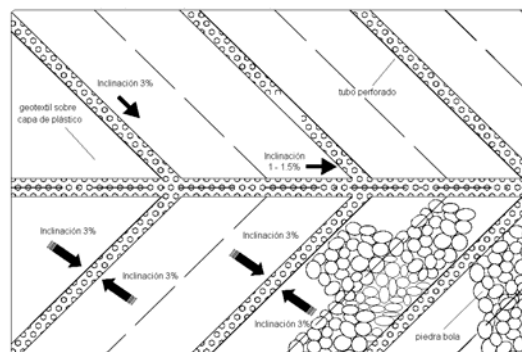
2.3.1 Capa de piedra bola

El espesor hidráulicamente eficiente de esta capa, debe ser de por lo menos 0.30m; pero se recomienda un espesor de 0.5m con el fin de proteger la permeabilidad hidráulica durante muchos años. Como se mencionó anteriormente, se debe de colocar una capa de geotextil o de materiales reemplazantes como helechos o pasto sobre la capa de drenaje, al fin de evitar que se congestione la capa de drenaje con partículas sólidas escurridas en las aguas lixiviadas; a su vez sirve de protección a la capa plástica y ayuda a una mayor impermeabilidad.

2.3.2 Tubería de drenaje

El sistema ideal de drenaje son tubos perforados que se colocan dentro de la capa de piedra bola. Estos tubos deben ser colocados al fondo de la capa, para de permitir que todas las aguas se percolen al interior del tubo. Para evitar acumulaciones de aguas lixiviadas y asegurar una conducción rápida y eficiente en el relleno sanitario, el fondo del relleno se diseña en triángulos ligeramente inclinados y colocar los tubos al fondo de estos triángulos (sistema espina de pescado).

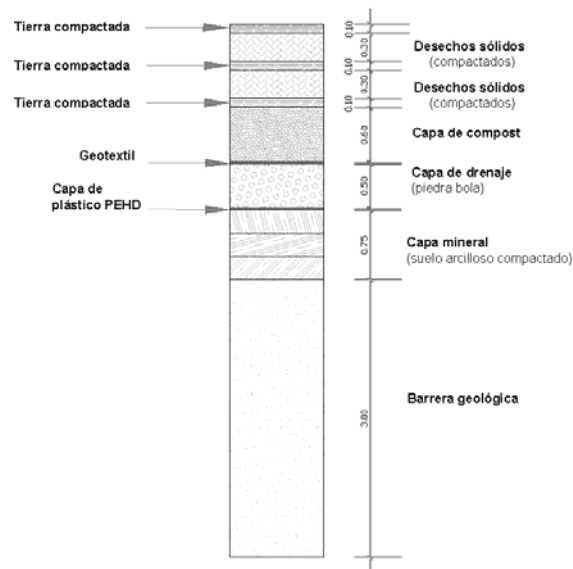
Figura 4. Sistema espina de pescado



Base del relleno sanitario

En forma de resumen la base ideal del relleno sanitario debiese de consistir de las capas que se muestran a continuación en la figura 5.

Figura 5. Base ideal para un relleno sanitario



Proceso de degradación orgánica

El proceso cuenta con cuatro fases las cuales son: oxidación, fermentación agria anaeróbica, fermentación anaeróbica desequilibrada con producción de metano y la fase de fermentación anaeróbica con producción de metano.

Al consumirse el oxígeno contenido en los desechos sólidos durante la fase de oxidación, comienza la fase de fermentación agria anaerobia y con ella el proceso de putrefacción que dura cerca de 2 semanas.

En esta segunda fase, los compuestos orgánicos como grasas, proteínas y celulosa se transforman en compuestos más simples; luego estos compuestos más simples se transforman a su vez en H_2 (hidrógeno²), CO_2 (dióxido de carbono) y otras sustancias, de allí el nombre de la fase que puede durar aproximadamente 2 meses. Las aguas lixiviadas más contaminadas se producen en esta fase. Si los desechos tienen contacto con el aire durante esta transformación en la segunda fase, son sumamente elevadas las emisiones oloríficas. La tercera comienza cuando productos de la segunda fase se transforman en CH_4 (metano), CO_2 (dióxido de carbono) y H_2O (vapor de agua) y tiene una duración de aproximada de 2 años. La cuarta etapa varía de 25 a 40 años y se sigue produciendo ya solamente metano y dióxido de carbono.

Aguas lixiviadas o lixiviados

Las aguas lixiviadas son aguas altamente contaminadas producto de la descomposición de los desechos sólidos.

La cantidad de las aguas lixiviadas que se producen en un relleno sanitario depende de varios factores, como la precipitación de agua en el lugar, fase de fermentación, el área del relleno, el modo de operación del relleno y sobre todo la clase de desecho sólido que se deposita en él.

Tabla II. Producción de lixiviados

Tipo de relleno	Producción de aguas lixiviadas (% de precipitación)	Producción de aguas lixiviadas (m ³ /km ² *día)			Producción de aguas lixiviadas (m ³ /m ² *día)		
		Precipitación	Precipitación	Precipitación	Precipitación	Precipitación	Precipitación
		700mm/año	1500mm/año	3000mm/año	700mm/año	1500mm/año	3000mm/año
Manual	60	1,151	2,466	4,932	11.5	24.7	49.3
compactado con maquinaria liviana	40	767	1,644	3,288	7.7	16.4	32.9
compactado con maquinaria pesada	25	479	1,027	2,055	4.8	10.3	20.6

Fuente: Eva Röben. Manual para el diseño, construcción, operación y cierre de relleno sanitario municipal. DED/ Ilustre Municipalidad de Loja Ecuador. 2002. Pág.37.

Gases

En el relleno sanitario, debido a los desechos orgánicos, se producen emisiones gaseosas, debidas a la descomposición de éstos. Estas emisiones son compuestas de varios gases orgánicos y se llaman gas de relleno o biogás.

La cantidad de gases producidos en un relleno sanitario se puede calcular con la siguiente fórmula: $G = 1.868 * C_{org} * (0.014T+.28)*(1-10^{-kt}) * f_o * f_{ao} * f_a$ (ver tabla III); donde: C_{org} es el contenido de carbón orgánico en los desechos sólidos, el cual oscila entre 17-22% en desecho sólidos no separados y entre 2-10% en desecho sólidos no biodegradable clasificada. T es la temperatura en °C del interior del cuerpo de desechos sólidos que se puede estimar en unos 30°C. La constante k se conoce con el nombre de constante de biodegradación y oscila entre 0.025 y 0.05 encontrándose muy frecuentemente entre 0.035 y 0.04. El factor f_o es el factor de optimización el cual considera la tecnología del manejo del relleno sanitario. El factor f_{ao} se le conoce como factor de pérdidas iniciales es decir el porcentaje de carbón orgánico que no se pierde durante la fase de fermentación aeróbica y f_a es el porcentaje de carbón que se transforma en gas de relleno, es decir en metano y dióxido de carbono esencialmente.

Tabla III. Valores promedio de factores f_o , f_{ao} y f_a

Factor	Valor Mínimo	Condición	Valor Máximo	Condición
f_{ao}	0.8	-Construcción del relleno en capas delgadas -Exposición de los desechos al aire -Crecimiento lento del cuerpo de relleno	0.95	-Construcción de relleno en capas espesas -Cubierta inmediata de los desechos -Elevación rápida del cuerpo de relleno
f_a	0.70	valor promedio	0.7	valor promedio
f_o	0.65	-Mala compactación -Falta de cubierta diaria -Alta precipitación	0.8	-Construcción del relleno en capas delgadas -Cobertura inmediata de los desechos -Buena compactación -Baja precipitación -Recirculación de las aguas lixiviadas o uso de celdas como filtro anaeróbico

Fuente: Eva Röben. Manual para el diseño, construcción, operación y cierre de relleno sanitario municipal. DED/ Ilustre Municipalidad de Loja Ecuador. 2002. Pág.55

Polvo

El polvo que se produce en el relleno sanitario, se puede dispersar hasta una distancia de 250m. Esta es también una razón para prohibir la construcción de habitaciones cerca del relleno. Se recomienda una distancia de al menos 300, y según las condiciones del terreno hasta 1000m.

3. PRINCIPIOS Y DEFINICIONES RELACIONADOS CON EL COMPOST

Definición de compost

A lo largo de la historia, se han empleado distintos procedimientos en la producción de compost, que han generado numerosas publicaciones con diferentes enfoques, posiblemente, debido al desconocimiento de los mecanismos íntimos del proceso. Actualmente, se conoce la base científica de este proceso, y se lleva a cabo de una forma controlada.

En tal sentido, puede definirse el compost como el producto que se obtiene del compostaje; es decir, el proceso en el que al someter los desechos sólidos orgánicos a descomposición microbiológica en condiciones controladas de aireación, humedad y temperatura, se transforma en una mezcla estable, lo más homogénea posible y sanitariamente neutra; reduciendo así los desechos sólidos y obteniendo un producto valorizable y aplicable al suelo como abono y mejorador de la textura de éste.

Se utiliza el término descomposición, en vez de estabilización, porque no siempre se puede asegurar que la estabilización de la materia orgánica sea total. Se dice que se produce una descomposición microbiológica, para diferenciarla de otros procesos de descomposición física o química.

Al hablar de condiciones controladas de aireación, es porque es necesario la aportación de oxígeno para conseguir temperaturas más altas, acelerar el proceso, eliminar olores y la mayoría de agentes patógenos, parásitos y para diferenciarla de la descomposición anaerobia, sin O_2 , cuyo proceso es más lento y se lleva a cabo, principalmente, para la obtención de gas metano.

Orígenes del compost

El compostaje es una técnica utilizada desde siempre por los agricultores, que consistía en el apilamiento de los desechos sólidos de la casa, los excrementos de animales y los desechos de la cosecha, con el fin de que se descompusieran y se transformasen en productos más fácilmente manejables.

El desarrollo de la técnica del compostaje tiene su origen en la India, con las experiencias hechas por el inglés Albert Howard a principios del siglo XX. Su éxito consistió en combinar sus conocimientos científicos con los tradicionales de los campesinos. Su método, llamado método Indore, se basaba en fermentar una mezcla de desechos vegetales y excrementos animales manteniéndolos húmedos. El proceso consistía en mantener las mezclas durante 3-6 meses en pilas de 1.5m de altura, volteándolas un par de veces.

El proceso de compostaje

El compostaje practicado hoy por hoy, es un proceso aeróbico que combina fases mesófilas (15 a 45°C) y termófilas (45 a 70°C) para conseguir la transformación de un desecho orgánico en un producto estable, aplicable al suelo como abono.

La estabilización de la materia orgánica se consigue por la oxidación de las moléculas complejas, que se transforman en otras más sencillas y estables. En este proceso se desarrolla calor que, al elevar la temperatura de la masa, produce la esterilización de ésta y la eliminación de agentes patógenos y semillas indeseables. El proceso lo llevan a cabo microorganismos (bacterias y hongos), y nuestra intervención se limita a facilitar las condiciones aptas para que el proceso se realice con la máxima rapidez y eficacia.

Etapas del compostaje aeróbico

En una pila o camellón de desechos sólidos compostable se distinguen dos regiones o zonas; la zona central o núcleo de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes, y la corteza o zona cortical que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

Utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo, podemos diferenciar las siguientes etapas dentro del proceso de compostaje: la etapa de latencia, la mesotérmica 1, la termogénica y la mesotérmica 2.

Las etapas mencionadas anteriormente, no ocurren por completo en la masa en compostaje, es necesario, remover las pilas de material en proceso, de forma tal que el material que se presenta en la corteza, pase a formar parte del núcleo, lo que provoca que la secuencia de etapas se presente por lo general más de una vez.

3.4.1 Etapa de latencia

Considerada desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial. La etapa es notoria cuando el material ingresa fresco al compostaje. Si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida. La duración de esta etapa es muy variable, dependiendo de varios factores.

Si se tiene un control estricto sobre el balance C/N, el pH y la concentración parcial de oxígeno, entonces la temperatura ambiente y la carga de biomasa microbiana que posea el material, son los dos factores que definen la duración de esta etapa. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12°C, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 horas.

3.4.2 Etapa mesotérmica 1

Se lleva a cabo a temperaturas entre 12 y 40°C; se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, al mismo tiempo con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica).

La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de las pilas de compostaje.

La actividad metabólica incrementa gradualmente la temperatura. La falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor y favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los desechos. La duración de esta etapa es variable, depende también de numerosos factores.

3.4.3 Etapa termogénica

Sucede a temperaturas entre los 40 y 70°C. La microflora mesófila es sustituida por la termófila. Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables. Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua. El CO₂ se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos. La concentración de CO₂ alcanzada resulta letal para las larvas de insectos. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes.

3.4.4 Etapa mesotérmica 2

Con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante. Esta etapa se la conoce generalmente como etapa de maduración. Su duración depende de numerosos factores. La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso.

Parámetros a considerar en desechos sólidos a compostar

Un buen progreso del proceso requiere la aportación de aire y el mantenimiento de una porosidad adecuada en la masa.

La descomposición eficiente ocurrirá si las siguientes variables están en su valor óptimo, en la medida de lo posible. Todas están, a su vez, influenciadas por las condiciones ambientales, el tipo de desecho a tratar, la técnica de compostaje, la manera en que se desarrolla la operación y la interacción entre ellas.

3.5.1 Relación carbono-nitrógeno (C/N)

La relación C/N, expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis de proteínas.

En términos generales, una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje.

Un material que presente una C/N superior a 30, requerirá para su biodegradación un mayor número de generaciones de microorganismos, y el tiempo necesario para alcanzar una relación C/N final entre 12-15 (considerada apropiada para uso agronómico) será mayor. Si el cociente entre estos dos elementos es inferior a 20 se producirán pérdidas importantes de nitrógeno.

Puede suceder que el material que dispongamos no presente una relación C/N inicial apropiada para su compostaje. En este caso, debemos proceder a realizar una mezcla con otros materiales para lograr una relación apropiada. Este procedimiento se conoce como balance de nutrientes.

3.5.2 Estructura y tamaño de los residuos

Numerosos materiales, pierden rápidamente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje, otros no obstante son muy resistentes a los cambios, tal es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales en general.

El diámetro medio máximo indicado para las partículas a compostar es de 20mm a 10mm. Trituraciones en donde se obtienen diámetros inferiores a 3mm, no son aconsejables, ya que tienden a compactarse, con lo que disminuye en forma importante la capacidad de intercambio gaseoso.

Una pila grande de compost retiene el calor de su actividad microbiológica. Su centro será más cálido que sus bordes. Con menos de 0.50m habrá problemas para mantener el calor, mientras que más de 1.5m no permiten el paso de aire suficiente al centro para la vida de los microbios.

3.5.3 Humedad

La humedad idónea, para una biodegradación con franco predominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden del 15 al 35 % (del 40 al 60 %, sí se puede mantener una buena aireación).

Humedades superiores a los valores indicados producirían un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, con lo que el medio se volvería anaerobio. Si la humedad se sitúa en valores inferiores al 10%, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento.

3.5.4 El pH

Un pH cercano al neutro (pH 6.5–7.5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino nos asegura el desarrollo favorable de los microorganismos. Valores de pH inferiores a 5.5(ácidos) o superiores a 8(alcalinos) son agentes inhibidores del crecimiento.

3.5.5 La aireación

Valores inferiores al 20% (concentración normal en el aire), producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones y las respiraciones anaeróbicas. En la práctica, esta situación se distingue por la aparición de olores nauseabundos, producto de respiraciones anaeróbicas (generación de dihidruro de azufre SH_2) o fuerte olor a amoníaco.

3.5.6 Temperatura

Es el parámetro que mejor indica el desarrollo del proceso. Debe mantenerse entre 35 y 60°C como rango máximo, para asegurar así, la eliminación de elementos patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. Cada grupo de microorganismos tiene una temperatura óptima para realizar su actividad.

4. ANÁLISIS DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

Es sumamente importante conocer la cantidad de desechos sólidos a recoger y disponer, así como sus características de densidad y composición. No obstante, los métodos estándares de análisis de desechos sólidos desarrollados en los países industrializados son bastante complicados y podrían estar fuera de alcance por la carencia de recursos físicos y humanos de los pueblos de Guatemala.

Este capítulo se basa en el método planteado por el Doctor Kunitoshi Sakurai, actual decano de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de Okinawa Japón. Dicho método tiene el fin de ofrecer una herramienta sencilla para el análisis de los desechos sólidos, facilitando el conocimiento mínimo de cantidad y características de éstos.

La densidad se altera de acuerdo a la etapa de su manejo como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla IV. Ejemplo de alteración de la densidad de los desechos sólidos

	Etapa	Densidad Promedio
A	Desechos sólidos sueltos en recipientes	200 kg/m ³
B	Desechos sólidos compactados en camiones compactadores	500 kg/m ³
C	Desechos sólidos sueltos descargados en los rellenos	400 kg/m ³
D	Desechos sólidos recién rellenos	600 kg/m ³
E	Desechos sólidos estabilizados en rellenos (luego de 2 años)	900 kg/m ³

Fuente: Dr. Kunitoshi Sakurai. Hoja de divulgación técnica CEPIS HDT 17. Pág.3

Número de muestras

Para la determinación de la producción per cápita por día (PPC), fue necesario la utilización de la tabla V para determinar la desviación estándar de variable $X_i = \text{PPC}$ de la vivienda i .

Tabla V. Desviación estándar X_i según número de viviendas

	Desviación estándar* de las muestras					
	50.0	100.0	150.0	200.0	250.0	
Total de viviendas en cuestión	500	3.8	14.9	32.3	54.7	80.6
	1,000	3.8	15.1	33.4	57.9	87.6
	5,000	3.8	15.3	34.3	60.7	94.2
	10,000	3.8	15.3	34.5	61.1	95.1
	Más de 50,000	3.8	15.4	34.6	61.4	95.9

Fuente: Dr. Kunitoshi Sakurai. Hoja de divulgación técnica CEPIS HDT 17. Pág.4

Se tomó como permisible un error = 50g/hab/día, una confiabilidad = 95%, 1,826 hogares que existen en el pueblo según censo de 1994; de acuerdo a la tabla V y dado a que no se cuenta con datos de estudios anteriores, el Dr. Sakurai recomienda el uso de 200gr/hab/día.

Para determinar el número necesario de muestras para los casos no incluidos como en nuestro caso, se procedió a determinarse por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{V^2}{\left(\frac{E}{1.96}\right)^2 + \frac{V^2}{n}}$$

Donde: n = muestras a determinar; V = Desviación estándar de variables X_i (gr/hab/día), E = error permisible en la estimación del PPC (gr/hab/día), N = número total de viviendas.

Los resultados del número de muestras para determinar el PPC es de 59.46 muestras, por lo que fue necesaria la recolección de 60 muestras; las cuales fueron distribuidas dentro de las cuatro zonas del pueblo de Santiago Sacatepéquez de acuerdo a la población de cada zona para una mayor facilidad a la hora de recolectar las muestras y con el fin de distribuir las de una forma equitativa en todo el pueblo.

Tabla VI. Número de muestras según número de hogares por zona

Zona	Población	Hogares	Muestras a tomar
1	2,398	459	15
2	1,981	379	12
3	4,141	792	26
4	1,026	196	6
TOTAL	9,546	1,826	60

Producción por vivienda por día (PV)

Para la determinación de la producción por vivienda (PV) se pesaron cada una de las 3 bolsas que fueron entregadas a las 60 viviendas obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 7. Dado que la recolección efectuó en un período de cinco días el PV se determinó calculando el promedio de las sumatorias de las masas de las muestras entre 5 (período de recolección). Para el cálculo de la producción per cápita por día PPC se utilizó el dato obtenido de PV y se dividió entre el número de personas que habitan la vivienda.

Tabla VII. Resultados de muestras, determinación PV y PPC

Vivienda	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 3	Σmasa(lb)	Personas en vivienda	días de recolección	PPV lb/día	PPV kg/día	PPC lb/día	PPC kg/día
	Masa (lb)	Masa (lb)	Masa (lb)							
1	18.5	7.5	17	43.0	5	5	8.60	3.90	1.72	0.78
2	12.5	15	19	46.5	7	5	9.30	4.22	1.33	0.60
3	12	12	7.5	31.5	7	5	6.30	2.86	0.90	0.41
4	17	11.5	16	44.5	7	5	8.90	4.04	1.27	0.58
5	11.5	11	10	32.5	6	5	6.50	2.95	1.08	0.49
6	15	10.5	15.5	41.0	6	5	8.20	3.72	1.37	0.62
7	8.5	9.5	13	31.0	5	5	6.20	2.81	1.24	0.56
8	8	8.5	14	30.5	4	5	6.10	2.77	1.53	0.69
9	11	4.5	11	26.5	5	5	5.30	2.40	1.06	0.48
10	12.5	10.5	13	35.5	6	5	7.10	3.22	1.18	0.54
11	12	10.5	12.5	35.0	6	5	7.00	3.18	1.17	0.53
12	15	11.5	11	37.5	7	5	7.50	3.40	1.07	0.49
13	14.5	21	20	55.5	8	5	11.10	5.03	1.39	0.63
14	16.5	16	10.5	43.0	8	5	8.60	3.90	1.08	0.49
15	16	19	10.5	45.5	8	5	9.10	4.13	1.14	0.52
16	10.5	20	12.5	43.0	8	5	8.60	3.90	1.08	0.49
17	16.5	18	14.5	49.0	9	5	9.80	4.45	1.09	0.49
18	17	16.5	16	49.5	8	5	9.90	4.49	1.24	0.56
19	11	15	21	47.0	7	5	9.40	4.26	1.34	0.61
20	14	9.5	21	44.5	8	5	8.90	4.04	1.11	0.50
21	12	14	10.5	36.5	8	5	7.30	3.31	0.91	0.41
22	20	17	15.5	52.5	7	5	10.50	4.76	1.50	0.68
23	16	8.5	16.5	41.0	6	5	8.20	3.72	1.37	0.62
24	9.5	18	21	48.5	8	5	9.70	4.40	1.21	0.55
25	17	19	10.5	46.5	8	5	9.30	4.22	1.16	0.53
26	13	8.5	15	36.5	6	5	7.30	3.31	1.22	0.55
27	9.5	12	19.5	41.0	7	5	8.20	3.72	1.17	0.53
28	11	12	18	41.0	6	5	8.20	3.72	1.37	0.62
29	14.5	12	20	46.5	6	5	9.30	4.22	1.55	0.70
30	16	13	15.5	44.5	7	5	8.90	4.04	1.27	0.58
31	16.5	12	11.5	40.0	8	5	8.00	3.63	1.00	0.45
32	19.5	21	16	56.5	8	5	11.30	5.13	1.41	0.64
33	8.5	12	12.5	33.0	7	5	6.60	2.99	0.94	0.43
34	19	13	20	52.0	9	5	10.40	4.72	1.16	0.52
35	16	21	12.5	49.5	10	5	9.90	4.49	0.99	0.45
36	17	8.5	20	45.5	8	5	9.10	4.13	1.14	0.52
37	18.5	19	20	57.5	9	5	11.50	5.22	1.28	0.58
38	20	16.5	17	53.5	10	5	10.70	4.85	1.07	0.49
39	19	21	13.5	53.5	11	5	10.70	4.85	0.97	0.44
40	19	15.5	20	54.5	10	5	10.90	4.94	1.09	0.49
41	21.5	16	20	57.5	12	5	11.50	5.22	0.96	0.43
42	17.5	21	17.5	56.0	13	5	11.20	5.08	0.86	0.39
43	16.5	21.5	19.5	41.0	9	5	8.20	3.72	0.91	0.41
44	19.5	21.5	20	61.0	10	5	12.20	5.53	1.22	0.55
45	21	17.5	18.5	57.0	12	5	11.40	5.17	0.95	0.43
46	16.5	20	17.5	54.0	13	5	10.80	4.90	0.83	0.38
47	21	21	16.5	58.5	11	5	11.70	5.31	1.06	0.48
48	21	18.5	20	59.5	12	5	11.90	5.40	0.99	0.45
49	22	19	18	59.0	9	5	11.80	5.35	1.31	0.59
50	18.5	9.5	21	49.0	8	5	9.80	4.45	1.23	0.56
51	18	20	13.5	51.5	9	5	10.30	4.67	1.14	0.52
52	20	15.5	17	52.5	7	5	10.50	4.76	1.50	0.68
53	11.5	24	19	54.5	10	5	10.90	4.94	1.09	0.49
54	22	12.5	10.5	45.0	10	5	9.00	4.08	0.90	0.41
55	26	24.5	25	75.5	11	5	15.10	6.85	1.37	0.62
56	17	14.5	24	55.5	11	5	11.10	5.03	1.01	0.46
57	18	21	20.5	59.5	12	5	11.90	5.40	0.99	0.45
58	24.5	22	24	70.5	10	5	14.10	6.40	1.41	0.64
59	21.5	20	26	67.5	11	5	13.50	6.12	1.23	0.56
60	26	24.5	25	75.5	10	5	15.10	6.85	1.51	0.68
Promedio Total				masa(lb)	Personas en	días de	PV	PV	PPC	PPC
				48.4	8	5	9.67	4.39	1.18	0.53

De los datos de la tabla VII se elaboró la tabla VIII y IX, las cuales son un resumen de la producción de desechos sólidos del pueblo de Santiago Sacatepéquez, en un período de un día, una semana, un mes y un año.

Tabla VIII. Producción de desechos sólidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez

Producción de desechos sólidos por masa

	PV			PPC			PP		
	lb	kg	ton	lb	kg	ton	lb	kg	ton
diaria	9.67	4.39	0.005	1.18	0.53	0.001	17,663.51	8,012.03	8.83
semanal	67.71	30.71	0.034	8.24	3.74	0.004	123,644.55	56,084.22	61.82
mensual	290.20	131.63	0.145	35.32	16.02	0.018	529,905.20	240,360.96	264.95
anual	3,530.77	1,601.53	1.765	429.67	194.90	0.215	6,447,179.93	2,924,391.63	3,223.59

Producción de desechos sólidos por volumen

	PV	PPC	PP
	m ³	m ³	m ³
diaria	0.22	0.03	393.25
semanal	1.51	0.18	2,752.72
mensual	6.46	0.79	11,797.36
anual	78.61	9.57	143,534.58

PV = producción por vivienda
 PPC = producción per cápita
 PP = producción del pueblo de Santiago Sacatepéquez

Tabla IX. Producción de desechos sólidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez según tipo

Producción de desechos sólidos por masa según tipo en el pueblo de Santiago Sacatepéquez

	Tipo								
	Biodegradable			Reciclable			No Reciclable		
	lb	kg	ton	lb	kg	ton	lb	kg	ton
diaria	10,412.17	4,722.88	5.21	5,299.05	2,403.61	2.65	1,952.28	885.54	0.98
semanal	72,885.21	33,060.17	36.44	37,093.36	16,825.27	18.55	13,665.98	6,198.78	6.83
mensual	312,365.17	141,686.46	156.18	158,971.56	72,108.29	79.49	58,568.47	26,566.21	29.28
anual	3,800,442.91	1,723,851.91	1,900.22	1,934,153.98	877,317.49	967.08	712,583.05	323,222.23	356.29
	%			%			%		
	58.95			30.00			11.05		

Total			
	lb	kg	ton
diaria	17,663.51	8,012.03	8.83
semanal	123,644.55	56,084.22	61.82
mensual	529,905.20	240,360.96	264.95
anual	6,447,179.93	2,924,391.63	3,223.59
	%		
	100.00		

Producción de desechos sólidos por volumen según tipo en el pueblo de Santiago Sacatepéquez

	Tipo			
	Biodegradable	Reciclable	No	Total
	m ³	m ³	m ³	m ³
diaria	231.81	117.97	43.46	393.25
semanal	1,622.65	825.82	304.25	2,752.72
mensual	6,954.24	3,539.21	1,303.92	11,797.36
anual	84,609.86	43,060.38	15,864.35	143,534.58

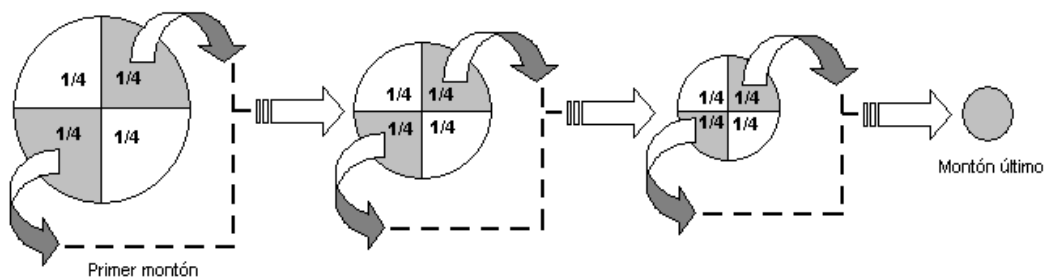
Método del cuarteo

Para la determinación de la densidad y de la composición física (base húmeda) los desechos sólidos, se debe de realizar el método del cuarteo para lograr una muestra uniforme.

El método es el siguiente:

- Se toma la muestra de alrededor de 1m^3 , el cual preferiblemente se coloca en un lugar pavimentado en donde se vierte formando un montón. Se debe homogenizar el tamaño de los desechos cortándolos a un tamaño de hasta $0.15\text{m} - 0.16\text{m}$.
- Se mezcla la muestra y se divide en cuatro partes. De estas cuatro partes se escogen dos opuestas para formar una nueva muestra representativa más pequeña. La muestra que ahora se tiene se vuelve a mezclar y se divide en cuatro partes, luego se escoge dos opuestas y se forma otra muestra más pequeña. Esta operación se repite hasta obtener una muestra que dependerá del recipiente que se utilizará para pesarla.

Figura 6. Método del cuarteo



Prueba de densidad

Luego de realizar el método del cuarteo y haber obtenido la muestra homogénea del montón último, se procede a la determinación de la densidad de los desechos sólidos y se realiza de la siguiente manera: en un recipiente de volumen conocido, utilizado luego para el muestreo se registra la masa de éste.

A continuación se colocan los desechos sólidos de la muestra en el recipiente sin hacer presión y tratando que se llenen los espacios vacíos en el mismo. Una vez lleno el recipiente se pesa y luego restándole la masa del recipiente se obtiene la masa de los desechos sólidos. La densidad de los desechos sólidos se encuentra dividiendo su masa entre el volumen del recipiente.

Tabla X. Densidad de la muestra de desechos sólidos

	Masa			Volumen
	lb	kg	ton	m ³
Recipiente	10	4.536	0.005	0.212
Muestra+Recipiente	0.5	0.227	0.00025	
Masa Real Muestra	9.5	4.309	0.00475	

Densidad		
lb/m ³	kg/m ³	ton/m ³
44.917	20.374	0.0225

Prueba de composición física (base húmeda)

Con la muestra que se pesó para determinar la densidad, se separan los componentes de ésta y se clasifican de acuerdo a la clasificación de desechos biodegradables, reciclables, y no reciclables. El procedimiento a seguir es el que se muestra a continuación en la siguiente página:

- Los componentes se van clasificando en recipientes pequeños. Se debe pesar los cilindros antes de empezar la clasificación usando una báscula de pie.
- Una vez terminada la clasificación se pesan los cilindros con los diferentes componentes y por diferencia se calcula la masa de los componentes.
- Se calcula el porcentaje de los componentes en base al dato de la masa total de la muestra última y la masa peso de cada componente.
- Se necesita realizar este análisis con la mayor rapidez posible para evitar demasiada evaporación de agua.

Tabla XI. Composición física de los desechos sólidos

DESECHOS BIODEGRADABLES			
Componente	Masa		
	lb	kg	%
Cáscaras de verduras, granos, legumbres o frutas	3.75	1.701	39.474
Cáscaras de huevos, nueces etc.	0.5	0.227	5.263
Desechos de pulpa de refrescos, té o café	0.5	0.227	5.263
Papel de servicio usado (papel de baño o cocina)	0.1	0.045	1.053
Cabello cortado, plumas	0	0.000	0.000
Desechos de jardín o huerto	0.25	0.113	2.632
Desechos sólidos de la cocina (pan, tortillas, etc.)	0.5	0.227	5.263
Desechos de madera sin laqueado o pintura	0	0.000	0.000
TOTAL	5.6	2.540	58.947
DESECHOS RECICLABLES			
Componente	Masa		
	lb	kg	%
Aluminio	0.25	0.113	2.632
Plásticos	2	0.907	21.053
Papel de periódico, papel bond, cuadernos, etc.	0.6	0.272	6.316
Aceites minerales, lubricantes	0	0.000	0.000
TOTAL	2.85	1.293	30.000
DESECHOS NO RECICLABLES			
Componente	Masa		
	lb	kg	%
Comida cocinada, líquida o pastosa	0.1	0.045	1.053
Desechos de carne	0	0.000	0.000
Aceites minerales, lubricantes	0	0.000	0.000
Desechos de madera pintada o laqueada	0	0.000	0.000
Pañales desechables, toallas femeninas, algodón	0.25	0.113	2.632
Cenizas, colillas, fósforos usados	0	0.000	0.000
Desechos de barrido	0.4	0.181	4.211
Medicamentos	0	0.000	0.000
Pilas	0.1	0.045	1.053
Desechos químicos, detergentes etc.	0.2	0.091	2.105
TOTAL	1.05	0.476	11.053
Masa Total de la Muestra	9.5	4.309	100.000

5. RESULTADOS DE OTROS ESTUDIOS

Topografía

El levantamiento topográfico, se realizó en planimetría y altimetría; tomando las mediciones topográficas pertinentes en el predio municipal y en los predios que la municipalidad tiene contemplado comprar; para que en ambos se realice el proyecto de relleno sanitario y planta de compostaje.

El predio municipal donde actualmente se están depositando los desechos sólidos del pueblo de Santiago Sacatepéquez, posee un área de 1,877.6326m² y un perímetro de 178.4837m; los terrenos que la municipalidad piensa comprar poseen un área de 11,401.4441m² y 1962.5446m², ambos con un perímetro de 486.2748m y 242.2580 respectivamente.

El área total del predio a ubicar el relleno sanitario y planta de compostaje es por lo tanto de 15,241.6213m² y posee un perímetro de 522.0075m.

Con los datos obtenidos también se elaboró un modelo tridimensional del terreno en las condiciones actuales y su comparación con la escala humana, el cual se puede observar en los apéndices del presente informe. Más datos se pueden observar en los planos correspondientes, tanto de planta, cortes perfil y curvas de nivel.

Hidrología

Debido a las características del lugar, se decidió calcular el caudal aportante mediante el método racional. El área de la cuenca aportante es de 19.4307km² o 1,943.07Ha (A), de ésta se determinó que la longitud del cauce principal del río (LT) tiene una longitud de 2.8858km y que existe una diferencia de nivel (H) entre la ubicación del proyecto y el nacimiento del río de 75m.

Con los datos anteriores se procedió a calcular el tiempo de concentración en minutos utilizando la siguiente fórmula: $\left[\frac{0.886 * LT^3}{H} \right]^{0.385} * 60$; donde LT está dada en kilómetros y H en metros.

El tiempo de concentración (t) calculado es de 36.95min. Conociendo el tiempo de concentración, es posible calcular la intensidad de lluvia, de acuerdo a un período de retorno de 10 años, con la fórmula siguiente: $\frac{4204}{t + 23}$, según curvas base de la estación Suiza Contenta.

Por lo tanto la intensidad de lluvia (I) para un período de retorno de 10 años es de 70.125 mm/hora. El caudal de escorrentía de la cuenca aportante en el punto del proyecto se calculó utilizando el método racional: $Q = CIA / 360$; donde C es el coeficiente de escorrentía y debido a las características del tipo de terreno, se asumirá un valor de 0.40, I es la intensidad de lluvia en mm/hora y A es el área de la cuenca en Ha. El caudal de escorrentía calculado es de 151.398m³/s.

Además, según estudios realizados por la empresa Caudales S.A. el nivel freático se encuentra a una profundidad de 90m, aproximadamente 295pies bajo la superficie a nivel del camino actual frente al predio a ubicar el proyecto.

Geología

Para determinar las características geológicas del lugar, se realizó un recorrido de campo y un análisis del estudio geológico realizado por el ingeniero geólogo Francisco Álvarez, de los cuales se puede concluir lo siguiente: las características geológicas, que se encuentran en los alrededores del lugar en que se ubicará el proyecto de relleno sanitario y planta de compostaje, se caracterizan por su origen volcánico. Específicamente, cenizas volcánicas de color café claro con fragmentos tamaño limo en las partes altas; se pudo determinar que la impermeabilidad de éstas es muy baja.

Conforme se desciende en nivel topográfico se encuentran afloramientos de piroclastos de color blanco con fragmentos de pómez tamaño arena gruesa con un aumento en la impermeabilidad.

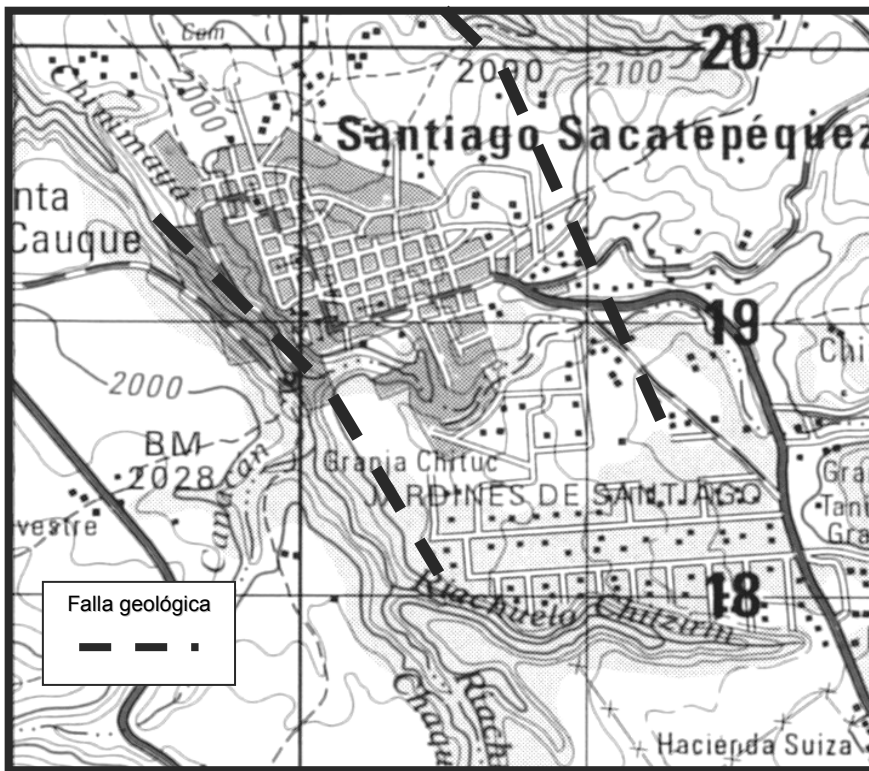
Los estratos de piroclastos se encuentran ínter estratificados con limos. En la parte media e inferior del talud natural se observan afloramientos de roca de mayor tamaño (hasta de 0.30m), cementados con ceniza volcánica. Estos últimos se encuentran fracturas con aberturas hasta de 0.5m.

Todas las unidades anteriormente indicadas se encuentran sobre un basamento de flujos de lava fuertemente fracturados, con una densidad de fracturas de 10 fracturas/m².

En lo que respecta a fallas geológicas, existen dos fallas importantes con una orientación noroeste, tal y como se pueden observar en la figura 7.

Los sistemas de fallamiento geológico, son importantes identificarlos para el proyecto de relleno sanitario, ya que se generan fracturas y por medio de éstas circulan lixiviados hacia los recursos hídricos subterráneos y por consecuencia su contaminación.

Figura 7. Fallas geológicas cercanas al proyecto



6. PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN FINAL Y TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

Entrada de desechos

Se llevará control de todos los desechos sólidos que entren al relleno sanitario y planta de compostaje. La descarga se llevará a cabo en una tolva superficial ubicada en el área de descarga de los desechos sólidos.

Clasificación

Ya en el área de descarga, los desechos sólidos se encuentran en la tolva superficial, a continuación se realizará una tipificación de los desechos en la mesa de clasificación, en donde se recogerán materias gruesas no biodegradables (recipientes de plástico o metal, vidrio, etc.) en general todo el material que sea reciclable y se separará de la fracción de desechos sólidos a compostar, así como toda clase de desechos peligrosos si se da el caso.

Relleno sanitario

En el relleno sanitario se depositarán todos los desechos que no sean reciclables y que no pertenezcan a la fracción biodegradable compostable.

6.3.1 Capacidad y vida útil del relleno sanitario

El relleno sanitario tiene la capacidad de 432,886.6455m³, de los cuales 288,335.9903m³ son de desechos sólidos compactados y 144,550.6552m³ corresponden a material de relleno y de cobertura compactado como se aprecia en la tabla XII.

La vida útil de éste relleno depende directamente de la fracción de desechos sólidos compostable que la planta de compostaje pueda manejar y de la capacidad de prestar el servicio de recolección de desechos sólidos; para ésta se asumirá un valor del 65% (actualmente es del 5%). La planta de compostaje tiene la capacidad de dar tratamiento al 17% de la fracción compostable, es decir 14,383.68m³ por año; con este porcentaje la vida útil del relleno llegará a su fin entre el cuarto y el quinto año como se podrá observar en la tabla XIII.

Tabla XII. Capacidad de relleno sanitario

	Capacidad de almacenaje material de cobertura	Material necesario para cobertura	Capacidad de almacenaje de desechos sólidos	Volumen compactado de desechos sólidos	Capacidad total de plataforma (incluye material de cobertura y desechos sólidos compactados)
Plataforma	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
XII	363.5472	490.7887	1,144.8635	1,717.2953	2,208.0840
XI	664.8394	897.5332	1,870.6167	2,805.9251	3,703.4582
X	1,089.5820	1,470.9357	3,627.8866	5,441.8299	6,912.7656
IX	211.7754	285.8968	5,578.4719	8,367.7079	8,653.6046
VIII	3,186.1856	4,301.3506	7,842.3967	11,763.5951	16,064.9456
VII	17,659.7657	23,840.6837	56,295.5874	84,443.3811	108,284.0648
VI	19,982.1918	26,975.9589	43,834.5497	65,751.8246	92,727.7835
V	10,187.4805	13,753.0987	30,776.2705	46,164.4058	59,917.5044
IV	5,903.3377	7,969.5059	17,475.2096	26,212.8143	34,182.3202
III	7,748.7742	10,460.8452	23,778.1410	35,667.2115	46,128.0566
II	25,742.2887	34,752.0897	0.0000	0.0000	34,752.0897
I	14,334.7912	19,351.9682	0.0000	0.0000	19,351.9682
TOTAL		144,550.6552	TOTAL	288,335.9903	
				Capacidad total de relleno sanitario	432,886.6455

Tabla XIII. Producción de desechos sólidos en el tiempo compostando el 17%

Año	Habitantes	Usuarios	PPC (m³)	PP (m³)	PU (m³)	Producción según tipo de desecho			VdC(m³)	Vdr(m³)	V(m³)
						Para compostaje (m³)	Para relleno sanitario (m³)	Para Reciclaje (m³)			
1 2005	15,005	9,753	9.57	143,534.58	93,297.48	54,996.41	10,311.83	27,989.24	9,349.39	55,958.85	55,958.85
2 2006	15,455	10,046	9.57	147,840.62	96,096.40	56,646.30	10,621.18	28,828.92	14,383.68	57,637.61	113,596.46
3 2007	15,919	10,347	9.57	152,275.84	98,979.30	58,345.69	10,939.82	29,693.79	14,383.68	59,366.74	172,963.20
4 2008	16,396	10,658	9.57	156,844.12	101,948.68	60,096.06	11,268.01	30,584.60	14,383.68	61,147.74	234,110.94
5 2009	16,888	10,977	9.57	161,549.44	105,007.14	61,898.94	11,606.05	31,502.14	14,383.68	62,982.17	297,093.12

PV = producción por vivienda anual
PPC = producción per cápita anual
PP = producción de desechos sólidos pueblo de Santiago Sacatepéquez anual
PU = producción de desechos sólidos usuarios
Vdc = volumen máximo de desechos sólidos para elaborar compost
Vdr = volumen de desechos sólidos a tratar en relleno sanitario
V = volumen acumulado de desechos sólidos tratados en relleno sanitario

Tabla XIV. Producción de desechos sólidos en el tiempo compostando el 100%

Año	Habitantes	Usuarios	PPC (m³)	PP (m³)	PU (m³)	Producción según tipo de desecho			VdC(m³)	Vdr(m³)	V(m³)
						Para compostaje (m³)	Para relleno sanitario (m³)	Para Reciclaje (m³)			
1 2005	15,005	9,753	9.57	143,534.58	93,297.48	54,996.41	10,311.83	27,989.24	54,996.41	10,311.83	10,311.83
2 2006	15,455	10,046	9.57	147,840.62	96,096.40	56,646.30	10,621.18	28,828.92	56,646.30	10,621.18	20,933.01
3 2007	15,919	10,347	9.57	152,275.84	98,979.30	58,345.69	10,939.82	29,693.79	58,345.69	10,939.82	31,872.83
4 2008	16,396	10,658	9.57	156,844.12	101,948.68	60,096.06	11,268.01	30,584.60	60,096.06	11,268.01	43,140.84
5 2009	16,888	10,977	9.57	161,549.44	105,007.14	61,898.94	11,606.05	31,502.14	61,898.94	11,606.05	54,746.89
6 2010	17,395	11,307	9.57	166,395.92	108,157.35	63,755.91	11,954.23	32,447.20	63,755.91	11,954.23	66,701.12
7 2011	17,917	11,646	9.57	171,387.80	111,402.07	65,668.59	12,312.86	33,420.62	65,668.59	12,312.86	79,013.98
8 2012	18,454	11,995	9.57	176,529.43	114,744.13	67,638.65	12,682.25	34,423.24	67,638.65	12,682.25	91,696.23
9 2013	19,008	12,355	9.57	181,825.32	118,186.46	69,667.81	13,062.71	35,455.94	69,667.81	13,062.71	104,758.94
10 2014	19,578	12,726	9.57	187,280.08	121,732.05	71,757.84	13,454.60	36,519.62	71,757.84	13,454.60	118,213.54
11 2015	20,165	13,107	9.57	192,898.48	125,384.01	73,910.58	13,858.23	37,615.20	73,910.58	13,858.23	132,071.77
12 2016	20,770	13,501	9.57	198,685.43	129,145.53	76,127.89	14,273.98	38,743.66	76,127.89	14,273.98	146,345.75
13 2017	21,393	13,906	9.57	204,646.00	133,019.90	78,411.73	14,702.20	39,905.97	78,411.73	14,702.20	161,047.95
14 2018	22,035	14,323	9.57	210,785.38	137,010.49	80,764.08	15,143.27	41,103.15	80,764.08	15,143.27	176,191.21
15 2019	22,696	14,753	9.57	217,108.94	141,120.81	83,187.00	15,597.56	42,336.24	83,187.00	15,597.56	191,788.78
16 2020	23,377	15,195	9.57	223,622.21	145,354.43	85,682.61	16,065.49	43,606.33	85,682.61	16,065.49	207,854.27
17 2021	24,079	15,651	9.57	230,330.87	149,715.07	88,253.09	16,547.45	44,914.52	88,253.09	16,547.45	224,401.72
18 2022	24,801	16,121	9.57	237,240.80	154,206.52	90,900.68	17,043.88	46,261.96	90,900.68	17,043.88	241,445.60
19 2023	25,545	16,604	9.57	244,358.02	158,832.71	93,627.71	17,555.19	47,649.81	93,627.71	17,555.19	259,000.80
20 2024	26,311	17,102	9.57	251,688.76	163,597.70	96,436.54	18,081.85	49,079.31	96,436.54	18,081.85	277,082.65
21 2025	27,101	17,615	9.57	259,239.43	168,505.63	99,329.63	18,624.31	50,551.69	99,329.63	18,624.31	295,706.95

PV = producción por vivienda anual
PPC = producción per cápita anual
PP = producción de desechos sólidos pueblo de Santiago Sacatepéquez anual
PU = producción de desechos sólidos usuarios
Vdc = volumen máximo de desechos sólidos para elaborar compost
Vdr = volumen de desechos sólidos a tratar en relleno sanitario
V = volumen acumulado de desechos sólidos tratados en relleno sanitario

En la tabla XIV, el tiempo de vida útil se ha incrementado, llegando a estar entre el año 20 y 21 al compostar el 100% de los desechos sólidos compostables.

Intuitivamente sabemos que no es posible compostar al 100% todos los desechos sólidos, es por eso que se presenta la tabla XV que en el mejor de los casos es posible compostar aproximadamente el 75% de los desechos compostables. Este 75%, es el resultado del siguiente cálculo (tomando como 100%, el trabajar los 365 días del año y el poder clasificar el 100% del material compostable): si a 365 días del año le restamos los 13 días de asueto laboral estipulados por ley en el Código de Trabajo, obtenemos 352 días. De estos 352 menos 1 día de descanso por semana tenemos 304 días laborados lo que representa el 83%. Al tomar en cuenta la fracción de desechos compostables que no es posible clasificar que asciende a cerca el 8%, obtenemos que 83% menos 8% es igual al 75%. Para poder lograr compostar el 75% e incrementar así la vida útil del relleno se debe considerar la construcción de otra planta de compostaje que pueda dar tratamiento a la fracción del 58% restante de los desechos compostables. Para la construcción de esta otra planta es necesario un terreno de 43x100m o bien que posea un área de 4,300m² para garantizar así el espacio suficiente para el manejo de aproximadamente 60 pilas de compost.

Tabla XV. Producción de desechos sólidos en el tiempo compostando el 75%

Año	Habitantes	Usuarios	PPC (m ³)	PP (m ³)	PU (m ³)	Producción según tipo de desecho			Vdc(m ³)	Vdr(m ³)	V(m ³)
						Para compostaje (m ³)	Para relleno sanitario (m ³)	Para Reciclaje (m ³)			
1 2005	15,005	9,753	9.57	143,534.58	93,297.48	54,996.41	10,311.83	27,989.24	41,247.31	24,060.93	24,060.93
2 2006	15,455	10,046	9.57	147,840.62	96,096.40	56,646.30	10,621.18	28,828.92	42,484.73	24,782.76	48,843.69
3 2007	15,919	10,347	9.57	152,275.84	98,979.30	58,345.69	10,939.82	29,693.79	43,759.27	25,526.24	74,369.93
4 2008	16,396	10,658	9.57	156,844.12	101,948.68	60,096.06	11,268.01	30,584.60	45,072.05	26,292.03	100,661.95
5 2009	16,888	10,977	9.57	161,549.44	105,007.14	61,898.94	11,606.05	31,502.14	46,424.21	27,080.79	127,742.74
6 2010	17,395	11,307	9.57	166,395.92	108,157.35	63,755.91	11,954.23	32,447.20	47,816.93	27,893.21	155,635.95
7 2011	17,917	11,646	9.57	171,387.80	111,402.07	65,668.59	12,312.86	33,420.62	49,251.44	28,730.01	184,365.96
8 2012	18,454	11,995	9.57	176,529.43	114,744.13	67,638.65	12,682.25	34,423.24	50,728.98	29,591.91	213,957.67
9 2013	19,008	12,355	9.57	181,825.32	118,186.46	69,667.81	13,062.71	35,455.94	52,250.85	30,479.67	244,437.53
10 2014	19,578	12,726	9.57	187,280.08	121,732.05	71,757.84	13,454.60	36,519.62	53,818.38	31,394.06	275,831.59
11 2015	20,165	13,107	9.57	192,898.48	125,384.01	73,910.58	13,858.23	37,615.20	55,432.93	32,335.88	308,167.46

PV = producción por vivienda anual
 PPC = producción per cápita anual
 PP = producción de desechos sólidos pueblo de Santiago Sacatepéquez anual
 PU = producción de desechos sólidos usuarios
 Vdc = volumen máximo de desechos sólidos para elaborar compost
 Vdr = volumen de desechos sólidos a tratar en relleno sanitario
 V = volumen acumulado de desechos sólidos tratados en relleno sanitario

Al compostar el 75% de los desechos sólidos como se ve en la tabla XV, vemos que la vida útil del relleno sanitario se encuentra entre el año 10 y 11.

Como información adicional se presenta la tabla XVI, la cual se calculó suponiendo que se depositará el 100% de los desechos sólidos en el relleno sanitario y no se realizará compostaje.

Tabla XVI. Producción de desechos sólidos en el tiempo compostando el 0%

Año	Habitantes	Usuarios	PPC (m³)	PP (m³)	PU (m³)	Producción según tipo de desecho			VdC(m³)	Vdr(m³)	V(m³)
						Para compostaje (m³)	Para relleno sanitario (m³)	Para Reciclaje (m³)			
1 2005	15,005	9,753	9.57	143,534.58	93297.48	54,996.41	10,311.83	27,989.24	0.00	65,308.24	65,308.24
2 2006	15,455	10,046	9.57	147,840.62	96096.40	56,646.30	10,621.18	28,828.92	0.00	67,267.48	132,575.72
3 2007	15,919	10,347	9.57	152,275.84	98979.30	58,345.69	10,939.82	29,693.79	0.00	69,285.51	201,861.23
4 2008	16,396	10,658	9.57	156,844.12	101948.68	60,096.06	11,268.01	30,584.60	0.00	71,364.07	273,225.30
5 2009	16,888	10,977	9.57	161,549.44	105007.14	61,898.94	11,606.05	31,502.14	0.00	73,505.00	346,730.29

- PV = producción por vivienda anual
- PPC = producción per cápita anual
- PP = producción de desechos sólidos pueblo de Santiago Sacatepéquez anual
- PU = producción de desechos sólidos usuarios
- Vdc = volumen máximo de desechos sólidos para elaborar compost
- Vdr = volumen de desechos sólidos a tratar en relleno sanitario
- V = volumen acumulado de desechos sólidos tratados en relleno sanitario

6.3.2 Estabilidad de taludes utilizando neumáticos usados

Para la estabilidad de los taludes del relleno se utilizarán neumáticos usados, los cuales se colocarán uno sobre otro dejando una separación de 0.15m de borde a borde intercalándolas cual si fuese una construcción tradicional y dejando 0.05m de separación entre llantas de una misma fila. Los neumáticos serán rellenos y compactados con suelo natural del lugar y anclados entre sí por medio de varillas de acero No. 3. El detalle del muro de contención y su anclaje puede observarse en los planos respectivos, así como los resultados de las pruebas que se presentan en el apéndice del presente documento.

6.3.3 Diseño del fondo del relleno sanitario

Se recomienda la construcción de una capa de 0.75m de arcilla compactada separadamente tres veces. Sobre la capa de arcilla compactada colocar una capa de plástico PEHD o polietileno de alta densidad, arriba debe de ésta una capa de piedra bola de aproximadamente 0.5m que conformará la capa de drenaje.

Seguidamente colocar el geotextil y una capa de 0.6m de espesor de compost; ésto con el fin de evitar la saturación en el drenaje para lixiviados. Teniendo del suelo acondicionado con las capas descritas se procede a realizar el relleno sanitario alternando una capa compactada de desechos sólidos de aproximadamente 0.3m de espesor y una de tierra del mismo espesor.

6.3.4 Diseño del drenaje

El sistema de drenaje consistente en tubos PVC de 6plg de diámetro con perforaciones de 0.1m de diámetro y una distancia de 0.025m entre ellos. Los tubos se colocarán dentro de la capa de piedra bola en forma de espina de pescado como ya se había mencionado anteriormente.

El sistema de drenaje a utilizar será el llamado drenaje pasivo con chimeneas; éstas últimas se construirán durante la operación del relleno sanitario. Este tipo de sistema se aprovecha de la difusión horizontal del gas de relleno y éste difunde hacia la más cercana chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera. Las chimeneas de drenaje se construirán también de tubo perforado con 6plg de diámetro relleno con piedra bola o grava. Los orificios deben de ocupar un 10% de la superficie del tubo.

El diámetro de los orificios debe de ser menor a 0.2m de diámetro. La piedra bola o grava a utilizar no debe contener cal, ya que ésta se descompone fácilmente debido a los gases de relleno. La piedra bola o bien la grava a utilizar no debe de tener un diámetro menor a las 2plg, ya que ésto causaría una rápida congestión en la tubería. Las chimeneas se colocarán a una distancia entre sí de 20m.

6.3.5 Tratamiento de las aguas lixiviadas

Como se ha venido planteando, las aguas lixiviadas son altamente contaminantes. No puede plantearse un diseño específico, sin embargo, se plantean soluciones generales; esto debido a que las descargas de aguas servidas del pueblo, se realizan a un costado del predio a ubicar el proyecto. Debe de solventarse primero dicho problema, diseñando una planta que de tratamiento tanto a las aguas servidas del pueblo como a los lixiviados producidos en el relleno sanitario y planta de compostaje.

Se propone dar tratamiento biológico por medio de un tratamiento biológico en laguna ya que esta opción es la que resulta la más fácil y más económica. La laguna de tratamiento biológico deberá tener una profundidad de 0.1m para evitar condiciones anaeróbicas y una putrefacción de las aguas lixiviadas. Las aguas pasarán 50 días en la laguna.

Planta de compostaje

La planta de compostaje sobre las plataformas del relleno sanitario, funcionará utilizando el 17% de la fracción biodegradable del total de desechos producidos en el pueblo con el fin de producir compost. El porcentaje restante debe ser absorbido por otra planta adicional.

6.4.1 Trituración de desechos

Se deberá triturar los trozos más grandes que podrían detener el proceso de biodegradación. Esta trituración es importante a la hora de que el desecho provenga de jardines o parques. A la hora de triturar los desechos aumentamos la superficie específica y por consecuencia la capacidad de retención de aire y agua; lo cual facilita el proceso de biodegradación realizado por los microorganismos.

El trabajo de trituración se realizará a mano, pensando en un futuro la implementación de un sistema de trituración que sea lo más sencillo y económico para el lugar.

6.4.2 Manejo del proceso de compostaje en pilas

Seguidamente de haber separado todo material no biodegradable de los desechos biodegradables, el material se colocará en pilas; este método se utilizará por considerarse el más sencillo.

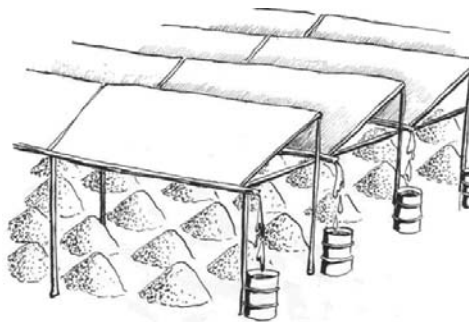
Las pilas no deben superar la altura de 1.5m; ya que pilas más altas, impiden la aireación natural y pueden ocurrir condiciones anaeróbicas. Como base cada pila tendrá un área de 6.25m², lograda con 2.5m de cada lado.

Con las dimensiones anteriores se consigue obtener un volumen de aproximadamente 1m³ por pila y se asegura así una masa crítica mínima de 50kg con el fin de asegurar la multiplicación de los microorganismos que realizan el compostaje e higienización de éste.

Las pilas de material biodegradable se cubrirán con pasto o un material similar para evitar el problema de olor y no atraer las moscas. Una vez por semana se mezclarán las pilas para airear y homogenizar el material. La mezcla y revuelta del material se realizará manualmente con palas, removiendo el material de cobertura para este proceso.

Se propone la construcción de techo que cubran las pilas de compost. El techo será una cubrirá con lámina de zinc y contará con canaleta para conducir el agua de lluvia a recipientes que acumularán el agua de lluvia para el riego de las pilas cuando sea necesario, en vez de traer agua de afuera.

Figura 8. Techo para cubierta de pilas



Como el volumen del material disminuye con el progreso de la biodegradación, se pueden combinar dos pilas para hacer una, con el fin de economizar el espacio, siempre respetando la altura máxima de 1.5m y las dimensiones de base máximas de 2.5m de lado. A la hora de combinar pilas, es primordial que sean pilas que tengan aproximadamente la misma edad, para no mezclar compost maduro con compost inmaduro.

6.4.3 Mezcla, revuelta y movimiento

Los poros existentes en el los desechos sólidos biodegradables al iniciar el proceso poseen diversas dimensiones. El aire pasa por los poros más grandes; por consecuencia, pueden ocurrir condiciones anaeróbicas en lugares con alta densidad o bien de poros pequeños; lo cual repercute en malos olores e impide un proceso inadecuado.

Se debe mezclar, revolver y mover los desechos frecuentemente y con regularidad para evitar un proceso de biodegradación anaeróbica. Este trabajo se realizará con ayuda de palas.

La circulación del aire se asegurará realizando una dispersión homogénea del cuerpo de desechos sólidos. Un impacto positivo colateral de esta operación es que la temperatura es homogenizada en toda la masa de desechos sólidos logrado una biodegradación igualmente homogénea.

6.4.4 Aireación

Hay que agregar cierto porcentaje de material grueso con el fin de asegurar una buena circulación de aire dentro de la masa de desechos sólidos biodegradables. Este material grueso se forma con la fracción gruesa que había sido separada antes o bien con la fracción gruesa del compost listo.

6.4.5 Humedecimiento o riego

El compost debe ser humedecido durante los primeros 3 meses. La duración total del proceso será de 6 meses. Después de este periodo, el compost será maduro y no contendrá bacterias patógenas u otros materiales nocivos. La humedad óptima está entre el 40% y el 60% de contenido de agua dentro de la pila.

La humedad se medirá utilizando un método simple, el cual no necesita la ayuda de ningún tipo de instrumentos. Para realizar el método y conocer si la humedad de la pila es la adecuada, se debe tomar una cantidad no demasiado grande de la masa de desechos sólidos de la pila y apretar el material. Si salen de 2 a 5 gotas de agua la humedad de la pila es aceptable y no se necesita riego. En caso contrario si salen menos, se necesita regar la pila, si sale más, el riego debe de ser interrumpido.

6.4.6 Separación de materiales foráneos

Los materiales foráneos son trozos de plástico, vidrio o metal que son tan pequeños que no se pueden separar previamente.

La separación de éstos se realizará cuando el compost se encuentre listo, ya que es más fácil su separación cuando están en un compuesto más homogéneo.

6.4.7 Clasificación del producto

Ya que compost se encuentra listo se clasifica con ayuda de tamices manuales en tres fracciones. La fracción fina y mediana es la que se utilizará como abono, para aumentar la calidad y estabilidad del suelo. La fracción gruesa se utilizará como material de filtro biológico, o bien como cobertura del relleno sanitario. Las fracciones de compost según su diámetro y aplicación estándar se presentan en la tabla XVI.

Tabla XVII. Fracciones de compost según diámetro y aplicación

Fracción	Diámetro de las partículas	Aplicaciones del compost
Fina	< 12 mm	Abono, mejoramiento del suelo
Mediana	12 -25 mm	Abono, mejoramiento del suelo, material de filtros biológicos
Gruesa	> 25 mm	Material de estructura para mejoramiento del suelo, material de estructura para compostaje, material de cobertura del relleno sanitario, material de relleno para trabajos de construcción o de arquitectura de paisaje.

6.4.8 Tratamiento del aire

No hay necesidad de tratamiento del aire ya que la planta de compostaje es manual. Es suficiente cubrir las pilas o los lechos con pasto, compost grueso u otro material adecuado con el fin de absorber las emisiones que se producen.

Clasificación domiciliaria

El caso ideal es que se clasifiquen los desechos biodegradables y que no se mezclen con los desechos del barrido, que son altamente contaminados con metales pesados. Con la clasificación domiciliaria de los desechos biodegradables se reduce considerablemente el contenido de metales pesados y de materiales foráneos dentro del compost. Desechos altamente contaminados como pilas, algunos plásticos que contienen metales pesados como cobre, níquel o cadmio, no se mezclan con los desechos sólidos desde la fuente y por consecuencia, se evita completamente la contaminación con estos metales.

Factores de éxito para un programa de clasificación domiciliaria

La experiencia en países, ciudades y culturas diferentes muestran que los resultados de la clasificación poseen un nivel muy bajo durante en los primeros meses. Se debe continuar con la capacitación de los pobladores y la implementación del proyecto. Se necesitará un tiempo de dos a cuatro años para que la clasificación domiciliaria se haga costumbre en la población.

7. COSTOS APROXIMADOS DE INVERSIÓN

En la tabla XVII, que se presenta a continuación puede visualizarse los costos por renglón que conforman el presupuesto aproximado de inversión de la solución planteada para resolver el problema de la disposición final de los desechos sólidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez. El precio final aproximado asciende a la cantidad de Q14, 588,146.10 dividido en 12 fases de acuerdo a la importancia y prioridad de los trabajos a realizar. El porcentaje que se muestra debajo del número de fase indica el porcentaje de trabajo terminado a realizar en la fase.

Tabla XVIII. Presupuesto aproximado de inversión inicial del proyecto

	REGLÓN	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Fase 1					
PREDIOS A COMPRAR 100%					
1	Predio 1	m ²	11,401.44	25.00	285,036.10
2	Predio 2	m ²	1,962.54	25.00	49,063.62
<i>SUB-TOTAL</i>					Q334,099.72
Fase 2					
PRELIMINARES 100%					
3	Bodega con guardanía provisional	Unidad	1.00	3,000.00	3,000.00
4	Letrina Provisional	Unidad	1.00	900.00	900.00
5	Limpieza de terreno	m ²	15,241.62	5.00	76,208.11
6	Trazo y Estaqueado	mL	15,241.62	7.00	106,691.35
<i>SUB-TOTAL</i>					Q186,799.46
Fase 3					
CORTE FASE 100% Y PRIMERAS PLATAFORMAS 25%					
7	CORTE FASE 1				
7.1	Corte con Maquinaria	m ³	20,785.61	35.00	727,496.51
8	PLATAFORMA I				
8.1	Relleno Compactado plataforma I	m ³	4,837.99	35.00	169,329.72
8.2	Neumáticos para muro de contención	unidades	975.00	5.00	4,875.00
8.3	Relleno para neumáticos	m ³	341.25	0.00	0.00
8.4	Rellenado de neumáticos	unidades	975.00	15.00	14,625.00
8.5	Varillas No.3 para anclaje	qq	8.00	265.00	2,120.00
8.6	Colocación y corte de anclaje	unidades	975.00	2.00	1,950.00

Continuación

9	PLATAFORMA II				
9.1	Relleno Compactado plataforma II	m ³	8,688.02	35.00	304,080.78
9.2	Neumáticos para muro de contención	unidades	1,719.00	5.00	8,595.00
9.3	Relleno para neumáticos	m ³	601.65	0.00	0.00
9.4	Rellenado de neumáticos	unidades	1,719.00	15.00	25,785.00
9.5	Varillas No.3 para anclaje	qq	13.00	265.00	3,445.00
9.6	Colocación y corte de anclaje	unidades	1,719.00	2.00	3,438.00
				SUB-TOTAL	Q1,265,740.01

Fase 4

BASE IMPERMEABLE Y DRENAJE PARA LIXIVIADOS 30%

10	BASE Y DRENAJE DEL RELLENO				
10.1	arcilla para capa impermeable	m ³	3,600.83	175.00	630,145.78
10.2	compactación de arcilla	m ²	6,858.73	25.00	171,468.24
10.3	piedra bola	m ³	57.00	150.00	8,550.00
10.4	tubos de PVC 6"	mL	45.00	68.00	3,060.00
10.5	colocación de tubería de PVC 6"	mL	45.00	35.00	1,575.00
10.6	puntales de madera 2x2plg	mL	672.00	1.70	1,142.40
10.7	malla metálica	m ²	117.00	16.00	1,872.00
10.8	armar chimeneas	unidad	8.00	50.00	400.00
10.9	geotextil	m ²	84.00	35.00	2,940.00
10.10	plástico de alta densidad	m ²	5,258.36	15.00	78,875.39
				SUB-TOTAL	Q900,028.81

Fase 5

TRASLADO DE BASURERO ACTUAL Y PLATAFORMA PARA COLOCACIÓN 100%

11	CORTE FASE 2				
11.1	Corte con Maquinaria	m ³	8,831.42	35.00	309,099.76
12	PLATAFORMA III				
12.1	Relleno Compactado plataforma III	m ³	3,486.95	35.00	122,043.19
12.2	Neumáticos para muro de contención	unidades	1,968.00	5.00	9,840.00
12.3	Relleno para neumáticos	m ³	688.80	0.00	0.00
12.4	Rellenado de neumáticos	unidades	976.00	15.00	14,640.00
12.5	Varillas No.3 para anclaje	qq	8.00	265.00	2,120.00
12.6	Colocación y corte de anclaje	unidades	1,968.00	2.00	3,936.00
				SUB-TOTAL	Q461,678.96

Fase 6

PRIMERAS PLATAFORMAS 100%

13	PLATAFORMA I				
13.1	Relleno Compactado plataforma I	m ³	14,513.98	35.00	507,989.17
13.2	Neumáticos para muro de contención	unidades	2,925.00	5.00	14,625.00
13.3	Relleno para neumáticos	m ³	1,023.75	0.00	0.00
13.4	Rellenado de neumáticos	unidades	2,925.00	15.00	43,875.00
13.5	Varillas No.3 para anclaje	qq	12.00	265.00	3,180.00
13.6	Colocación y corte de anclaje	unidades	2,925.00	2.00	5,850.00

Continuación

14	PLATAFORMA II				
14.1	Relleno Compactado plataforma II	m³	26,064.07	35.00	912,242.35
14.2	Neumáticos para muro de contención	unidades	5,157.00	5.00	25,785.00
14.3	Relleno para neumáticos	m³	1,804.95	0.00	0.00
14.4	Rellenado de neumáticos	unidades	5,157.00	15.00	77,355.00
14.5	Varillas No.3 para anclaje	qq	20.00	265.00	5,300.00
14.6	Colocación y corte de anclaje	unidades	5,157.00	2.00	10,314.00
				<i>SUB-TOTAL</i>	Q1,606,515.52

Fase 7

CORTES FASE 3 Y 4 100%

15	CORTE FASE 3				
15.1	Corte con Maquinaria	m³	10,461.25	35.00	366,143.62
16	CORTE FASE 4				
16.1	Corte con Maquinaria	m³	33,237.73	35.00	1,163,320.61
				<i>SUB-TOTAL</i>	Q1,529,464.23

Fase 8

BASE IMPERMEABLE Y DRENAJE PARA LIXIVIADOS 60%

17	BASE Y DRENAJE DEL RELLENO				
17.1	arcilla para capa impermeable	m³	3,600.83	175.00	630,145.78
17.2	compactación de arcilla	m²	6,858.73	25.00	171,468.24
17.3	pedra bola	m³	57.00	150.00	8,550.00
17.4	tubos de PVC 6"	mL	45.00	68.00	3,060.00
17.5	colocación de tubería de PVC 6"	mL	45.00	35.00	1,575.00
17.6	puntales de madera 2x2plg	mL	672.00	1.70	1,142.40
17.7	mallla metálica	m²	117.00	16.00	1,872.00
17.8	armar chimeneas	unidad	8.00	50.00	400.00
17.9	geotextil	m²	84.00	35.00	2,940.00
17.10	plástico de alta densidad	m²	5,258.36	15.00	78,875.39
				<i>SUB-TOTAL</i>	Q900,028.81

Fase 9

CORTES FASE 5, 6 Y 7 100%

18	CORTE FASE 5				
18.1	Corte con Maquinaria	m³	12,256.51	35.00	428,977.91
19	CORTE FASE 6				
19.1	Corte con Maquinaria	m³	18,901.27	35.00	661,544.42
20	CORTE FASE 7				
20.1	Corte con Maquinaria	m³	8,771.72	35.00	307,010.21
				<i>SUB-TOTAL</i>	Q1,397,532.54

Fase 10

BASE IMPERMEABLE Y DRENAJE PARA LIXIVIADOS 100%

21	BASE Y DRENAJE DEL RELLENO				
21.1	arcilla para capa impermeable	m³	4,801.11	175.00	840,194.37
21.2	compactación de arcilla	m²	12,002.78	25.00	300,069.42
21.3	pedra bola	m³	41.00	150.00	6,150.00
21.4	tubos de PVC 6"	mL	60.00	68.00	4,080.00

Continuación

21.5	colocación de tubería de PVC 6"	mL	60.00	35.00	2,100.00
21.6	puntales de madera 2x2plg	mL	896.00	1.70	1,523.20
21.7	malla metálica	m ²	156.00	16.00	2,496.00
21.8	armar chimeneas	unidad	10.00	50.00	500.00
21.9	geotextil	m ²	112.00	35.00	3,920.00
21.10	plástico de alta densidad	m ²	7,011.15	15.00	105,167.19
				SUB-TOTAL	Q1,266,200.18

Fase 11

GARITA Y BODEGA 100%					
22	Garita y bodega				
22.1	Garita	global	1.00	12,000.00	12,000.00
22.2	Bodega	global	1.00	7,350.00	7,350.00
				SUB-TOTAL	Q19,350.00

Fase 12

PLANTA DE COMPOSTAJE 100%					
23	Planta de compostaje				
23.1	base para pilas de compost	global	46.00	157.21	7,231.68
23.2	rampas para acceso a plataformas	global	4.00	5,669.75	22,678.99
23.3	tubos de PVC 2"	mL	55.00	8.00	440.00
23.4	colocación tubería de PVC 2"	mL	56.00	20.00	1,120.00
23.5	Área de descarga	global	1.00	25,000.00	25,000.00
				SUB-TOTAL	Q56,470.68

TOTAL		Q9,923,908.91
+IVA+ISR		Q1,687,064.52
+GASTOS ADMINISTRATIVOS		Q2,977,172.67
PRECIO FINAL	Q14,588,146.10	

En la anterior tabla, el precio del material de relleno no se toma en cuenta ya que el mismo procede de los cortes a realizar en el lugar. Dicho presupuesto, sólo toma en cuenta los renglones a trabajar para dejar preparado el lugar y así poder y comenzar a realizar el relleno sanitario y no así los trabajos de cubierta diaria y compactación, techo de pilas de compost, ni todos aquellos aspectos relacionados con la operación del proyecto propuesto.

Tabla XIX. Resumen de costos aproximados de inversión inicial por fases

FASE	Precio	Total Acumulado	Precio + IVA+ISR+GA	Total Acumulado + IVA+ISR+GA
1	334,099.72	334,099.72	491,126.58	491,126.58
2	186,799.46	520,899.17	274,595.20	765,721.78
3	1,265,740.01	1,786,639.19	1,860,637.82	2,626,359.61
4	900,028.81	2,686,668.00	1,323,042.35	3,949,401.96
5	461,678.96	3,148,346.95	678,668.06	4,628,070.02
6	1,606,515.52	4,754,862.47	2,361,577.81	6,989,647.84
7	1,529,464.23	6,284,326.71	2,248,312.42	9,237,960.26
8	900,028.81	7,184,355.52	1,323,042.35	10,561,002.61
9	1,397,532.54	8,581,888.06	2,054,372.83	12,615,375.44
10	1,266,200.18	9,848,088.24	1,861,314.27	14,476,689.71
11	19,350.00	9,867,438.24	28,444.50	14,505,134.21
12	56,470.68	9,923,908.91	83,011.90	14,588,146.10
TOTAL		9,923,908.91	TOTAL	14,588,146.10

Tabla XX. Resumen de costos aproximados de inversión inicial por renglón de trabajo

RENLÓN	Unidad	Cantidad Estimada	Precio Unitario	Total
Predios	m ²	13,363.99	25.00	334,099.72
Preliminares	global	1.00	186,799.46	186,799.46
Cortes con maquinaria	m ³	113,245.52	35.00	3,963,593.04
Relleno compactado de plataformas	m ³	57,591.01	35.00	2,015,685.22
Neumáticos para muro de contención	unidades	12,744.00	5.00	63,720.00
Rellenado de neumáticos	unidades	11,752.00	15.00	176,280.00
Varillas No.3 para anclaje	qq	61.00	265.00	16,165.00
Colocación y corte de anclaje	unidades	12,744.00	2.00	25,488.00
Base impermeable	global	1.00	2,743,491.83	2,743,491.83
Drenaje de lixiviados	global	1.00	322,765.97	322,765.97
Planta de compostaje	global	1.00	56,470.68	56,470.68
Garita y bodega	global	1.00	19,350.00	19,350.00
TOTAL				Q9,923,908.91
+IVA+ISR				Q1,687,064.52
+GASTOS ADMINISTRATIVOS				Q2,977,172.67
PRECIO FINAL				Q14,588,146.10

En la tabla XXI se aprecian los gastos y los ingresos de la solución propuesta a lo largo de 11 años de vida útil del relleno sanitario. Para este cálculo se consideraron los aspectos que se muestran en la página siguiente:

- Se calculó un gasto aproximado de operación de Q 25,000.00 mensuales.
- La inversión de Q14, 588,146.10 dividida en 12 fases para poder utilizar el predio como relleno sanitario.
- El terreno de 4300m² de Q 107,000.00 para la planta adicional para cubrir el 75% del compostaje. Se estimó un valor promedio de Q 25.00 por m².
- Se consideró una cuota de Q5.00 por usuario del servicio de recolección de desechos sólidos, cubriendo el 65% de la población.
- Un factor importantísimo que se tomó en cuenta, es la cantidad que se ahorraría al prevenir las enfermedades relacionadas al mal manejo y disposición de los desechos sólidos que actualmente se realiza en Santiago Sacatepéquez; el ahorro asciende a aproximadamente Q200.00 al mes por paciente, actualmente existe un estimado de 175 pacientes por mes.
- Otra forma de ingresos es la venta de compost el cual se estimó el precio de venta por saco (42.5kg) en Q 12.00 según precio en el mercado internacional, con lo cual se logra obtener ingresos por Q 6,443,859.36 durante los 11 años de vida útil del proyecto.

Tabla XXI. Gastos e ingresos aproximados en 11 años de vida útil del relleno sanitario.

GASTOS		INGRESOS	
operación (Q 25,000.00/mes)	Q3,300,000.00	cuota de recolección cubriendo el 65% de la población (Q 5.00 al mes)	Q7,495,022.49
inversión (12 fases)	Q14,588,146.10	por prevención de enfermedades	Q4,620,000.00
predio para planta de compostaje adicional	Q107,500.00	venta de compost (Q12.00 saco de42.5kg)	Q6,443,859.36
total	Q17,995,646.10	total	Q18,558,881.85

ganancia de proyecto luego de 11 años
Q563,235.75
ganancia del proyecto anual
Q51,203.25
ganancia del proyecto mensual
Q4,266.94
ganancia del proyecto por día
Q137.64

Como se puede observar en la tabla XXI después de 11 años se obtiene una ganancia de Q 563,235.75, los cuales podrían ser aprovechados para la tecnificación de la planta de compostaje y poder así obtener mayores beneficios en un futuro o bien en un plan de enseñanza sobre el manejo de los desechos sólidos en la comunidad.

8. RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD

Como en cualquier proyecto de ingeniería, existen riesgos los cuales dependen del tipo de amenaza y del grado de vulnerabilidad existente. De forma matemática el riesgo es el resultado de la multiplicación de la amenaza por un factor de vulnerabilidad.

En el caso del proyecto de relleno sanitario y planta de compostaje, los riesgos del proyecto son mínimos. Aunque estén presentes una serie de amenazas como se podrá observar en la siguiente tabla, la vulnerabilidad tiende a tener un valor muy bajo, debido a las precauciones que se implementaron en la propuesta de solución.

Tabla XXII. Amenazas, riesgos, vulnerabilidades y medidas preventivas en relleno sanitario

Amenazas	Riesgos	Vulnerabilidades y medidas preventivas
<p><u>Generación de biogás</u></p> <p>La generación del biogás crea en el interior del relleno una presión que provoca su difusión hacia la atmósfera, la cual es modulada por la variación meteorológica de la presión atmosférica del exterior.</p>	<p>Explosiones e incendios</p> <p>El biogás es explosivo debido principalmente a su contenido en metano. El límite de explosión para el metano está entre el 5 y el 15% en aire a presión atmosférica y temperatura ambiente.</p> <p>Uno de los principales riesgos ambientales a corto plazo relacionados con el biogás son las explosiones provocadas por el gas que se introduce en las casas a través de grietas en los cimientos, alcantarillado, etc.</p> <p>Una vez que se produce la mezcla del gas con el aire, una descarga de energía (una chispa eléctrica, el encendido de un fósforo, etc.) puede desencadenar la explosión.</p> <p>Olores</p> <p>El ácido sulfhídrico y los compuestos orgánicos sulfurados componentes principales del biogás son los causantes de malos olores. El problema principal tiene lugar durante la operación de depósito y durante la fase de fermentación agria anaerobia si los residuos tienen contacto con el aire.</p> <p>El nivel umbral donde el olor empieza a ser significativo suele estar por debajo del nivel en el que surgen problemas para la salud.</p> <p>Daños a la vegetación</p> <p>La causa principal de daños a la vegetación por el biogás es la asfixia por falta de oxígeno en la zona de putrefacción. Las altas concentraciones de dióxido de carbono y algunos componentes como el ácido sulfhídrico, etc. son también tóxicos para las plantas.</p>	<p>En este sentido el factor de vulnerabilidad es bajo debido a que se tiene previsto no depositar grandes cantidades de desechos orgánicos.</p> <p>Los desechos orgánicos producidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez se utilizarán para la elaboración de compost con los cual se reducirá de gran manera la producción de biogás y con esto la producción de metano.</p>

Continuación

	<p>Efecto invernadero El metano y el dióxido de carbono producidos en el proceso de fermentación de los desechos sólidos contribuyen significativamente al efecto invernadero. Se estima que el metano contribuye entre un 18-20% a la fuerza radiactiva que incrementa el efecto invernadero natural, y de éste un 11% se debe al depósito de residuos sólidos en el relleno sanitario.</p> <p>Reducción de la capa de ozono La presencia en el biogás de hidrocarburos clorados y fluorados plantea un problema específico. Debido a su estabilidad química y, en especial, a la de los hidrocarburos fluorados, alcanzan la estratosfera, donde el átomo de cloro se separa y el radical provoca la ruptura de la molécula de ozono.</p>	
<p><u>Generación de lixiviados</u></p> <p>La emisión de lixiviados se caracteriza por su cantidad y su composición. La cantidad de los mismos depende principalmente de las precipitaciones y de la evapotranspiración.</p>	<p>Contaminación de aguas superficiales y subterráneas Los lixiviados agotamiento del oxígeno en parte de las aguas superficiales, la asfixia de las crías de peces debido a la acumulación de sustancias oxidantes del hierro en las branquias, alteraciones en la flora y fauna del fondo y toxicidad del amoníaco para los peces. Una correcta ubicación del relleno sanitario, así como un control cuidadoso del lixiviado y de la evacuación de las aguas pueden prevenir los casos de contaminación de las aguas superficiales por el lixiviado. El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas constituye probablemente el impacto medioambiental más severo asociado a los lixiviados de los rellenos sanitarios. Los casos de contaminación de las aguas subterráneas suelen estar relacionados con antiguos vertederos en los que no existe medida alguna de control de la migración del lixiviado al nivel freático, y siempre en acuíferos arenosos.</p>	<p>En el proyecto se construirá una capa base impermeable sobre la cual se colocará una capa de polietileno de alta densidad o PEHD, sobre ésta una capa de piedra bola como drenaje que conducirá los lixiviados a una planta de tratamiento; además sobre esta se colocará geotextil. Con esto se espera que no se tenga ningún problema con los lixiviados reduciendo el factor de vulnerabilidad a un valor bajo.</p>
<p><u>Generación de ruido</u></p>	<p>Contaminación acústica El ruido es causado por los camiones transportadores de los desechos, por el vaciado de los mismos, por las compactadoras y equipos que llevan a cabo los movimientos de tierra.</p>	<p>La maquinaria y equipo utilizado no representa para la población del lugar una contaminación acústica apreciable. Por lo tanto el factor de vulnerabilidad se ve reducido enormemente al no superarse los límites permisibles de decibeles que un ser humano pueda soportar.</p>
<p><u>Generación de plagas o criadero de animales</u></p>	<p>Animales Existe el riesgo de que animales lleguen a alimentarse o a criar. En particular los vertederos que reciben residuos orgánicos atraen gran cantidad de pájaros, roedores e insectos. Desde el momento que muchos de estos animales pueden actuar como transmisores de enfermedades, su presencia puede constituir potencialmente un riesgo para la salud.</p>	<p>No es vulnerable ya que se tendrá control sobre desechos orgánicos, ya que se utilizarán para la elaboración de compost. En caso muy extremo se tendrá en cuenta una campaña de exterminación dentro de la planta.</p>
<p><u>Generación de molestias a los habitantes</u></p>	<p>Olores Los olores se producirán al no estar cubierta la capa de desechos sólidos con tierra todos los días</p> <p>Dispersión del residuo y polvo Los residuos que son arrastrados por el viento y el polvo constituyen una importante molestia y es necesario combatirlos constantemente. La contaminación del suelo en la zona próxima al vertedero puede ser provocada por derrames de los vehículos de recogida de residuos.</p>	<p>La vulnerabilidad se ve rebajada al mínimo, ya que se cubrirá con tierra todos los días, asimismo se construirá una barrera natural para evitar malos olores, vertido de residuos se controlará y gestionará de manera adecuada con el objeto de prevenir o reducir los efectos negativos sobre el entorno y los posibles riesgos para la salud humana.</p>

Tabla XXIII. Amenazas, riesgos, vulnerabilidades y medidas preventivas en planta de compostaje

Amenazas	Riesgos	Vulnerabilidades y Medidas Preventivas
<p><u>Generación de lixiviados</u> Los lixiviados se producen especialmente durante las primeras semanas del compostaje, debido al alto contenido de agua de los desechos sólidos y al riego necesario para mantener la humedad suficiente.</p>	<p>Contaminación de aguas superficiales y subterráneas El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas constituye probablemente el impacto medioambiental más severo asociado al manejo de desechos sólidos. Los casos de contaminación de las aguas subterráneas están relacionados e n manejos en los que no existe medida alguna de control de éstos.</p>	<p>Los drenajes de la planta de compostaje estarán conectados a la red de drenajes del relleno sanitario, con lo que se espera que no tener problema alguno, reduciendo el factor de vulnerabilidad a un valor bajo ya que esto se conducirán luego a una planta de tratamiento.</p>
<p><u>Animales y criadero de insectos</u></p>	<p>Animales Es importante tener un control de animales en el lugar del compostaje, por razones de salud y seguridad. Los animales se ven atraídos a la pila de compost debido al calor y a que en ella pueden encontrar alimento. Los insectos voladores son atraídos por desperdicios con alto contenido de azúcar como frutas o cáscaras de vegetales.</p>	<p>Al mantener la pila bien caliente, se logrará mantener a los animales alejados de ésta y logrando además destruir las larvas de insectos.. Los desechos con alto contenido de azúcar deben ser inmediatamente enterrados y cubiertos.</p>
<p><u>Generación de molestias olfatorias</u></p>	<p>Olores Los olores se producirán al existir procesos anaeróbicos de degradación. Además los malos olores pueden producirse por la utilización de desechos con un alto contenido de nitrógeno. Se puede presentar un olor parecido al amoníaco, esto se debe a que la relación carbono-nitrógeno se encuentra desbalanceada y que se están utilizando muchos desechos verdes para producir compost.</p>	<p>La vulnerabilidad se ve rebajada al mínimo, ya que se cubrirá con pasto o un material similar las pilas de compost, además de poseer una aireación adecuada y controles de riego, mezcla y revuelta. Para solucionar el problema de un alto contenido de nitrógeno y el olor a amoníaco en la pila, se deberá agregar a la pila materiales con alto contenido de carbono como hojas secas y nuevamente mezclar y revolver la pila.</p>

9. GUÍA PRELIMINAR PARA LA OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

Recursos humanos, materiales y técnicos

9.1.1 Personal necesario

Existen varios criterios que determinan la cantidad y las características del personal necesario para la operación del relleno sanitario, tales como: el área del relleno, cantidad diaria de desechos descargados, tipo de los desechos, disponibilidad y material de cobertura, días laborables en el relleno, duración de la jornada diaria, condiciones del clima, rendimiento de los trabajadores.

La cantidad exacta de personal, se podrá determinar, solamente durante la operación del relleno sanitario, tomando en cuenta factores económicos, así como rendimientos del trabajador. A pesar de lo anterior, presento en la siguiente tabla, el personal básico necesario en el relleno sanitario, éstos se estimaron de acuerdo a las experiencias obtenidas en rellenos similares en América del Sur (Ecuador).

Tabla XXIV. Personal necesario en relleno sanitario

Calificación y tareas del personal	Personal necesario
<i>Ingeniero civil o ambiental / Jefe relleno sanitario</i> - responsable del relleno sanitario	1
<i>Ingeniero civil o ambiental/ Sub-jefe relleno sanitario</i> - suplente al jefe en ausencia de éste - ayudante del jefe del relleno	1
<i>Ingeniero químico</i> - Supervisión de todos los procesos químicos	1
<i>Responsable de balanza</i>	1
<i>Piloto compactadora</i>	1
<i>Piloto camión de volteo</i>	1
<i>Obrero de mantenimiento</i> - Construcción de chimeneas - Limpieza de canales de drenaje y cuneta - Mantenimiento de planta de tratamiento de lixiviados	3
<i>Obrero Clasificador</i> - Clasificación de desechos	6
<i>Obrero de relleno</i> - Colocación de desechos para compactación	5
<i>Guardián</i> - Presencia continua en el relleno sanitario - Prohibir ingreso a personas no autorizadas - Prohibir y controlar la ausencia de animales al relleno	1
TOTAL	21

9.1.2 Vehículos, herramientas y equipo

El más importante de los vehículos es el tractor compactador, el cual es tractor con orugas como los que se utilizan en la construcción, adaptado a las condiciones del relleno sanitario. Los tractores compactadores compactan los desechos sólidos con su peso que en el caso ideal éste entre 16-36 toneladas.

En lo posible, se debe cumplir con los siguientes requerimientos para asegurar un trabajo confiable en el relleno, evitar que se dañe frecuentemente el compactador y ofrecer un ambiente de trabajo aceptable al operador de la máquina: la cabina de piloto debe de ser cerrada (con ventanas que se pueden abrir y, si es posible, con aire acondicionado), con suelo impermeable al agua, protegida contra vibraciones y ruido; es bien importante que el chasis sea resistente contra desechos sólidos gruesos, químicos agresivos o inflamables; el radiador con plancha de metal perforada y con protección contra el polvo en el aire de refrigeración; protección de los lados laterales del motor; una pala grande de 4.40 m de ancho(máximo) y de 2.20 m de alto (máximo).

Las herramientas necesarias en el relleno son las que se enumeran en la tabla siguiente:

Tabla XXV. Herramientas necesarias en relleno sanitario

Herramienta	Uso
Pala	- Cargar, descargar y colocar desechos sólidos sueltos. - Cargar, descargar y colocar material de cobertura - Excavar - Mantenimiento de la fosa séptica - Mantenimiento laguna de tratamiento biológico - Mantenimiento y construcción de cunetas
Azadón	- Aflojar el terreno - Trabajos de arborización - Mantenimiento de cunetas y canales de drenaje
Barreta	- Aflojar el terreno para excavaciones - Trabajos de arborización
Pico	- Mantenimiento y construcción de cunetas y canales - Mullir el terreno para excavaciones - Trabajos de arborización - Mantenimiento y construcción de cunetas y canales de drenaje
Machete	- Cortar palos para la construcción de chimeneas y otros - Afiliar palos y estacas - Cortar árboles pequeños para la preparación del terreno
Martillo	- Construcción y mantenimiento de chimeneas - Mantenimiento de herramientas
Sierra	-Cortar palos y otra madera
Rastrillo	-Colocación homogénea del material de cobertura -Homogeneización de los desechos sólidos
Carreta de albañil	-Transporte interno de desechos sólidos y del material de cobertura.

9.1.3 Balanza

Ya que en el relleno sanitario se ingresarán desechos sólidos de diferentes tipos, la balanza ayudará a determinar la cantidad de cada categoría de desechos. Es importante a la hora de implementar una tarifa para la descarga de cierto tipo de desecho, además es útil si se intentara diseñar cualquier implemento nuevo o bien verificar los datos de base para el manejo de los desechos sólidos. Puede ser obviada llevando un control y conociendo los volúmenes de transporte.

9.1.4 Materiales para el mantenimiento y la operación

Los materiales utilizados dependen del tipo de tarea que se esté desempeñando veamos a continuación éstos. Para la construcción de las chimeneas se necesita: malla metálica, piedra bola, palos, clavos.

Con lo que se refiere a la preparación de celdas nuevas y cubierta diaria es necesario tener material de cubierta arcilloso para asegurar una suficiente impermeabilización contra las infiltraciones de aguas lixiviadas en el fondo y el agua de lluvia en la cobertura diaria. Se necesita una cantidad aproximada de 25 - 30 % de la cantidad de desechos sólidos enterrada.

La protección de los trabajadores y la seguridad de trabajo son muy importantes en el relleno sanitario por lo que debe de proporcionárseles 2 overoles de trabajo al año, guantes, botas con punta y suela reforzada de acero o en casos extremos de no poder conseguir este tipo de botas por lo menos proporcionar botas de caucho a los trabajadores.

Plan de operación

Con el fin de hacer más eficiente el manejo diario del relleno sanitario y establecer de esta forma los papeles y responsabilidades de los involucrados; el plan de operación es sumamente importante.

La tabla XXVI resume los análisis elementales, necesarios en el relleno sanitario. Además, considerando las posibilidades económicas sumamente limitadas del lugar, se ha elaborado la tabla XXVII en la que se presenta la frecuencia y la importancia del análisis.

Tabla XXVI. Análisis elementales en el relleno sanitario ideal

Tema	Análisis	Equipo necesario	Objetivo
Aguas Lixiviadas	Medición de las aguas lixiviadas acumuladas	Metro sumergido en el tanque de sedimentación	Verificación de la cantidad de aguas lixiviadas. Comprobación de la contaminación de aguas lixiviadas.
	Medición de pH	Con un pH-metro dentro del tanque de sedimentación	
	Medición de conductibilidad	Con un electrodo dentro del tanque de sedimentación	
Aguas Subterráneas	Pruebas de calidad de aguas subterráneas	Pozo de 0.15m de diámetro y se toma la prueba con bomba sumergible	Conocimiento del impacto de las aguas lixiviadas en las capas freáticas.
Gases del relleno	Concentración de metano Vol% 0-5	Medidor con incineración catalítica	Prevención de explosiones. Seguridad en el trabajo. Conocimiento de la cantidad de gas combustible para aprovechar la energía térmica.
	Concentración de metano Vol% 0-100	Medidor de conductividad térmica	
	Concentración de dióxido de carbono	Medidor de color según concentración	
	Concentración de oxígeno	Con un oxígeno metro	
Meteorología	Medición de la precipitación	2 medidores de lluvia según método Hellman	Pronóstico de la cantidad de aguas lixiviadas producidas mediante cálculo de precipitación y evaporación. Estimación de la molestia causada por la dispersión de olores y polvo
	Medición de la temperatura	Termómetro con indicadores mínimo y máximo	
	Medición de la humedad	Polímetro	
Desechos	Medición de la dirección y la fuerza del viento	Anemómetro con registro manual	Conocimiento de la cantidad exacta de desechos. Verificación del sistema de recolección
	Peso de los desechos de ingreso	Registro de camiones o tractores	
	Toma de pruebas en el sitio de descarga	Análisis manual	

Tabla XXVII. Evaluación de la necesidad e importancia de análisis

Tema	Análisis	Frecuencia	Importancia
Aguas Lixiviadas	Medición de las aguas lixiviadas acumuladas	1 vez por semana	Existe mucha precipitación o variable.
	Medición de pH	1 vez por mes	
	Medición de conductibilidad	1 vez por mes	
Aguas Subterráneas	Pruebas de calidad de aguas subterráneas	1 vez al año	Al no haber buen material para construir el suelo impermeable. Las aguas freáticas están muy altas o cercanas al sitio. Se utilizarán o se utilizan las capas freáticas para suministro de agua potable o de riego.
Gases del relleno	Concentración de metano Vol% 0-5	-	No se tiene previsto aprovechar la energía del gas de relleno, dado que el relleno sanitario es muy pequeño para poder hacerlo.
	Concentración de metano Vol% 0-100	-	
	Concentración de dióxido de carbono	-	
	Concentración de oxígeno	-	
Meteorología	Medición de la precipitación	1 vez por día	El relleno está a menos de 1 Km. de áreas pobladas.
	Medición de la temperatura	1 vez por día a las 2:00 p.m.	
	Medición de la humedad	1 vez por día a las 2:00 p.m.	
	Medición de la dirección y la fuerza del viento	1 vez por día a las 7:00am, 2:00 p.m. y 9:00 p.m.	
Desechos	Peso de los desechos de ingreso	Cada camión que ingresa	El terreno disponible para la construcción de relleno es limitado. Se tiene planeado diseñar un proyecto para aprovechar los desechos biodegradables y reciclables.
	Toma de pruebas en el sitio de descarga	1 vez por año	

Ingreso de los desechos y registro

La identificación del tipo y la cantidad de desechos sólidos que entran en el relleno sanitario es indispensable para el control de los mismos o bien en casos de algún tipo de incumplimiento o accidentes se puede determinar quien fue el responsable de éstos.

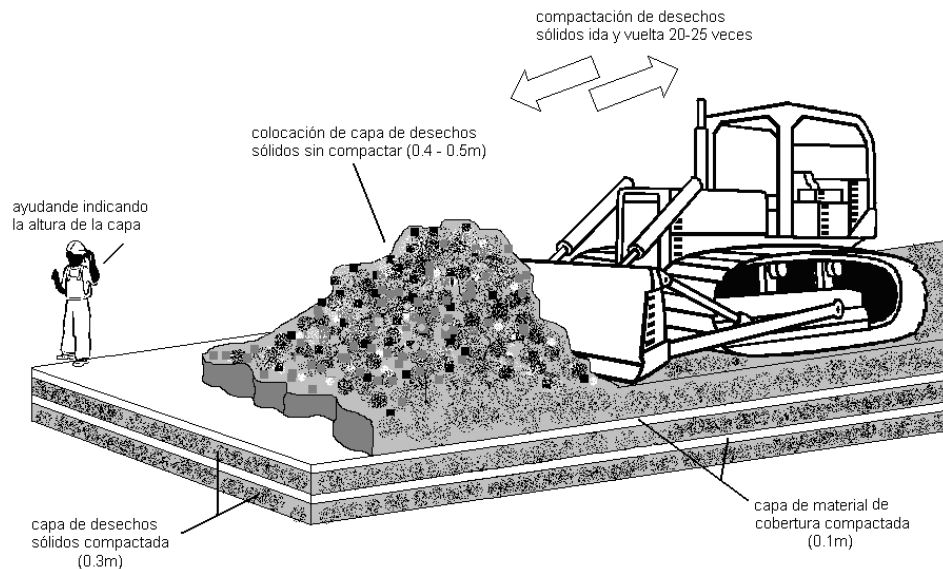
En el puesto de registro debe de considerarse muy seriamente la identificación clara de la procedencia de los desechos sólidos, compañía que los transporta, placa de vehículo, así como la fecha y hora de entrada. Algo importante es indicar el tipo de desecho, ya sea domiciliario, industrial, etc.

En relación con el peso de los desechos sólidos al no poseer una balanza se debe de registrar información del volumen aproximado por medio de la descripción del vehículo que los transporta.

Descarga, colocación, compactación y cubierta

El personal que tiene la función de indicar los lugares de descarga sobre el relleno sanitario debe de organizarse, de tal manera, que los montículos de desechos sólidos descargados se distribuyan homogéneamente sobre el área de la franja diaria de trabajo. Luego de colocar los desechos sólidos en capa de 0.40m a 0.50m, éstos se compactan hasta lograr una compactación menor a 0.30m. La compactación ha de realizarse de ida y vuelta de 20-25 veces con el fin de obtener una densidad aproximado de 0.81 ton/m³.

Figura 9. Proceso de colocación y compactación de desechos



Los desechos sólidos descargados cada día, se deben cubrir con una capa de tierra. Usualmente la cantidad del material usado para la cobertura debe ser entre 1/4 y 1/3 de los desechos sólidos enterrados.

Terminación de una celda o un módulo

Dado que la celda terminada será utilizada posteriormente para otros fines es muy importante que se compacte bien una capa impermeable de cobertura.

En el caso de no construirse otra celda superpuesta a la celda recientemente terminada o no se utilizará esta área para otros fines, es muy importante que se arborice y restaure el terreno.

Trabajos y controles después de cierre de relleno

Dado que en el relleno sanitario de Santiago Sacatepéquez casi no se producirán aguas lixiviadas o gases de relleno o por lo menos eso se pretende, ya que se apreciará todo el material biodegradable. No se debe mantener ningún tipo de cuidados especiales; sin embargo no está de más controlar el estado de las plantas sobre el cuerpo del relleno, en los taludes y alrededor, ya que las plantas son un buen indicador si hay fugas de gas.

Las emisiones del relleno sanitario por pequeñas que fuesen siguen produciéndose hasta 25 años después de su cierre, dependiendo de la cantidad de material orgánico relleno, de la compactación y de las condiciones climáticas. Generalmente, se puede decir que se terminan las emisiones más rápidamente en regiones calientes y en rellenos pequeños. En este periodo, existe también el peligro de asentamientos.

CONCLUSIONES

1. El presente trabajo de graduación representa una propuesta para el tratamiento de los desechos sólidos, y no un diseño final del proyecto, el cual deberá efectuarse en un estudio de factibilidad y diseño final.
2. Es indiscutible que el pueblo de Santiago Sacatepéquez carece de un manejo y tratamiento de residuos sólidos adecuado. La mayoría de personas vierten éstos en los barrancos aledaños o bien en las calles del pueblo; lo que les provoca problemas de salud debido a las plagas que por esta acción se producen. Además, incide directamente en un deterioro ambiental del lugar, contaminación visual y mala imagen del pueblo para el turista.
3. La solución propuesta para el problema del manejo y disposición final de los desechos sólidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez, es el desarrollo de un relleno sanitario que funcionará simultáneamente con dos plantas de compostaje.
4. Cada persona en el pueblo de Santiago Sacatepéquez genera 0.03m^3 (1.18lb) de desechos sólidos diariamente, lo que equivale a 9.57m^3 (429.67lb) anualmente.
5. La densidad de los desechos sólidos es de 44.917 lb/m^3 o bien 20.374kg/m^3 .

6. La producción diaria de desechos sólidos en el pueblo de Santiago Sacatepéquez es de 393.25m^3 que equivalen a 8.83 toneladas, lo que genera una producción anual de $143,534.58\text{m}^3$ o 3,223.59 toneladas.
7. Por vivienda se producen diariamente 0.22m^3 (9.67lb), con lo que se puede estimar una producción anual de 9.57m^3 (1.765ton).
8. Se determinó que el 58.95% de los desechos producidos en Santiago Sacatepéquez son desechos biodegradable y que anualmente se producen $84,609.86\text{m}^3$ (1,900.22 ton); el 30% corresponde a desechos reciclables con una producción anual de $43,060.38\text{m}^3$ (967.08ton) y el 11.05% son desechos no biodegradables y no reciclables, de los cuales $15,864.35\text{m}^3$ (356.29ton) son producidos anualmente.
9. La humedad óptima de los desechos sólidos a compostar, a de mantenerse entre el 15% y 35%, esto con el fin de asegurar condiciones óptimas de compostaje.
10. Utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo, podemos diferenciar las siguientes etapas dentro del proceso de compostaje: la etapa de latencia, la mesotérmica 1, la termogénica y la mesotérmica 2.
11. Para poder utilizar el compost como abono, la tasa C/N no debe pasar 35:1 o ser menor de 15:1. Se recomienda una tasa C/N de 25:1, es decir 25 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno.

12. Los residuos de origen vegetal, presentan por lo general una relación C/N elevada. Las plantas y montes, contienen más nitrógeno cuando son jóvenes y menos en su madurez.
13. El pH óptimo de los desechos sólidos a compostar es de 7.
14. La duración total del proceso de compostaje es de 6 meses, período donde el compost se encuentra maduro y ya no contiene bacterias patógenas u otros materiales nocivos.
15. La minimización de las aguas lixiviadas es especialmente importante para rellenos sanitarios o bien plantas de compostaje. Es por eso, que se le debe de dar tratamiento biológico por medio de una laguna. La laguna de tratamiento biológico deberá tener una profundidad de 0.1m para evitar condiciones anaeróbicas y una putrefacción de las aguas lixiviadas. Las aguas pasarán 50 días en la laguna.
16. La selección del sistema depende del presupuesto disponible, de la cantidad de las aguas lixiviadas y del área disponible. Sea cual sea el sistema seleccionado es importante llevar control sobre este proceso.
17. El predio municipal donde actualmente se están depositando los desechos sólidos del pueblo de Santiago Sacatepéquez posee un área de 1,877.6326m² y un perímetro de 178.4837m; los terrenos que la municipalidad debe comprar para la realización de la propuesta del proyecto, poseen un área de 11,401.4441m² y 1962.5446m², ambos con un perímetro de 486.2748m y 242.2580 respectivamente.

18. El área total del predio a ubicar el relleno sanitario y planta de compostaje es de 15,241.6213m² y posee un perímetro de 522.0075m.
19. El relleno sanitario tiene la capacidad de 432,886.6455m³, de los cuales 288,335.9903m³ son de desechos sólidos compactados y 144,550.6552m³ corresponden a material de relleno y de cobertura compactado
20. Para poder compostar el 75% e incrementar así la vida útil del relleno se debe de considerar la construcción de otra planta de compostaje que pueda dar tratamiento a la fracción del 58% restante de los desechos compostables. Para la construcción de esta otra planta, es necesario un terreno de 43x100m o bien que posea un área de 4,300m² para garantizar así el espacio suficiente para el manejo de aproximadamente 60 pilas de compost.
21. Al compostar el 75% de los desechos sólidos la vida útil del relleno sanitario se encuentra entre el año 10 y 11.
22. El sistema de drenaje a utilizar será el llamado drenaje pasivo con chimeneas; éstas últimas se construirán durante la operación del relleno sanitario. Las chimeneas de drenaje se construirán de tubo perforado con 6plg de diámetro relleno con piedra bola o grava. Los orificios deben de ocupar un 10% de la superficie del tubo. El sistema de drenaje consistente en tubos igualmente de 6 pulgadas de diámetro y con perforaciones de 0.1m de diámetro y una distancia de 0.025m entre ellos. Los tubos se colocarán dentro de la capa de piedra bola en forma de espina de pescado.

23. Con relación a los ensayos efectuados con muros de contención utilizando neumáticos usados, se determinó que el muro puede soportar cargas de empuje de 200 PSI, no mostrándose desplazamiento horizontal alguno, al tener una mayor altura a la ensayada, el desplazamiento vertical será despreciable.

24. Inicialmente, se puede considerar como factor de trabajo un valor de 2 como máximo, es decir sólo se podrá utilizar el muro de contención de neumáticos usados para soportar hasta 400 PSI de carga, en dónde se obtendría un desplazamiento de 0.5m.

RECOMENDACIONES

1. Se debe de realizar un estudio de factibilidad y diseño final, esto con el fin de afinar y ratificar datos, así como de tecnificar aún más con ensayos pertinentes que por motivos monetarios, técnicos, de tiempo y espacio, no se pudieron realizar.
2. La recomendación más importante, sería la disminución de las aguas lixiviadas y del volumen de desechos sólidos rellenos. Si se compostan los desechos sólidos biodegradables, se reduce considerablemente la cantidad de materiales que se van al relleno, y también se reduce la cantidad de lixiviados que escurren del resto de desechos sólidos rellenos.
3. Es importante diseñar un tratamiento adecuado para las aguas lixiviadas que se generarán en el relleno sanitario y planta de compostaje. Es recomendable un tratamiento en laguna y para optimizar la eficiencia de éste, se puede hacer un tratamiento con plantas. El fondo de la laguna se debería cubrir con una mezcla de humus y arena (ambos 50 %) de espesor de 0.1m. La misma planta de compostaje puede suministrar el humus. El tratamiento de plantas se puede realizar con varias plantas que serían totora y otras plantas acuáticas, dependiendo de la adaptación de éstas al clima existente en Santiago Sacatepéquez.

4. Si se diese el caso, se deben recoger separadamente los desechos tóxicos o peligrosos, se debe determinar y construir una celda dentro de una de las plataformas del relleno sanitario separada para ese tipo de desechos. Esta celda debe de ser equipada con suelo mineral bien compactado, capa de plástico y geotextil con el fin de evitar que los componentes más peligrosos se escurran juntos con las aguas lixiviadas del relleno sobre los desechos sólidos domiciliarios. Las aguas lixiviadas de la celda separada de desechos tóxicos, peligrosos e infecciosos pueden tratarse juntas con las aguas lixiviadas del relleno común, lo importante es el mejor aislamiento de la celda especial de estos desechos.
5. Una forma de sustituir la capa de plástico de alta densidad (PEHD), al no disponer del presupuesto necesario para su compra nuevo, se puede utilizar plástico PEHD producido de material reciclado o bien cubiertas de viveros desechadas. En ese caso hay que dar mucha atención a agujeros y daños que éstas puedan tener. Los agujeros se pueden soldar y se recomienda superponer dos capas, soldando los así los agujeros existentes.
6. El geotextil se puede reemplazar con helecho, pasto, o bien de tela plástica de algunos sacos en que vienen empacados materiales de construcción o granos alimenticios.
7. El plantar eucalipto alrededor del terreno de relleno sanitario, es una medida que serviría para absorber una cierta cantidad de aguas lixiviadas, además crece rápidamente y produce una madera apropiada para la construcción de chimeneas.

8. Se debe de tener sumo cuidado con el llenado y compactación de las llantas, tratando de llenar todos los vacíos que sean posibles; un buen llenado y compactado garantiza la estabilidad del muro de contención de neumáticos usados.
9. Es importante que no se mezcle el papel impreso (especialmente: papel de periódico) con los desechos compostables, por causa del alto contenido de metales pesados de las tintas de impresión. Además, estos papeles son reciclables y tienen un valor económico importante. En contra, se puede compostar el papel de higiénico que no es reciclable por causa de la contaminación fecal pero que no tiene alta contaminación con metales pesados.
10. No regar las pilas de compost con aguas lixiviadas, por su alta contaminación, ya que ponen en riesgo la higienización del producto final.
11. Al estar muy húmedo el material a compostar, se añadirá papel no reciclable (papel higiénico), desechos de jardines o desechos de carpintería.
12. Si no se consigue la tasa 25 unidades de carbono por 1 de nitrógeno recomendada de C/N de los desechos sólidos; se puede bajar la tasa C/N agregando a los desechos crudos lodos de tratamiento de las aguas servidas, heces fecales de la agricultura o de fosas sépticas; de la misma forma, se logra aumentar la tasa C/N adicionando materiales de base celulósica, como papel, desechos de la industria de madera etc.

13. De no ser 7 el pH de los desechos a compostar se puede añadir cal o químicos según las características de los desechos sólidos para lograr un valor cercano.
14. En las pilas de compostaje debe de mantenerse la temperatura entre 35 y 60°C para eliminar elementos patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas.
15. Los malos olores en una planta de compostaje se originan porque el material está mojado o compactado, la solución está en agregar materiales rústicos secos o más carbono. Cuando hace mucho calor, el oxígeno se consume más rápido y la pila se debe agitar o voltear con más frecuencia. Poner tierra sobre la pila contribuirá a absorber olores.
16. Realizar un plan de operación para el relleno sanitario y las plantas de compostaje; en que debe de plasmarse las responsabilidades y competencias; las horas de apertura del relleno sanitario, horario de descarga de los desechos sólidos, horario de consulta o visita, apertura de las plantas de compostaje; la definición de las instituciones y personas jurídicas que pueden disfrutar de los servicios del relleno sanitario, etc.
17. Con el fin de asegurar un manejo adecuado del relleno y brindar protección contra los trabajadores y el equipo que en el relleno se posea; se debe de tomar en cuenta que siempre se debe de indicar el lugar de descarga a los vehículos que ingresan. Los trabajadores del relleno deben vestirse con ropa adecuada de colores vivos, calzar botas y utilizar guantes.

18. Controlar el estado de las plantas sobre el cuerpo del relleno, en los taludes y alrededor, ya que las plantas son un buen indicador si hay fugas de gas. Como el metano tiene un impacto asfixiante sobre muchas plantas, tanto en la atmósfera como en el suelo, un sitio con considerable menor densidad de vegetación indica una fuga de gas.

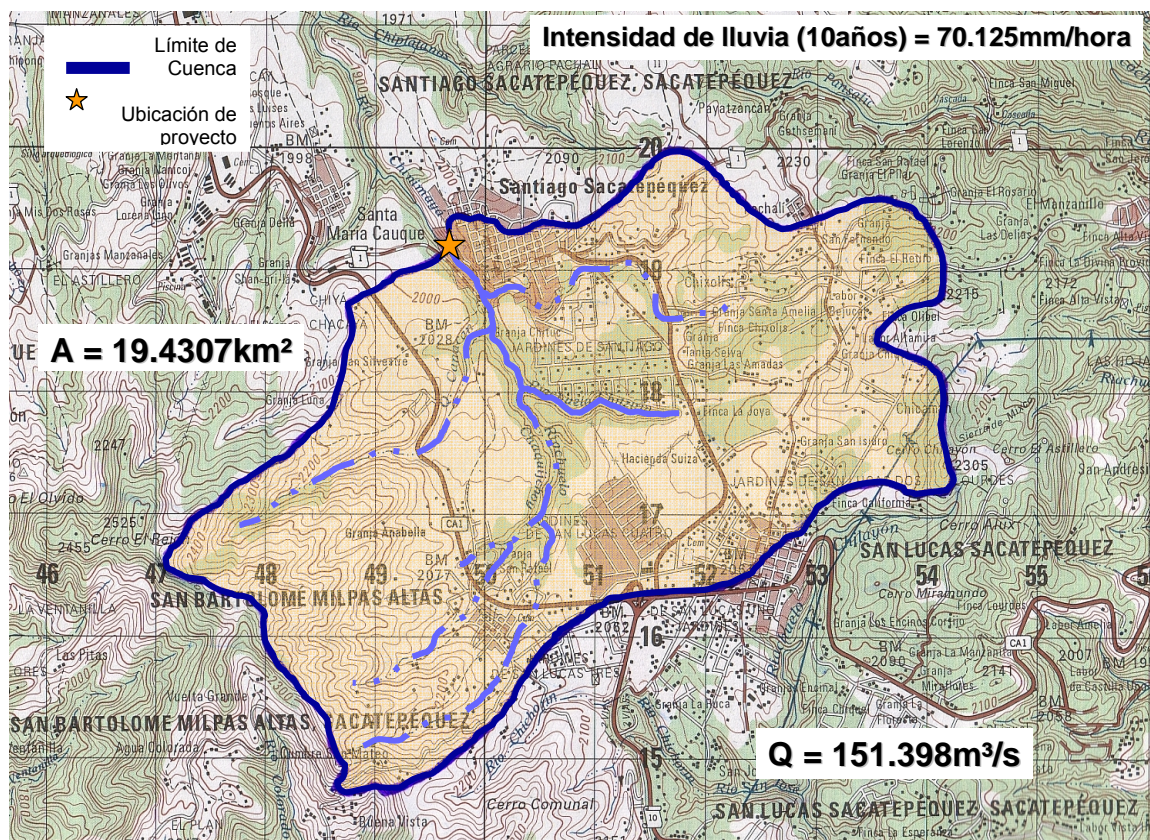
19. Se debe continuar con estudio de muros de contención utilizando neumáticos usados, tema que puede ser utilizado para la elaboración de una tesis, la cual sería un gran aporte para nuestro medio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alegre, Marco y otros. **Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales**. s.l.: CEPIS, HEP/OPS, AECl, 2000.
2. Aguilar Rivero, Margarita y Héctor Salas Vidal. **La basura; manual para el reciclamiento urbano**. México: Editorial Trillas, 1995.
3. Emberger, Jürgen y Günter Müller. **Technische Einrichtungen für Anlagen der biologischen Abfallbehandlung (Instalaciones técnicas para plantas de tratamiento biológico de desechos sólidos)**. Berlín, 1998.
4. Röben, Eva. **Guía para la selección del lugar y el diseño de plantas de compostaje**. Turquía: Proyecto del Banco Mundial para el fortalecimiento institucional del ministerio turco del medio ambiente, 1999.
5. Röben, Eva. **Proyecto de gerencia integral de los desechos sólidos**. Ecuador: DED/ Ilustre municipalidad de Loja, 2000.
6. Röben, Eva. **Manual para el diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales**. Ecuador: DED/ Ilustre municipalidad de Loja, 2002.

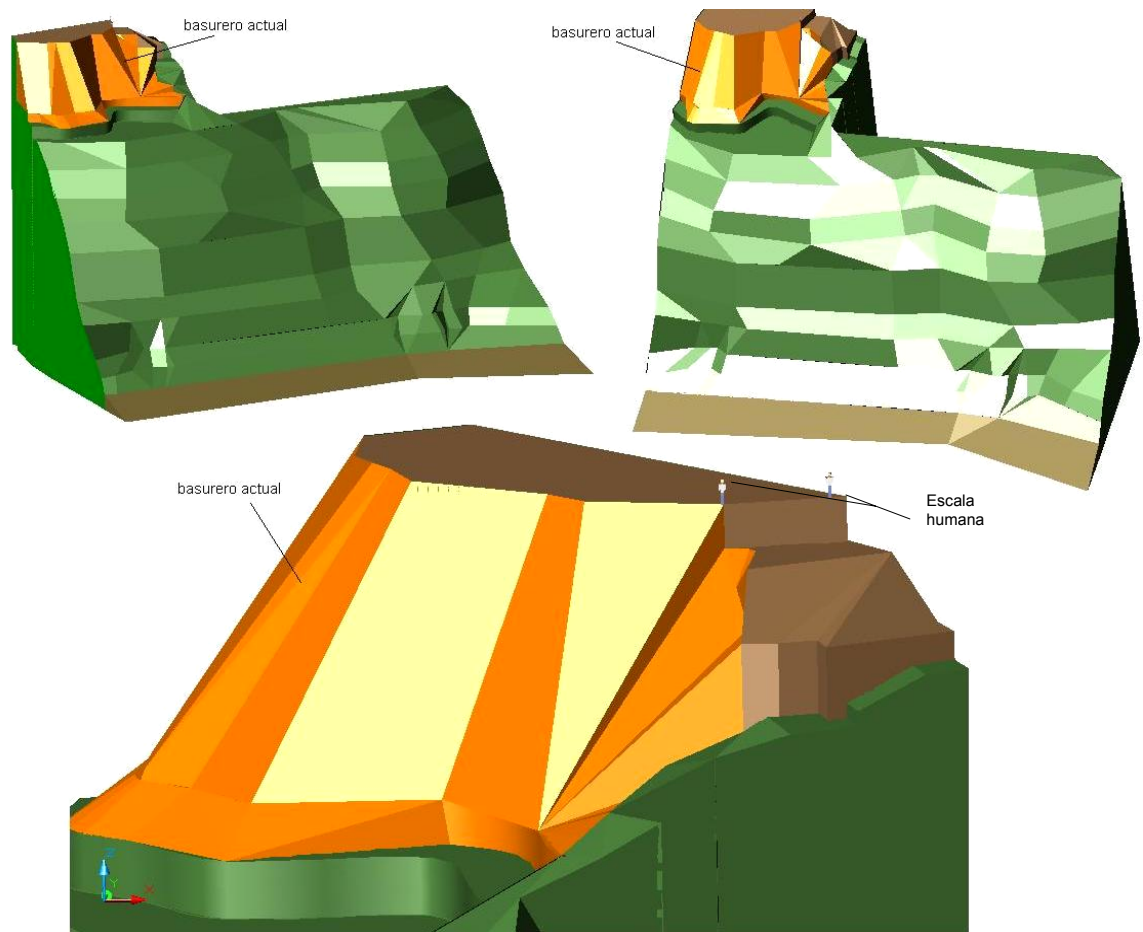
APÉNDICE 1

Figura 10. Cuenca aportante



APÉNDICE 2

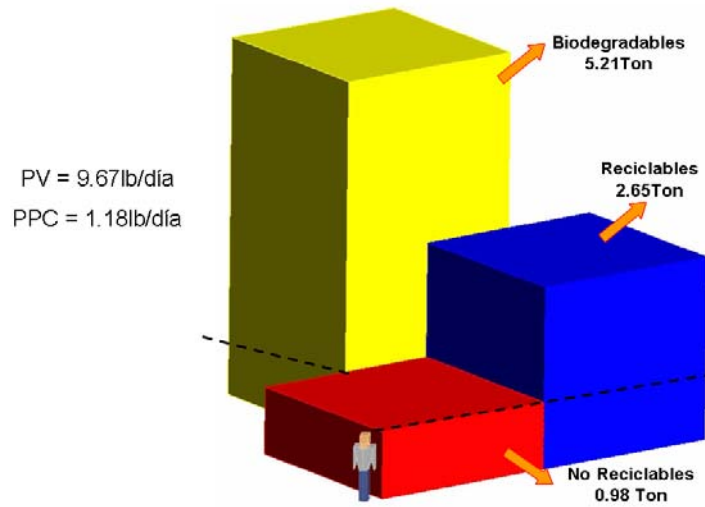
Figura 11. Modelo 3D de predio actual



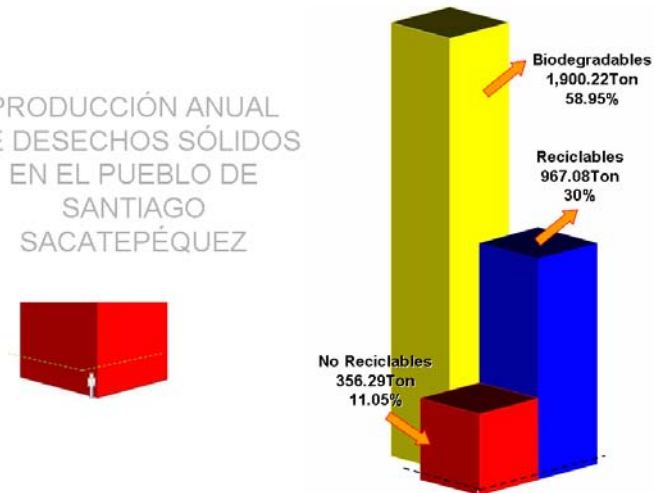
APÉNDICE 3

Figura 12. Comparación con escala humana de volúmenes producidos de desechos sólidos

PRODUCCIÓN DIARIA DE DESECHOS SÓLIDOS EN EL PUEBLO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ



PRODUCCIÓN ANUAL DE DESECHOS SÓLIDOS EN EL PUEBLO DE SANTIAGO SACATEPÉQUEZ

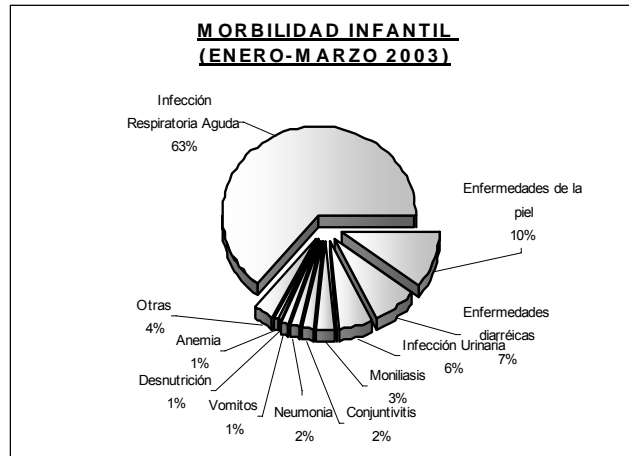


APÉNDICE 4

Figura 13. Morbilidad en el pueblo de Santiago Sacatepéquez

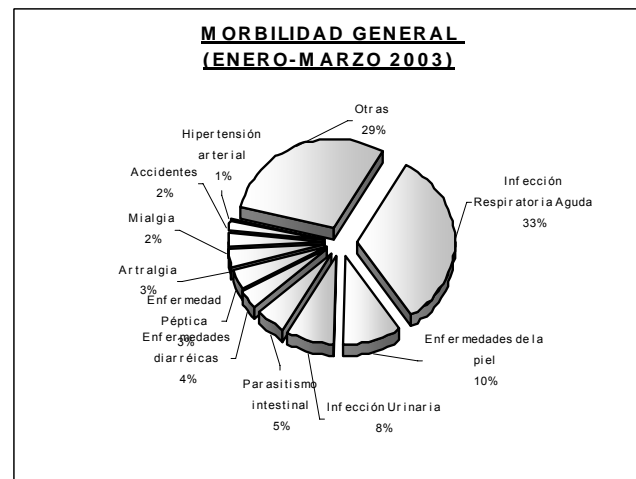
Morbilidad infantil
Centro de Salud Santiago Sacatepéquez
Enero - Marzo 2003

Morbilidad	No. Casos
Infección Respiratoria Aguda	122
Enfermedades de la piel	19
Enfermedades diarreicas	14
Infección Urinaria	11
Moniliasis	6
Conjuntivitis	4
Neumonía	3
Vómitos	2
Desnutrición	1
Anemia	1
Otras	7
Total	190



Morbilidad General
Centro de Salud Santiago Sacatepéquez
Enero - Marzo 2003

Morbilidad	No. Casos
Infección Respiratoria Aguda	375
Enfermedades de la piel	117
Infección Urinaria	93
Parasitismo intestinal	62
Enfermedades diarreicas	41
Enfermedad Péptica	39
Artralgia	39
Mialgia	29
Accidentes	22
Hipertensión arterial	8
Otras	343
Total	1168



APÉNDICE 5

RESULTADOS DE ENSAYOS
REALIZADOS A MURO DE CONTENCIÓN
UTILIZANDO NEUMÁTICOS USADOS

Figura 14. Resultados de ensayos, hoja 1/6



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



Guatemala, 29 de abril de 2004

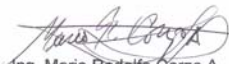
A quien corresponda:

De acuerdo a la solicitud realizada por el estudiante epesista Roberto Alejandro Hernández Hernández, de servicio de este laboratorio y realizar ensayos de funcionalidad estructural a muros de contención utilizando neumáticos usados para la estabilidad de taludes de relleno, por este medio, informo:

1. Se determinó que el muro de contención, puede soportar cargas de empuje de 200 PSI, no mostrándose desplazamiento horizontal alguno.
2. Al apilarse neumáticos y alcanzar una altura mayor a la ensayada, el desplazamiento vertical será despreciable.
3. Inicialmente se puede considerar como factor de trabajo un valor de 2 como máximo, es decir sólo se podrá utilizar el muro para soportar hasta 400 PSI, en donde se obtendría un desplazamiento de 0.5m.
4. En lo que concierne al relleno de los neumáticos, se debe de tener sumo cuidado a la hora de realizarse; se debe de compactar por capas tratando de llenar así la mayor cantidad de espacios vacíos.
5. Los neumáticos deben de colocarse de forma escalonada, dejando un espaciamiento de 0.15m de la orilla del neumático base a la orilla del neumático que se encuentra sobre éste.

Es importante dar seguimiento del estudio de muros de contención utilizando neumáticos usados, ya que representa un gran aporte científico aplicable en nuestro medio como una alternativa simple y que ayuda a su vez a darle utilidad a los neumáticos usados.

Atentamente,


Ing. Mario Rodolfo Corzo A.
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
CENTRO INVESTIGACIONES DE INGENIERIA




Figura 15. Resultados de ensayos, hoja 2/6



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



ENSAYOS EN MURO DE CONTENCIÓN CON NEUMÁTICOS USADOS

Se realizaron dos ensayos sobre un muro de contención construido utilizando neumáticos usados, apilándolos uno encima de otro.
Los neumáticos fueron rellenas con un material cuya densidad es de 1,323.70 Kg/m³, a continuación se le aplicó una fuerza con ayuda de un gato hidráulico a modo de simular la carga que el suelo pueda ocasionar en el muro.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS

El ensayo se efectuará en un lugar que cuente con un elemento lo suficientemente rígido para que resistiera la reacción contraria a la fuerza que se aplicó al muro de contención. La fuerza se aplicará por medio de un gato hidráulico teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El gato (25ton) se deberá colocar en una superficie horizontal y estable.
- El pistón del gato deberá encontrarse en forma perpendicular al área en que se aplicará la fuerza sobre el muro a ensayar.
- La forma de aplicar el bombeo, deberá ser en forma lenta y continua (aproximadamente 3 segundos)
- La fuerza será aplicada a cada 100 PSI.
- Las lecturas se deberán efectuar midiendo desplazamiento horizontal y vertical de cada unidad que conforma el muro (las lecturas se tomaran a cada 100 PSI aplicado).

DATOS DE ORIGEN

Peso específico del material: 1,323.70 Kg/m³
Diámetro de la llanta: 1.07 m
Peso de la llanta: 50.23 Kg.

ENSAYO No. 1

Para la construcción del muro, se apilaron 3 neumáticos uno encima de otro en forma escalonada dejando 0.15m entre el inicio de un neumático y de otro.

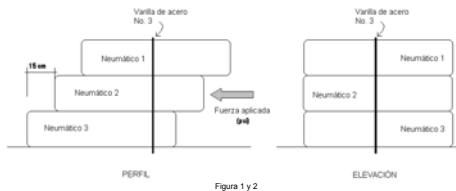


Figura 1 y 2

En las siguientes fotografías se puede observar el proceso constructivo utilizado en la elaboración del muro de contención utilizando neumáticos usados, el cual fue utilizado para la realización del ensayo 1.



Foto 1

Foto 2

- Foto 1. Recolectación, acarreo y medición de las propiedades del material a utilizar para rellenas los neumáticos a utilizar como muro de contención.
- Foto 2. Neumáticos "rin 20" utilizados para el muro de contención.
- Foto 3. Nivelación y limpieza del terreno.



Foto 3

Ing. Mario Rodolfo Corzo A.
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
CENTRO INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



FACULTAD DE INGENIERIA-USAC
Edificio 1-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
E-mail: ci@ing.usac.edu.gt

Figura 16. Resultados de ensayos, hoja 3/6



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



Foto 4



Foto 5

- Foto 4. Neumáticos listos para ser rellenos.
- Foto 5. Rellenado de neumáticos

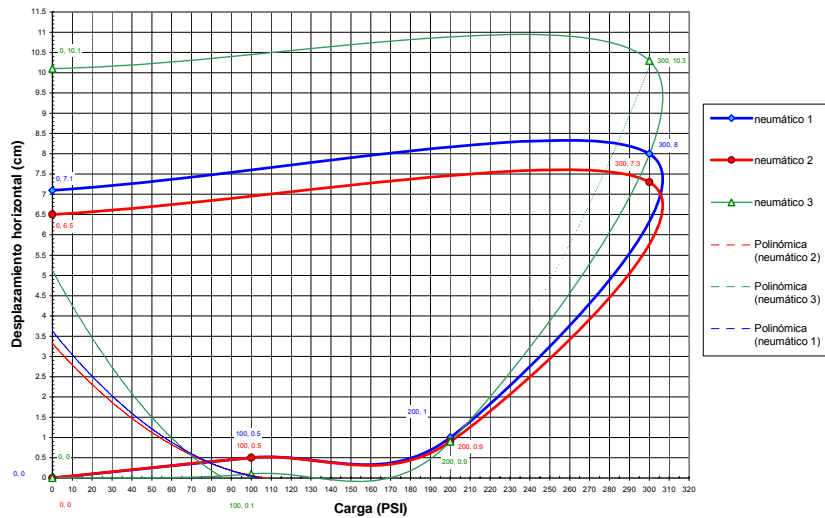
RESULTADOS OBTENIDOS

Elemento	Carga (psi)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Desplazamiento Vertical (cm)
Neumático 1	0	0	0
Neumático 2	0	0	0
Neumático 3	0	0	0
Neumático 1	100	0.5	0.5
Neumático 2	100	0.5	0.5
Neumático 3	100	0	0.5
Neumático 1	200	1	1
Neumático 2	200	0.9	1
Neumático 3	200	0.1	1
Neumático 1	300	10	3.5
Neumático 2	300	7.3	3.5
Neumático 3	300	10.3	3.5
Neumático 1	Descarga (10 min)	7.1	2.6
Neumático 2	Descarga (10 min)	6.5	2.6
Neumático 3	Descarga (10 min)	10.1	2.6

Tabla 1

Mario Rodolfo Corzo A.
Ing. Mario Rodolfo Corzo A.
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
CENTRO INVESTIGACIONES DE INGENIERIA

RESULTADOS ENSAYO 1 (desplazamiento horizontal)



FACULTAD DE INGENIERIA-USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992. Planta 443-9500 Ext. 1502. FAX: 476-3993
E-mail: ci@ing.usac.edu.gt

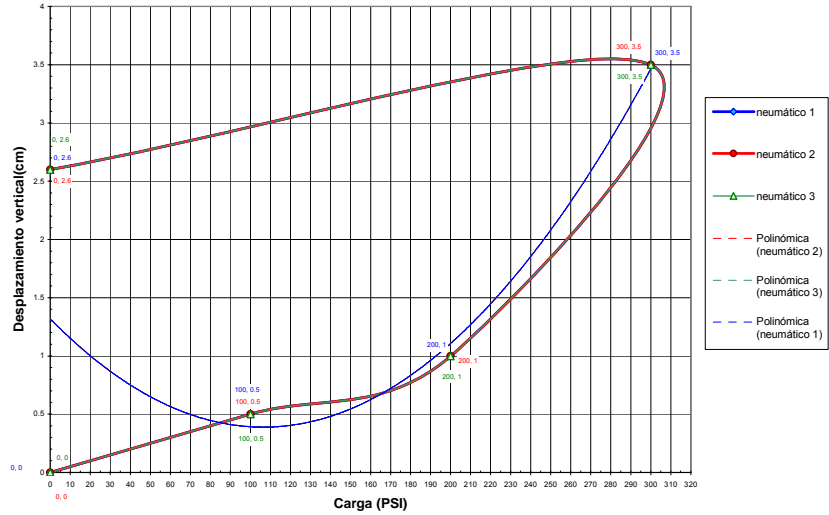
Figura 17. Resultados de ensayos, hoja 4/6



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

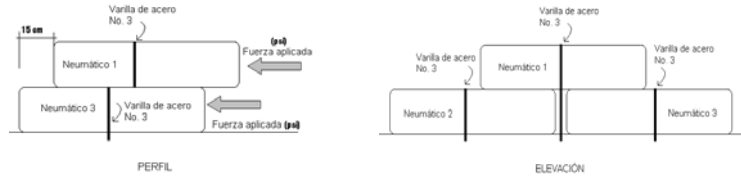


RESULTADOS ENSAYO 1 (desplazamiento vertical)



ENSAYO No. 2

Para la construcción del muro, se colocaron 2 neumáticos como base y sobre éstas se colocó un tercer neumático siempre dejando 0.15m entre el inicio de los dos neumáticos de base y el tercero.



Figuras 3 y 4

En las siguientes fotografías se puede observar el proceso constructivo utilizado en la elaboración del muro de contención utilizando neumáticos usados, el cual fue utilizado para la realización del ensayo 2.



Foto 6



Foto 7

- Foto 6. Vista general del área utilizada para la elaboración del muro de contención y realización del ensayo 2.
- Foto 7. Neumáticos utilizados como base para el tercer neumático que conformó el muro de contención.

Mario Rodolfo Corzo A.
Ing. Mario Rodolfo Corzo A.
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
CENTRO INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



Figura 18. Resultados de ensayos, hoja 5/6



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



Foto 8



Foto 9

- Foto 8 y 9. Neumáticos ya rellenos.



Foto 10



Foto 11

- Foto 10. Equipo de trabajo y muro de contención listo para aplicársele la carga.
- Foto 11. Aplicación de la carga por medio de un gato hidráulico.



Foto 12



Foto 13

- Foto 12 y 13. Forma en que se colocó el gato hidráulico para aplicar la fuerza perpendicular al sistema.

RESULTADOS OBTENIDOS

Elemento	Carga (psi)	Desplazamiento Horizontal (cm)	Desplazamiento Vertical (cm)
Neumático 1	0	0	0
Neumático 1	100	0	0.5
Neumático 1	200	0.3	1
Neumático 1	300	0.5	1.5
Neumático 1	400	0.6	2.5
Neumático 2	0	0	0
Neumático 2	100	0	0
Neumático 2	200	0	0.5
Neumático 2	300	0.4	0.5
Neumático 2	400	0.5	1
Neumático 2	500	0.5	1
Neumático 2	600	0.6	1
Neumático 3	0	0	0
Neumático 3	100	0	0
Neumático 3	200	0	0.5
Neumático 3	300	0.1	0.5
Neumático 3	400	0.4	1
Neumático 3	500	0.5	1
Neumático 3	600	0.5	1

Tabla 2


Ing. Mario Rodolfo Corzo A.
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
CENTRO INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



FACULTAD DE INGENIERIA-USAC
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 476-3992, Planta 443-8580 Ext. 1502. FAX: 476-3993
E-mail: ci@ing.usac.edu.gt

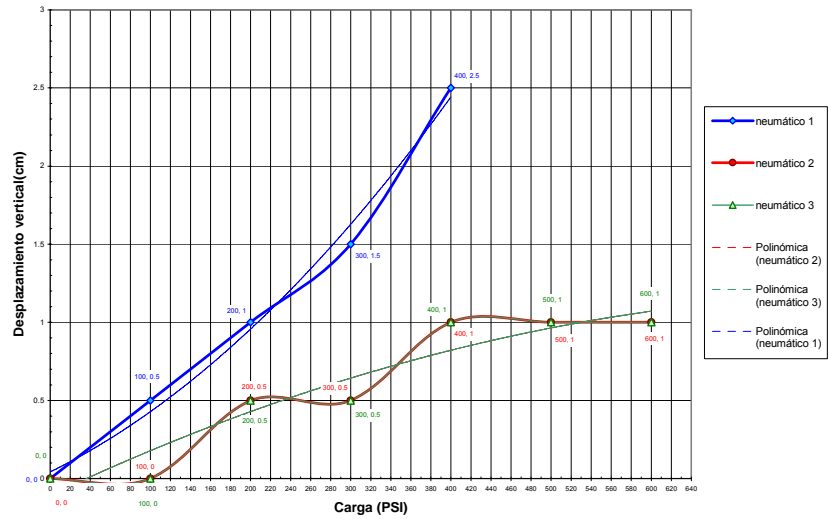
Figura 19. Resultados de ensayos, hoja 6/6



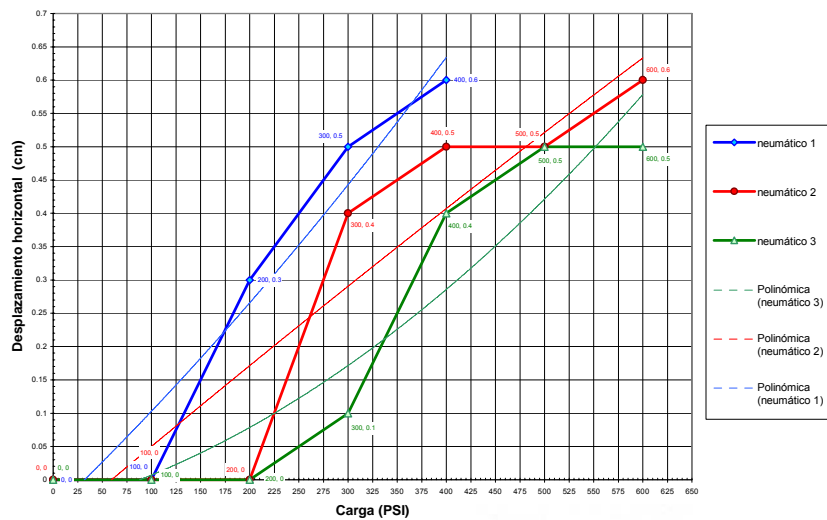
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



RESULTADOS ENSAYO 2 (desplazamiento vertical)



Resultados Ensayo 2 (desplazamiento horizontal)



Mario Rodolfo Corzo A.
Ing. Mario Rodolfo Corzo A.
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
CENTRO INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



APÉNDICE 6

PLANOS PRELIMINARES
DE PROPUESTA PLANTEADA

Figura 20. Plano de ubicación de proyecto a nivel pueblo

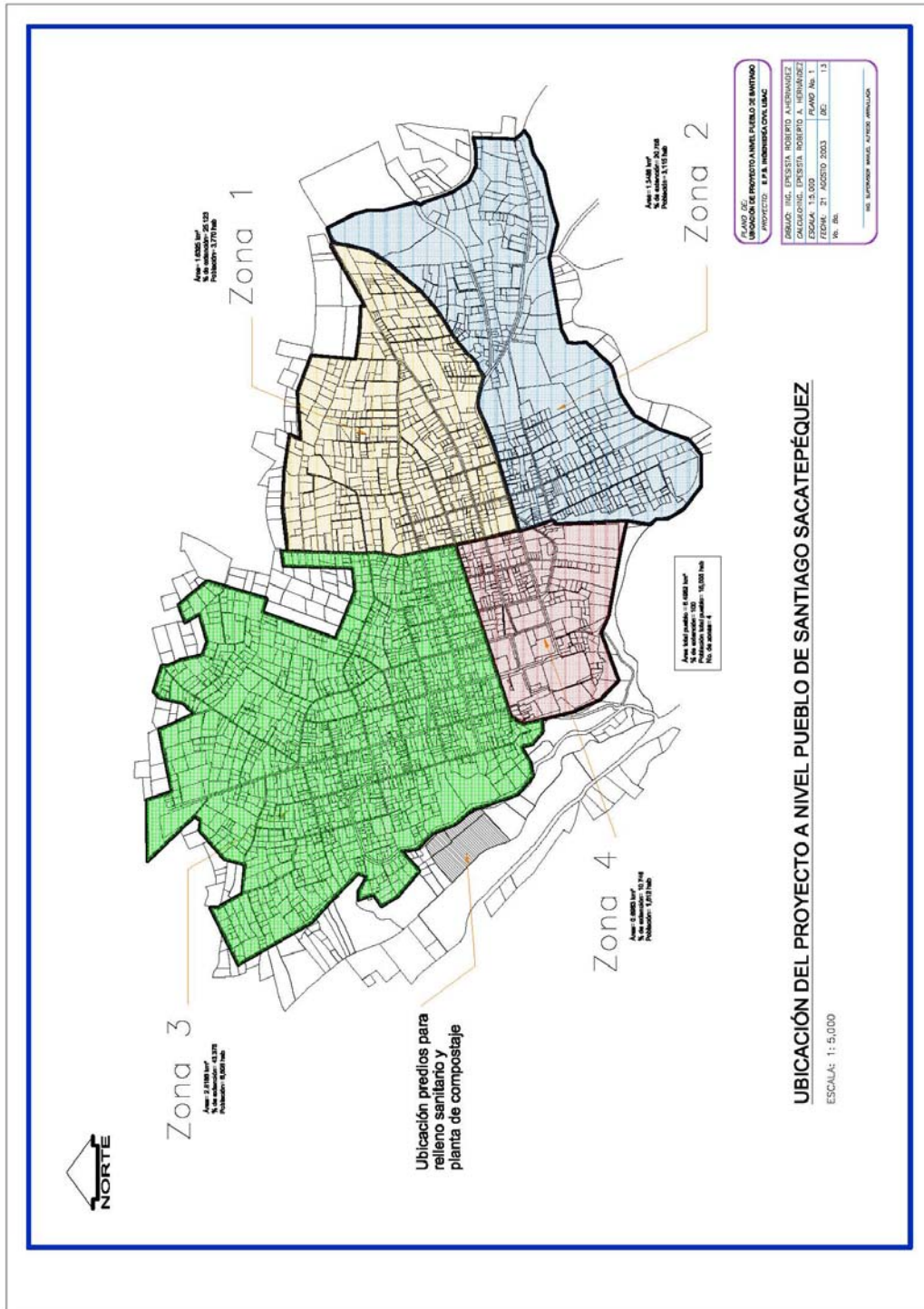


Figura 21. Plano de topografía

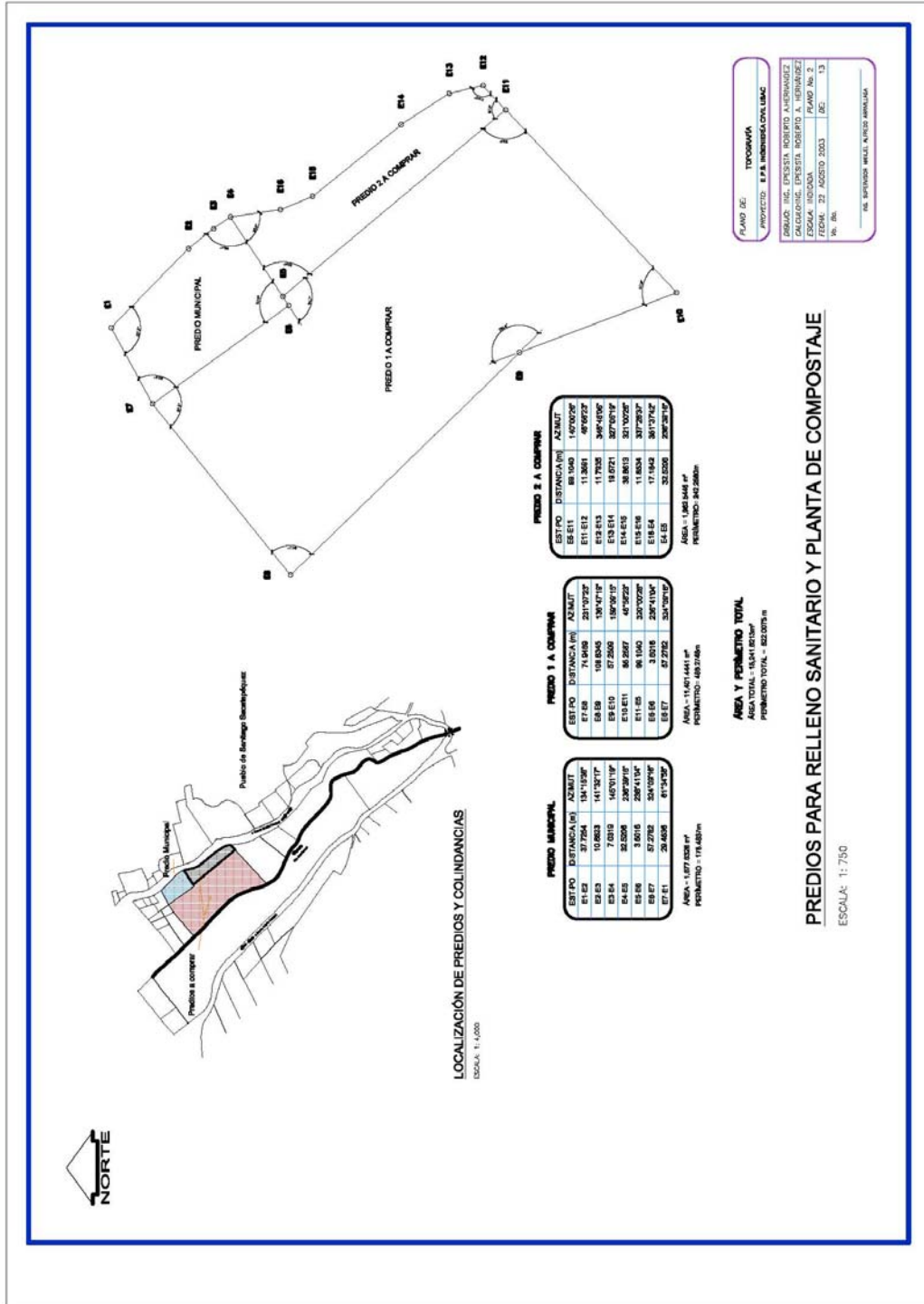


Figura 22. Plano de curvas de nivel

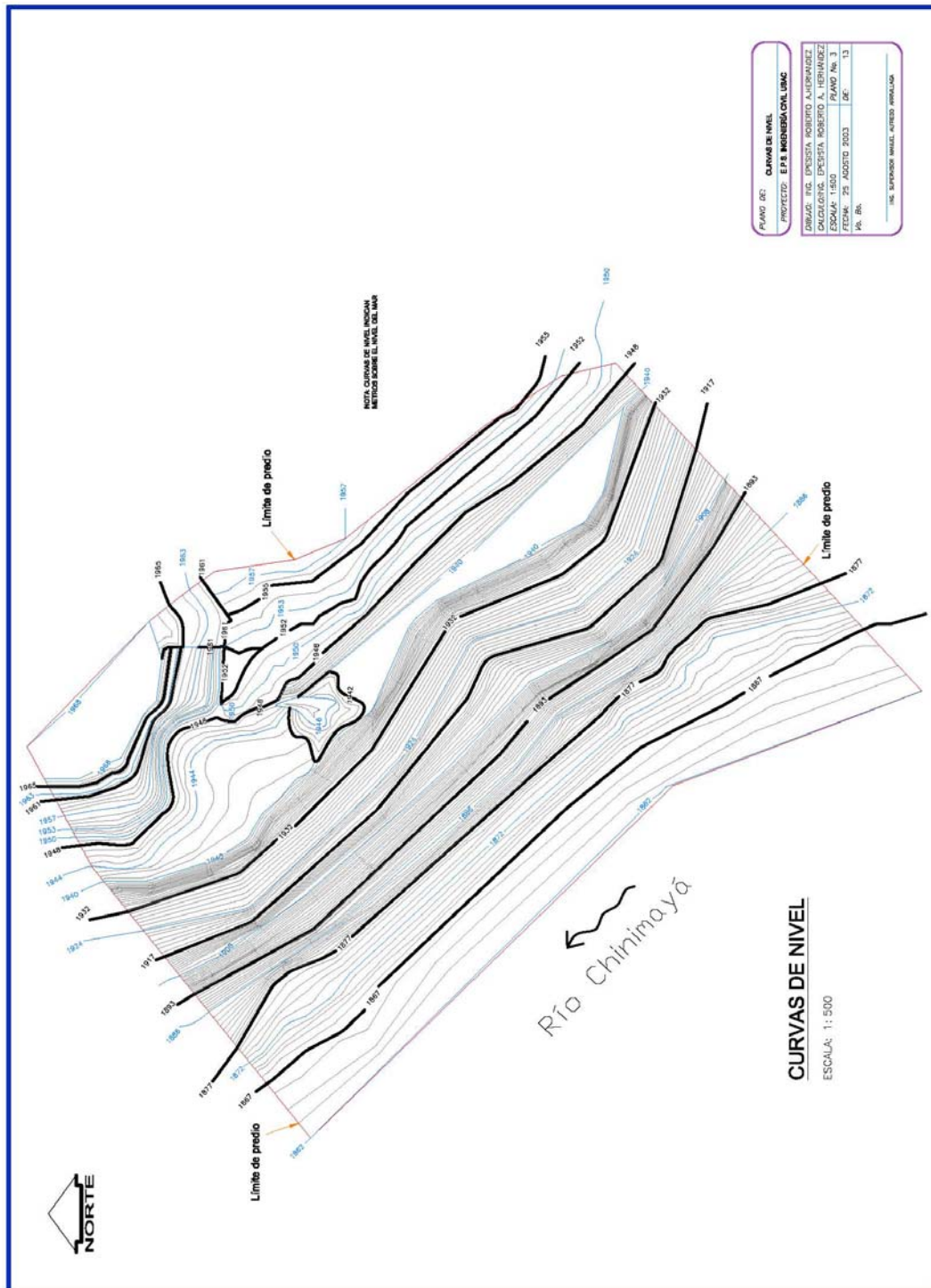


Figura 23. Plano de perfiles

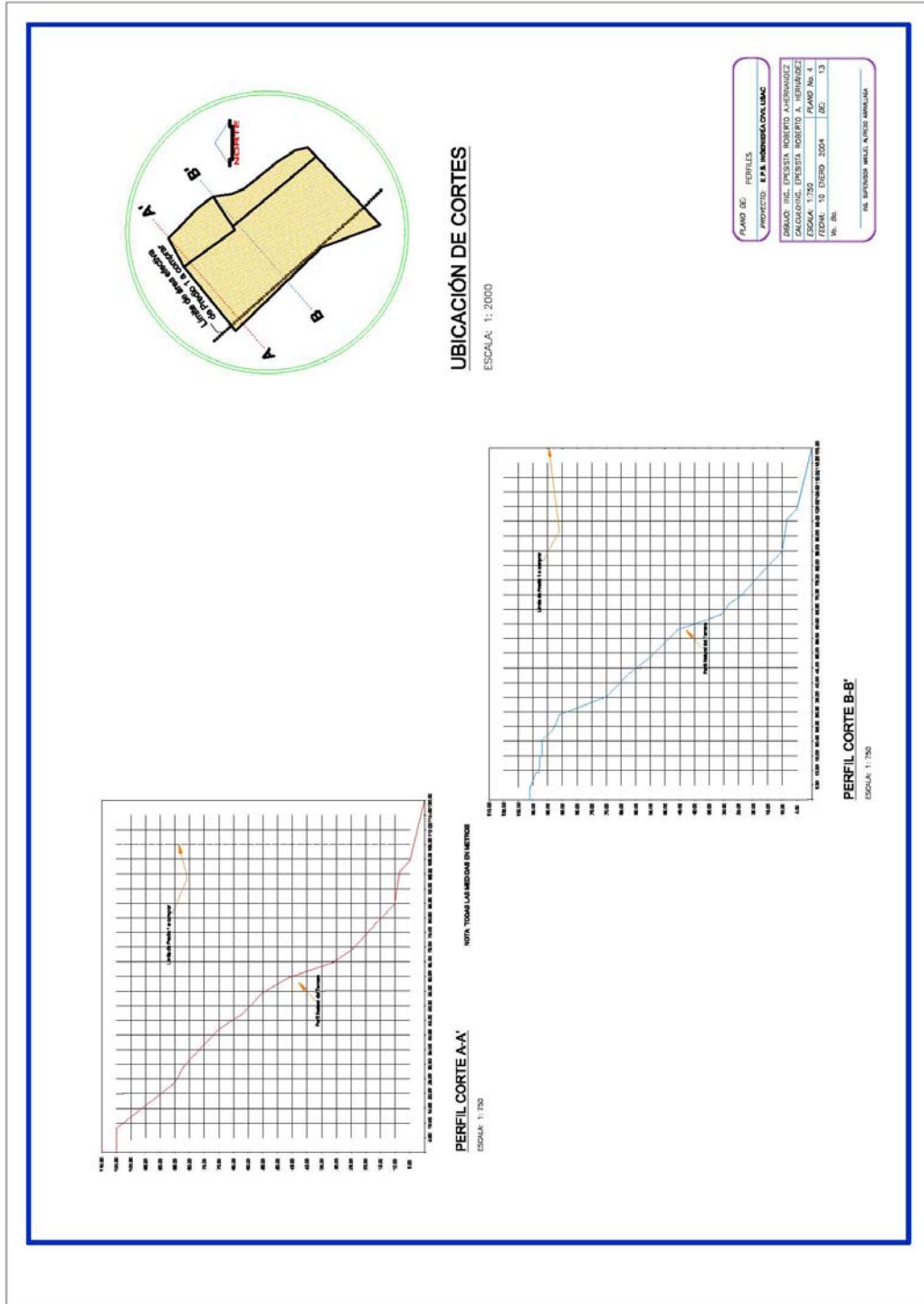


Figura 24. Plano de taludes

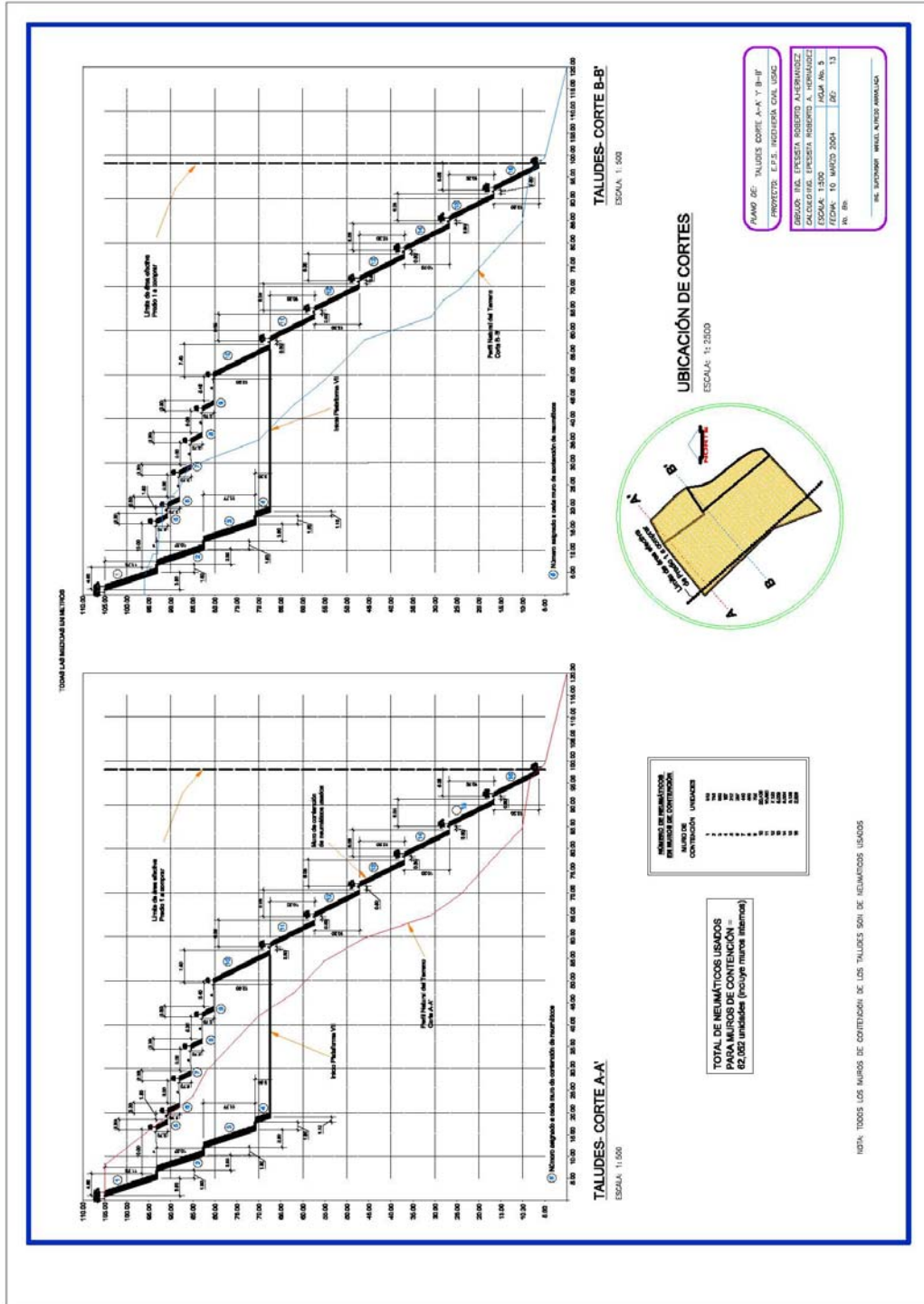


Figura 25. Plano de disposición de neumáticos para taludes

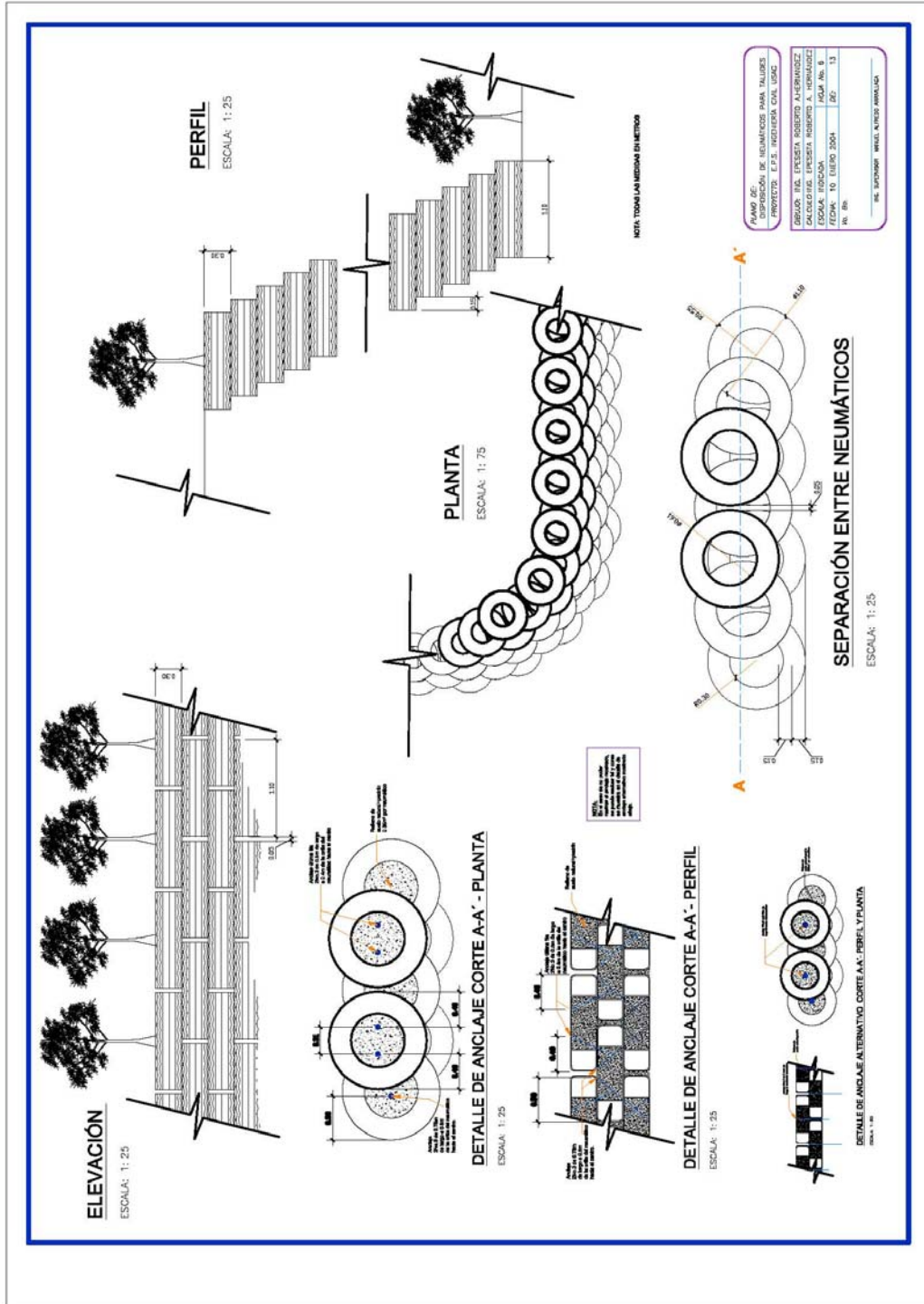


Figura 26. Plano de cortes

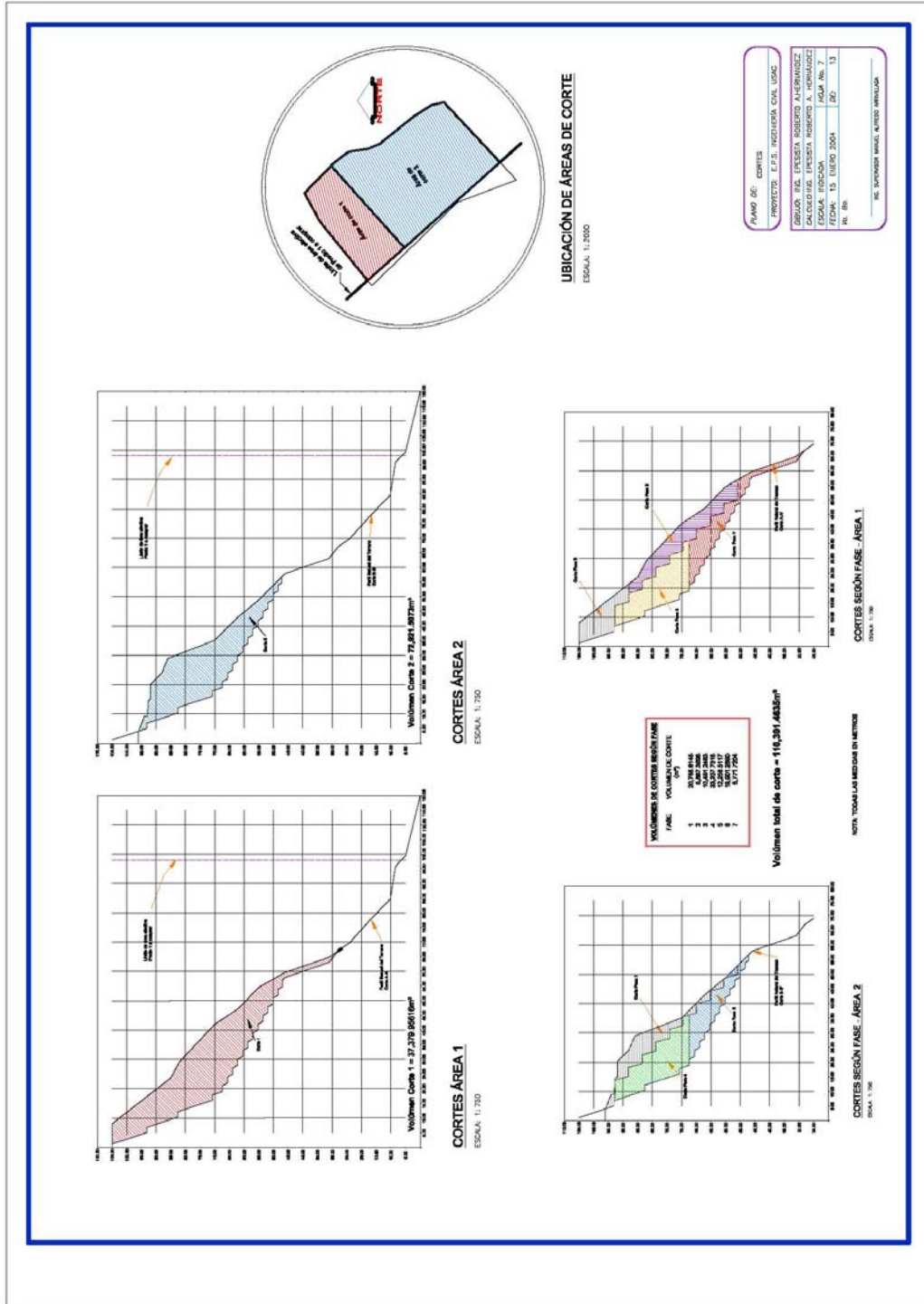


Figura 27. Plano de planta conjunto

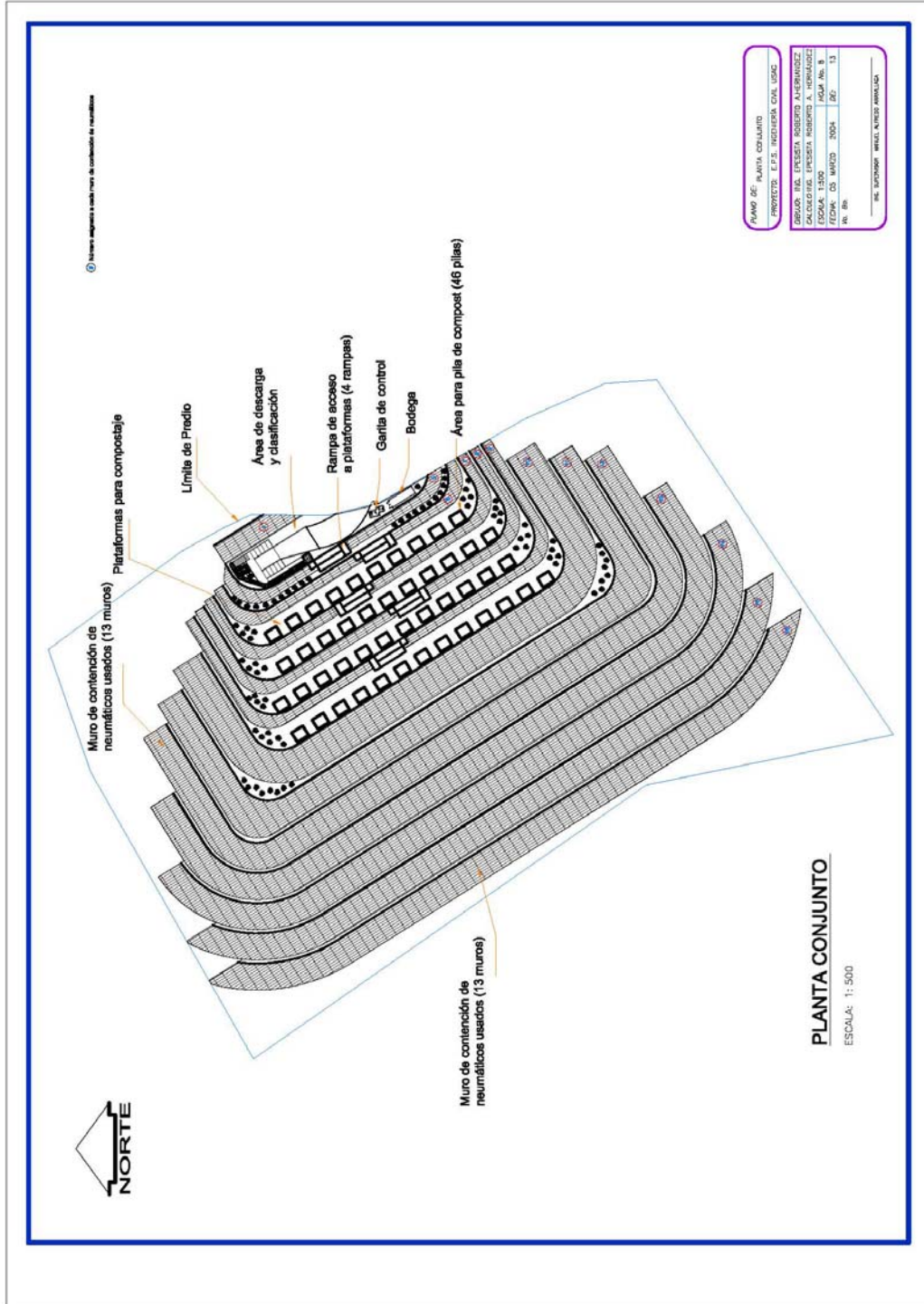


Figura 28. Plano de planta acotada

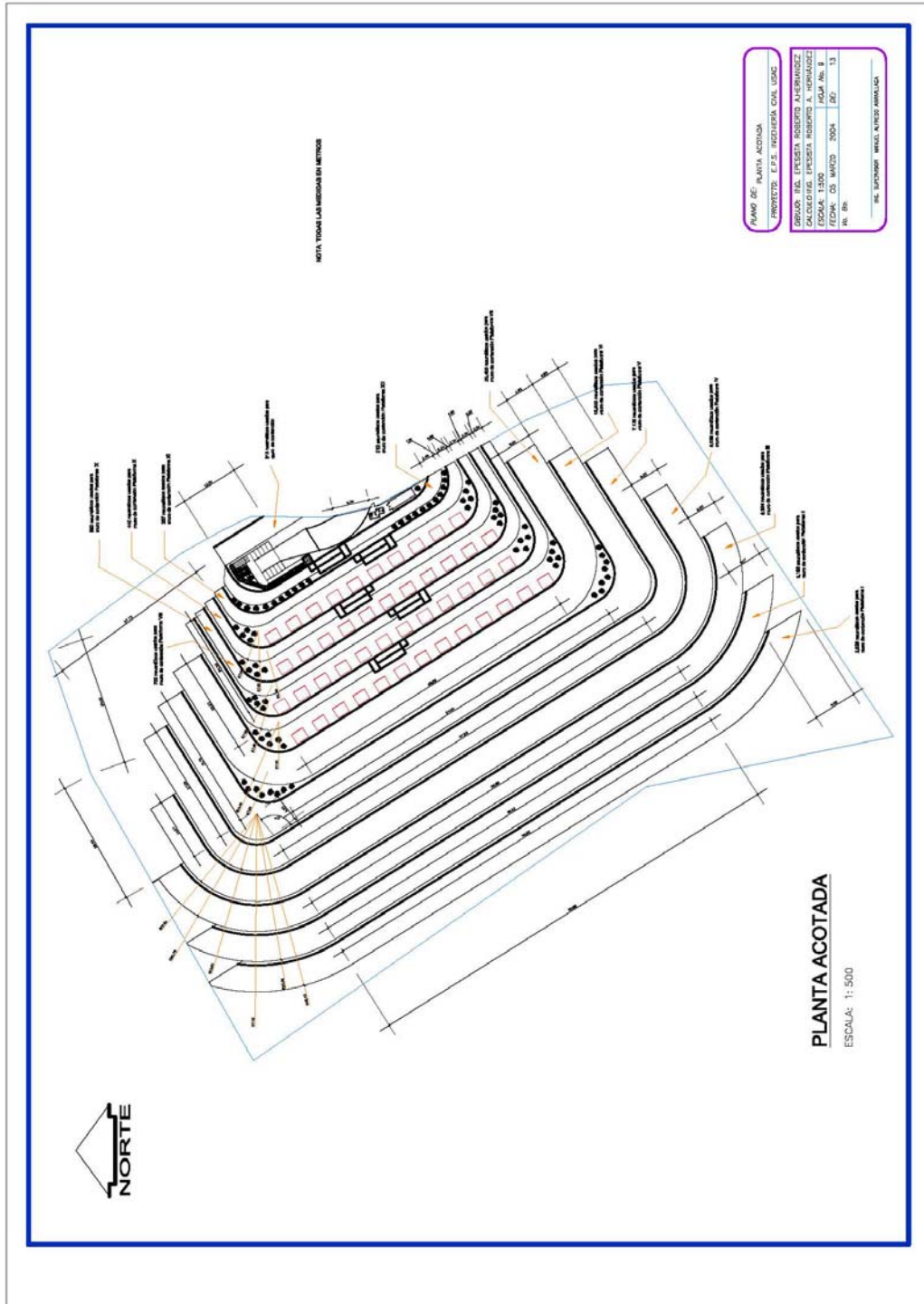


Figura 29. Plano de plataformas de relleno

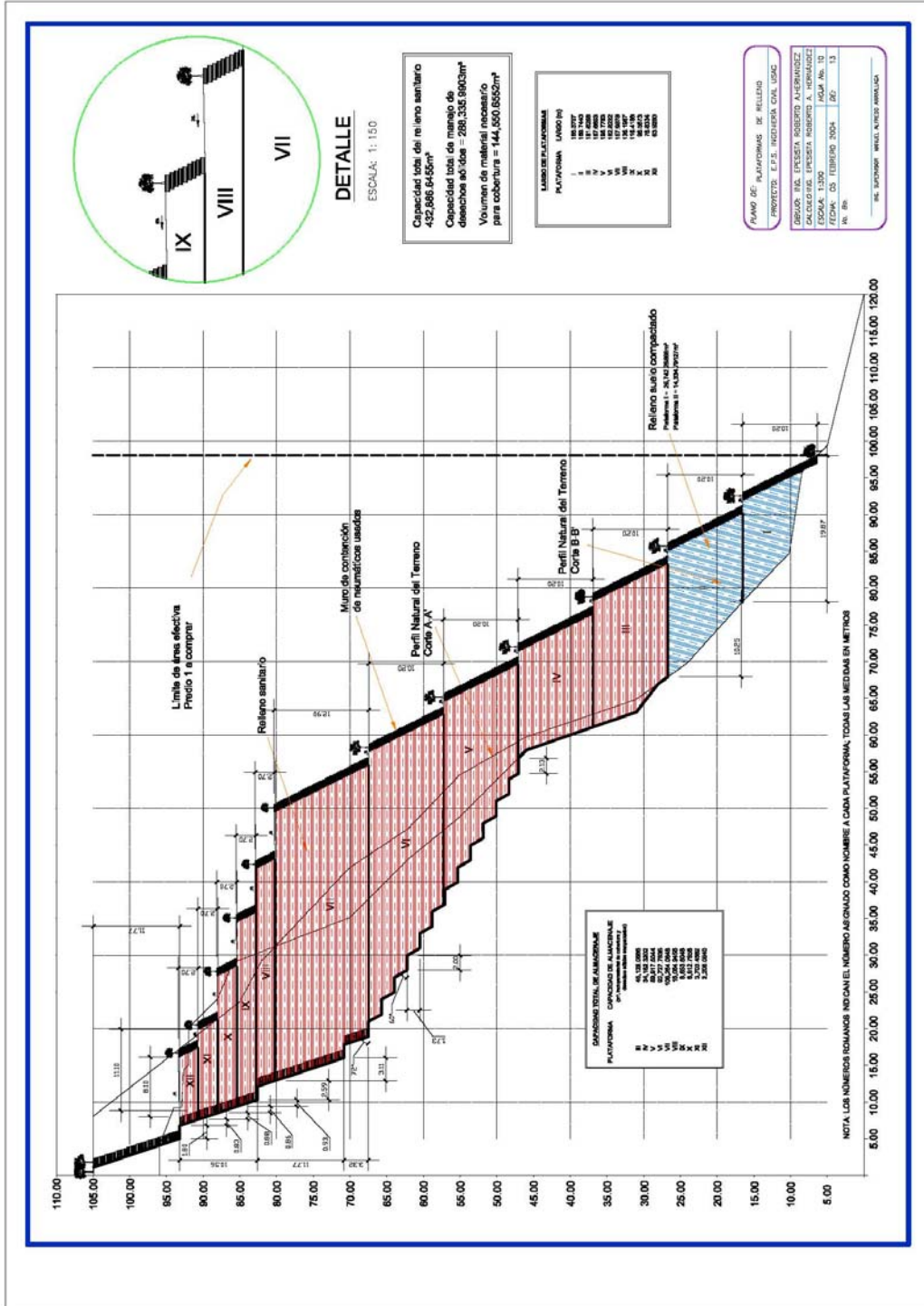


Figura 30. Plano de área de descarga y clasificación

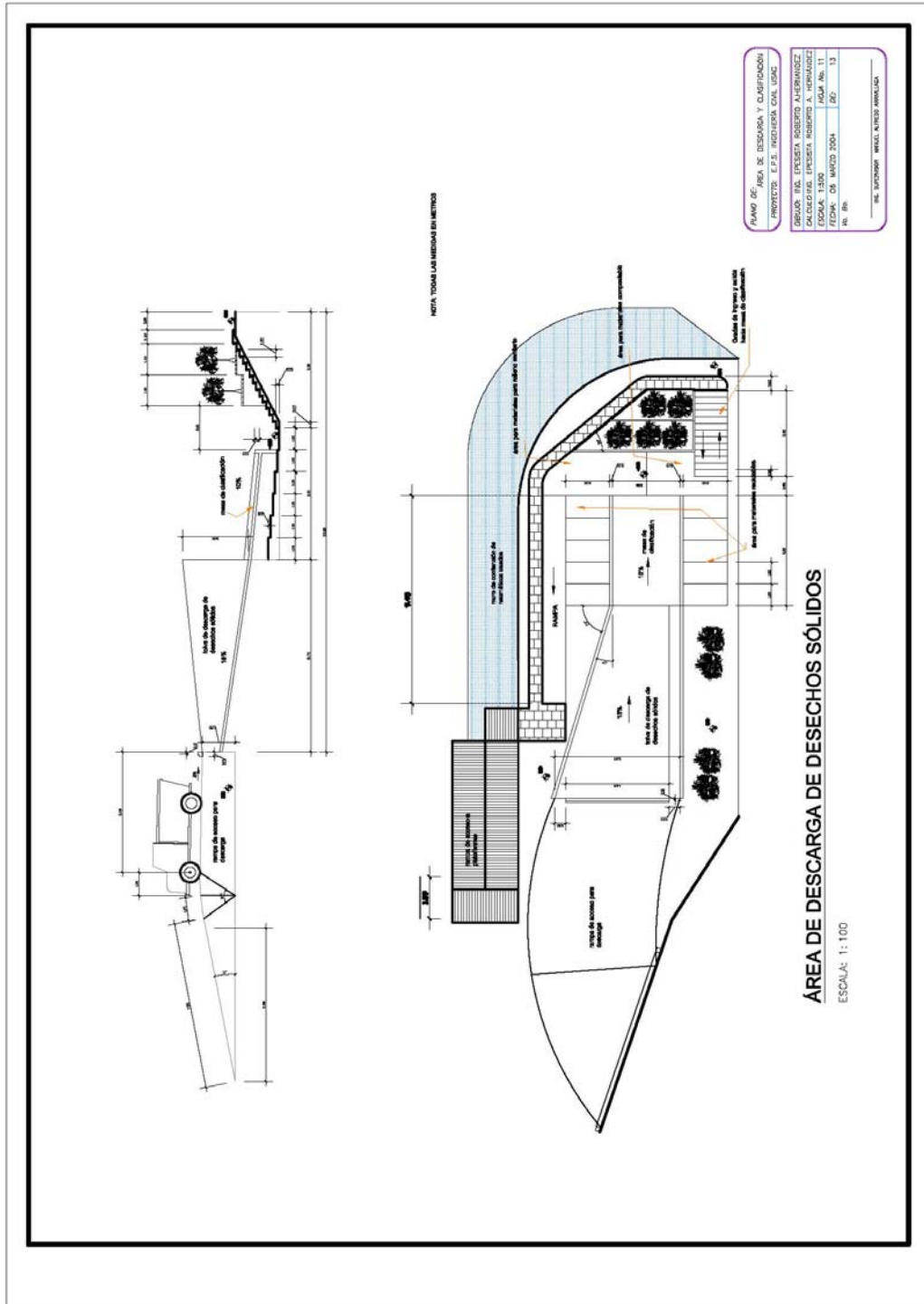


Figura 31. Plano de detalles

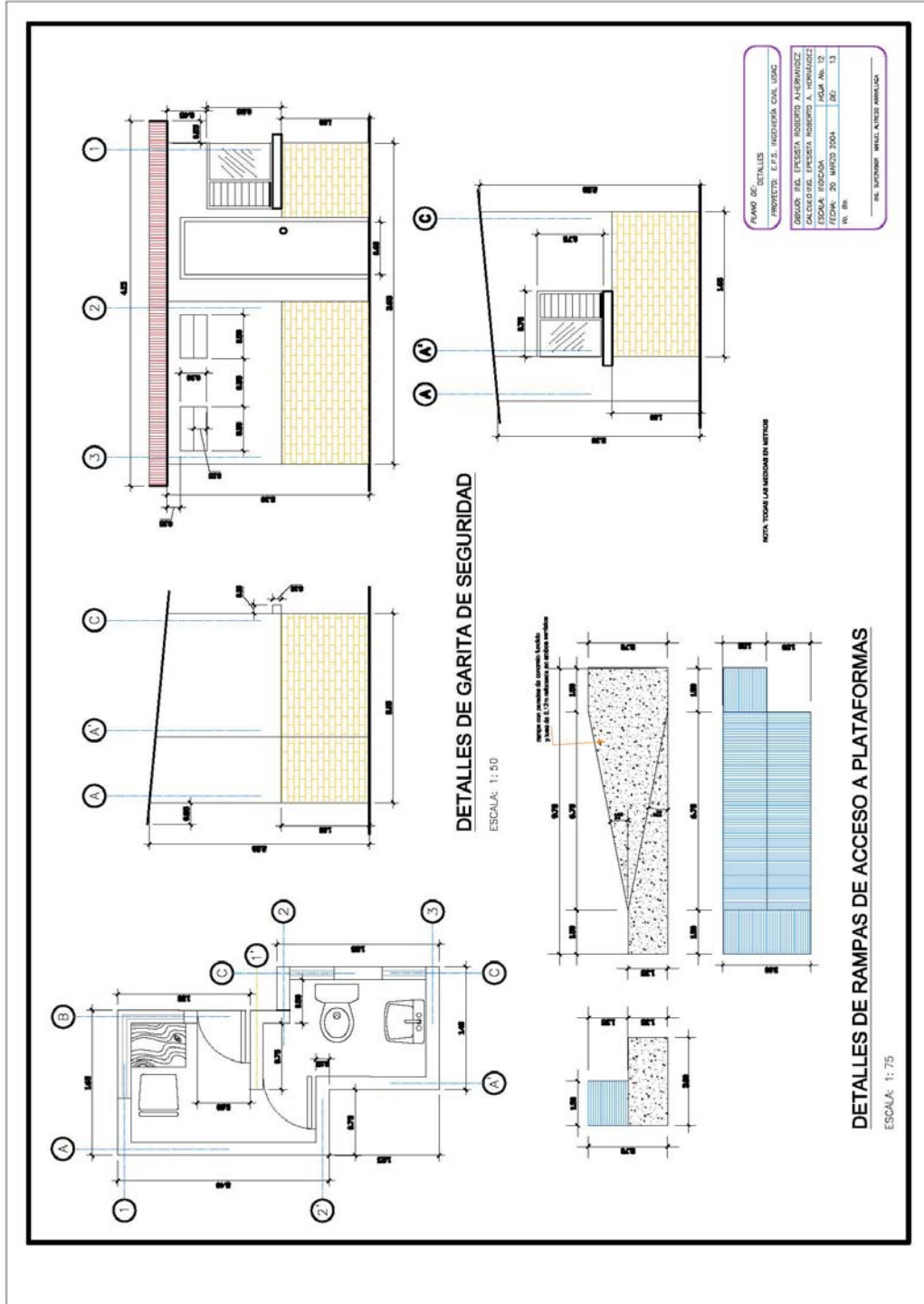


Figura 32. Plano de drenaje para lixiviados-planta

