

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

DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO EN EL VERTEDERO DEL MUNICIPIO DE TACTIC, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ

Virginia Elizabeth Richter Arís

Asesorado por el Ing. Silvio José Rodríguez Serrano

Guatemala, julio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO EN EL VERTEDERO DEL MUNICIPIO DE TACTIC, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA POR

VIRGINIA ELIZABETH RICHTER ARÍS

ASESORADO POR EL ING. SILVIO JOSÉ RODRÍGUEZ SERRANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos

VOCAL I Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno

VOCAL II Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

VOCAL III Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón

VOCAL IV Br. Juan Carlos Molina Jiménez

VOCAL V Br. Mario Maldonado Muralles

SECRETARIO Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO Ing. Roberto Mayorga Rouge

EXAMINADOR Ing. Juan Miguel Rubio Romero

EXAMINADOR Ing. Ricardo Augusto Ibarra Menéndez

EXAMINADOR Ing. Eduardo Asturias Arrivillaga

SECRETARIO Ing. René Andrino Guzmán

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO EN EL VERTEDERO DEL MUNICIPIO DE TACTIC, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 22 de noviembre de 2010.

Virginia Elizabeth Richter Aris

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 26 de octubre de 2011 REF.EPS.DOC.1404.10.11

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

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor–Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria Virginia Elizabeth Richter de Juárez de la Carrera de Ingeniería Civil, con carné No. 58651, procedí a revisar el informe final, cuyo título es "DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO EN EL VERTEDERO MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE TACTIC, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ".

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

"Id y Enseñad a Todos"

Atentamente,

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano Asesor-Silvervisor de EPS

rea de Ingeniería Civil

ASESOR (A) - SUPERVISOR (A) DE EPS Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

Facultad de Ingeniería

c.c. Archivo SJRS/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 21 de febrero de 2012 Ref.EPS.D.191.02.12

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

Estimado Ingeniero Montenegro Franco.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO EN EL VERTEDERO MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE TACTIC, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ" que fue desarrollado por la estudiante universitaria Virginia Elizabeth Richter de Juárez, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ing. Silvio José Rodríguez Serrano.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

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

NISZ/ra



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



Guatemala, 1 de febrero de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO EN EL VERTEDERO DEL MUNICIPIO DE TACTIC, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Virginia Elizabeth Richter Arís, quien contó con la asesoría del Ing. Silvio José Rodríguez Serrano.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Rafael Enrique Morales Ochowie

Revisor por el Departamento de Hidráulica

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO

DE DRAULICA

HIDRAULICA USAC

/bbdeb.





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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Silvio José Rodríguez Serrano y de la Coordinadora de E.P.S. Inga. Norma Ileana Sarmientos Zeceña, al trabajo de graduación del estudiante Virginia Elizabeth Richter Arís de Juárez, titulado DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO EN EL VERTEDERO MUNICIPAL DEL MUNICIPIO DE TACTIC, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, julio 2012

/bbdeb.



Universidad de San Carlos de Guatemala



DTG. 317.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO EN EL VERTEDERO DEL MUNICIPIO DE TACTIC, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ, presentado por la estudiante universitaria Virginia Elizabeth Richter Arís, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Ompo Paiz Recinos

ecano

Guatemala, 10 de julio de 2012

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios Nuestro creador por quién tenemos la vida y la

oportunidad de amar a los demás.

Mi papá Dr. Federico Richter porque él ha sido un

profesional ejemplar quién siempre ha querido que

sus hijos lo sean también.

Mi mamá Rosa Elizabeth Arís Zea a quién me ha amado, me

ama y me ha apoyado durante toda la vida.

Mis hermanos Carolina y Federico, con quienes siempre hemos

sido buenos amigos.

Mis amigos Especialmente a Lucrecia Rivas por su apoyo y

cariño, a Aleida Pèrez y a Eugenia Palencia por

quienes siempre guardo mucho cariño.

Mi esposo e hijas Eldín Juárez, María Mercedez, Ana Belén; a

quienes amo y están conmigo para compartir en

todo tiempo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios Por su misericordia y fidelidad en mi vida y la de

mi familia.

Mi familia Por su compañía y amor constante.

Mi papá Por su amor, firmeza y apoyo incondicional

Mi mamá Por su amor, sus oraciones y apoyo

Ing. Silvio Rodríguez Por su dirección, asesoría, paciencia y bondad.

Ing. Alfredo Arrivillaga Por su apoyo.

Beatriz Baños de Beber Por su capacidad y por ser la secretaria más

atenta y amable que conozco en la Facultad de

Ingeniería.

La Universidad de San

Carlos de Guatemala

Por ser la casa de estudios que me brindó

enseñanza y formación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDI	CE DE I	LUSTRA	CIONES	VII
LIST	A DE SÍ	MBOLOS	S	IX
GLO	SARIO.			XI
RES	UMEN			XV
OBJ	ETIVOS			XVII
INTF	RODUC	CIÓN		XIX
1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE TACTIC,			
	DEPA	RTAMEN	ITO DE ALTA VERAPAZ	1
	1.1.	Monog	rafía del lugar	1
	1.2.	Caracte	erísticas geográficas	1
		1.2.1.	Ubicación geográfica y colindancias	1
		1.2.2.	Localización	2
		1.2.3.	Vías de acceso	3
		1.2.4.	Clima	3
		1.2.5.	Topografía	3
	1.3.	Caracte	erísticas económicas	3
		1.3.1.	Actividad agrícola	4
		1.3.2.	Actividad ganadera	4
		1.3.3.	Actividad artesanal	4
	1.4.	Caracte	erísticas socioculturales	5
		1.4.1.	Población actual	5
		1.4.2.	División política	6
		1.4.3.	Servicios básicos existentes	6
	1.5.	Servicio	os públicos	6

		1.5.1. Educación	.6
		1.5.2. Vías de acceso	.7
		1.5.3. Salud	.7
		1.5.4. Agua potable y drenajes	.7
		1.5.5. Energía eléctrica	.8
		1.5.6. Telecomunicaciones	.8
2.	PREL	-IMINARES	. 9
	2.1.	Descripción del proyecto	.9
	2.2.	Estudio de necesidades1	10
	2.3.	Aspectos sanitarios de los residuos sólidos1	11
3.	PRIN	CIPIOS Y DEFINICIONES GENERALES RELACIONADAS	
	CON	UN RELLENO SANITARIO1	15
	3.1.	Definición de relleno sanitario1	15
	3.2.	Reacciones producidas en un relleno sanitario1	15
	3.3.	Producción de gases1	17
	3.4.	Producción de lixiviado1	18
	3.5.	Producción de polvo1	19
	3.6.	Capa base impermeable del fondo del relleno sanitario1	19
	3.7.	Capa de plástico y geotextil2	20
	3.8.	Capa de piedra bola o grava2	21
	3.9.	Tubería de drenaje2	21
4.	PRIN	CIPIOS Y DEFINICIONES RELACIONADOS CON EL	
	COM	POSTAJE2	23
	4.1.	Definición de compostaje2	23
	4.2.	Descripción general del proceso de compostaje aerobio2	23
	4.3	Etapas del compostaje aerobio	24

		4.3.1.	Etapa de latencia	. 25	
		4.3.2.	Etapa mesotérmica 1 (10-40 °C)	. 25	
		4.3.3.	Etapa termófila (40-75 °C)	. 26	
		4.3.4.	Etapa mesotérmica 2	. 26	
	4.4.	Caracte	rísticas de los residuos a compostar	. 27	
		4.4.1.	Relación carbono- nitrógeno (C/N)	. 27	
		4.4.2.	Estructura y tamaño de los residuos	. 28	
		4.4.3.	Estructura y tamaño de los residuos	. 29	
		4.4.4.	EI pH	. 29	
		4.4.5.	La aireación	. 30	
		4.4.6.	La temperatura	. 30	
5.	ANÁLI	SIS DE D	ESECHOS SÓLIDOS	. 31	
	5.1.	Densida	d de los desechos sólidos	. 31	
	5.2.	Número	de muestras	. 32	
	5.3.	Prueba	de densidad	. 33	
	5.4.	Produco	ión de vivienda por día (PV)	. 34	
	5.5.	Método	del cuarteo	. 37	
	5.6.	Prueba	de composición física	. 38	
6.	PROPI	UESTA [DE SOLUCIÓN PARA LA DISPOSICIÓN FINAL Y		
	TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS 4				
	6.1.	Relleno	sanitario	. 41	
		6.1.1.	Zona de entrada y de salida	. 41	
		6.1.2.	Área de Descargue	. 41	
		6.1.3.	Celda Diaria	. 42	
		6.1.4.	Basura	. 44	
		6.1.5.	Capacidad y vida útil del relleno sanitario	. 44	
		6.1.6.	Impermeabilización del fondo del relleno sanitario	45	

		6.1.7.	Drenaje de gases	47
		6.1.8.	Manejo de lixiviados	48
	6.2.	Planta	de compostaje	48
		6.2.1.	Descarga de los desechos	48
		6.2.2.	Separación	49
		6.2.3.	Compostaje en pilas	49
		6.2.4.	Movimiento, mezcla y revuelta	51
		6.2.5.	Aireación	51
		6.2.6.	Riego	51
		6.2.7.	Clasificación del producto	52
7.	COST	OS APRO	OXIMADOS DE INVERSIÓN	53
8.	IMPAC	CTO AME	BIENTAL INICIAL	61
	8.1.	Biogás		61
	8.2.	Malos o	plores	62
	8.3.	Daños	a la vegetación	62
	8.4.	Contar	ninación atmosférica	62
	8.5.	Efecto i	nvernadero	63
	8.6.	Contar	ninación de aguas superficiales y subterráneas	63
	8.7.	Contar	ninación auditiva	64
	8.8.	Plagas		64
9.	GUÍA	PRELIM	IINAR PARA LA OPERACIÓN DEL RELLENO	
	SANIT	ARIO		65
	9.1.	Recurs	os humanos	65
	9.2.	Maquin	aria	66
	9.3.	Herram	ientas	67
	9.4.	Plan de	operación	67

CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Localización del municipio de Tactic, departamento de Alta Verapaz	2
2.	Sistema de colocación de tubos	.22
3.	Método del cuarteo	. 37
	TABLAS	
l.	Propiedades de calidad para un suelo impermeable	.20
II.	Alteración de la densidad de los desechos sólidos	.32
III.	Valores de desviación estándar según el número de viviendas	.32
IV.	Distribución de muestras según el número de hogares por zona	.33
V.	Masa y volumen de la muestra de desechos sólidos	. 34
VI.	Masa y volumen de la muestra de desechos sólidos	. 34
VII.	Resultado de muestras, determinación de PPC Y PPV	. 35
VIII.	Producción de desechos por masa en el municipio de Tactic,	
	Alta Verapaz	.36
IX.	Producción de desechos sólidos por volumen en el municipio de	
	Tactic, Alta Verapaz	.36
X.	Composición física de desechos sólidos	.39
XI.	Especificaciones técnicas para geomembranas	.46
XII.	Fracciones de compost según su diámetro y composición	.52
XIII.	Resumen de costos aproximados	.53
XIV.	. Costos de equipo de funcionamiento	.54
XV.	Costos levantamiento topográfico	.55

XVI.	Costos limpieza y chapeo	55
XVII.	Costos corte con maquinaria	55
XVIII.	Costos de relleno compactado	55
XIX.	Costos retiro de material sobrante	56
XX.	Costos base y drenaje	56
XXI.	Costos base y drenaje	57
XXII.	Costos canal de aguas y escorrentía	57
XXIII.	Costos de chimenea	58
XXIV.	Costos administración	58
XXV.	Costos operación v mantenimiento	59

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo Significado

°C Grados Celsius

Kg Kilogramos

kg/m³ Kilogramos por metro cúbico

Ib/m³ Libras por cada metro cúbico

M Metros

m² Metros cuadrados

m³ Metros cúbicos

m³/s Metros cúbicos por cada segundo

m/s Metros por cada segundo

Mm Milímetros

PP Producción de desechos sólidos del pueblo

PPC Producción per cápita anual

PV Producción por vivienda anual

C/N Relación carbono nitrógeno

Ton Tonelada

ton/m³ Tonelada por cada metro cúbico

GLOSARIO

Actividad Metabólica Está relacionada con las transformaciones de las

sustancias que son absorbidas por un organismo

vivo.

Aerobio Organismos que necesitan de un ambiente con

oxígeno para poder desarrollar su metabolismo.

Anaerobio Es aquel microorganismo que no necesita de un

ambiente con oxígeno libre para desarrollar su

metabolismo.

Biodegradación Destrucción de un producto, una vez desechado es

destruido por bacterias, microorganismos u otros

agentes biológicos.

Celda Lugar donde se colocan los desechos sólidos del

día.

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.

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.

Disolución

Compuesto que resulta de disolver una sustancia en un líquido.

Disposición final

Proceso de aislar y depositar los residuos sólidos en forma definitiva. disponiéndolos en lugares diseñados especialmente para recibirlos ٧ obviando eliminarlos. su contaminación у favoreciendo la transformación biológica de los modo que materiales biodegradables, de 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 de gases.

Gas de relleno

Es el gas que se produce en un relleno sanitario como producto de la degradación biológica de los desechos orgánicos.

Lixiviado

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.

Oxidación

Se aplica a toda reacción química que implica una disminución de electrones, aunque el agente causante no sea el oxígeno.

рΗ

Escala que determina el nivel de acidez o de alcalinidad de una sustancia.

Pila

Conjunto de materia colocada sobre otra formando un rimero o cúmulo.

Relleno sanitario

Área técnicamente diseñada 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.

RESUMEN

El presente informe final de EPS, presenta una propuesta para el problema desechos sólidos que se presenta en el municipio de Tactic, departamento de Alta Verapaz, ya que desde muchos años este problema se encuentra latente.

La propuesta consiste en la construcción de un relleno sanitario por medio de plataformas y una planta de compostaje de residuos sólidos, esto debido a la necesidad que tiene la población del municipio de Tactic, ya que el vertedero actualmente se encuentra dentro del área urbana.

Entre los problemas que conlleva la ubicación del vertedero dentro del casco urbano se pueden mencionar los problemas de salud en las vías respiratorias para los vecinos del área donde se encuentra ubicado ya que regularmente se producen incendios, también se puede mencionar la contaminación del agua, esto debido a la infiltración de los lixiviados provenientes de dichos residuos, ya que el río Cahaboncito se encuentra a escasos metros en la parte baja del relleno, también se producen otros problemas ambientales como la emanación de malos olores o gases producidos por el vertedero, también un impacto visual negativo, ya que el paisaje característico del municipio se ve grandemente afectado por los promontorios de basura.

El presente informe se desarrolla en nueve capítulos, en los que se abordan los temas de manera sencilla y puntual con la finalidad que cualquier lector pueda entenderlos.

OBJETIVOS

General

Generar una propuesta que le sea de utilidad a las autoridades de municipio de Tactic, con ello poder desarrollar un proyecto prioritario que en la medida de lo posible sirva para erradicar el problema de la basura y brindar a la población una mejor calidad de vida.

Específicos

- Proponer la adecuada disposición final de los desechos sólidos y plantear el diseño de un relleno sanitario adecuado al municipio de Tactic.
- Aportar un documento que sirva de consulta en el que se abordan temas relacionados con la disposición final de desechos sólidos y el compostaje como posible alternativa.
- 3. Erradicar en la manera de lo posible los problemas que se presentan en el municipio, como lo son la proliferación de plagas y vectores portadores de muchas enfermedades que pueden llegar a afectar la salud de la población en general.

INTRODUCCIÓN

La basura es un subproducto de todas las actividades del hombre, esta es parte importante en la vida cotidiana y se produce continuamente, por ejemplo en el trabajo, en la elaboración de la comida, en la industria, etc., en esta época moderna se produce mucha basura, tanto que en la era de los "desechables": vasos, platos, cubiertos, empaques, cajas, frascos, envases de refrescos, etc. En relación al manejo de la basura se presentan tres situaciones muy claras, las cuales son la recolección, el barrido de áreas públicas y la disposición final.

Existe la necesidad de manejar de una manera correcta los desechos sólidos para cuidar del medio ambiente y de la sociedad, esto se logrará a través de la implementación de un relleno sanitario y una planta donde se llevará a cabo el proceso de compostaje para un mejor aprovechamiento de los residuos sólidos que se vierten en el municipio de Tactic.

Este proceso de compostaje se trata sobre la descomposición microbiológica en condiciones controladas de temperatura y exposición al aire de los desechos orgánicos, esto permite la reducción de los mismos y la obtención de un producto beneficioso, la mayoría de los desechos orgánicos tienen capacidad de descomponerse, por lo que es un proceso muy importante para aprovechar los residuos sólidos vertidos.

Se debe tener en cuenta también que no todos los residuos sólidos son orgánicos y su descomposición puede tardarse muchos años, por lo que se

debe tener en consideración su manejo adecuado para no contaminar el ambiente.

1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO DE TACTIC, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ

1.1. Monografía del lugar

El municipio de Tactic, Alta Verapaz fue fundado el 2 de julio de 1545 y recibió el nombre de Santa María Tactic durante la época colonial. La economía se sustentaba en la agricultura, industria de lácteos, minas de oro, plata, zinc, plomo e industrias de calzado.

1.2. Características geográficas

Las características geográficas son las siguientes:

1.2.1. Ubicación geográfica y colindancias

Se encuentra localizado a 184 km de la ciudad capital y a 28 km de la ciudad de Cobán; cabecera del departamento.

Las colindancias del municipio son:

Al norte, el municipio de Cobán; al sur, el municipio de San Miguel Chicaj, Baja Verapaz y Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz; al este, el municipio de Tamahú, Alta Verapaz y al oeste el municipio de Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz.

1.2.2. Localización

En el siguiente mapa se localiza el municipio de Tactic, en el departamento de Alta Verapaz.

Aldea Sessial

Aldea Campur Roccolar Coban

Cristóbal
Verapaz

San Juan
Cristóbal
Verapaz

San Juan
Cristóbal
Verapaz

San Juan
Chamelco
Coban
C

Figura 1. Localización del municipio de Tactic, departamento de Alta Verapaz

Fuente: sitio web Capture Guatemala. Consulta: marzo 2011.

1.2.3. Vías de acceso

El municipio de Tactic se encuentra a una distancia de 184 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala; 28 kilómetros de la ciudad de Cobán, cabecera departamental de Alta Verapaz.

1.2.4. Clima

El clima va de templado a frio, con temperatura media anual de 20°C. Marzo y abril son los meses más calurosos. La temperatura mínima es de 13°C y la máxima de 24°C.

1.2.5. Topografía

Al menos el 70% del área del municipio tiene topografía irregular, con ligera planicie de 30%, es catalogado como un valle, ya que constituye una planicie en la parte central rodeada por una cadena de montañas.

La altura a la que se encuentra el municipio es de 1465.92 metros sobre el nivel del mar.

1.3. Características económicas

Las características económicas importantes son las siguientes:

1.3.1. Actividad agrícola

En la región se cultiva fríjol, maíz, caña de azúcar, tomate, papa, aguacate, pacaya, zanahoria, remolacha, rábano, coliflor, acelga, lechuga, arveja, haba. Repollo, ejote y brócoli se cultivan en escala que cubre gran parte de la demanda nacional. Se cultivan también frutas de buena calidad como naranjas, limas, limones, mandarinas, duraznos, peras, granada, granadillas, guineo de diferentes variedades, etc. Entre las especies silvestres se encuentran nísperos, guayabas, injertos, matasanos, manzana-rosas y cujes.

Es importante hacer destacar que Tactic, en la última década se ha convertido en uno de los municipios más productivos a nivel nacional en el cultivo de papa y tomate, así mismo el chile pimiento, fríjol y brócoli. Se cuenta con la presencia de agricultores originarios de Palencia, quienes han venido a hacer cambios en las prácticas de agrícolas de los productores del municipio.

1.3.2. Actividad ganadera

Aquí se encuentra una empresa procesadora de Lácteos VERALAC. Anualmente hay comercio de ganado durante la feria.

1.3.3. Actividad artesanal

La elaboración del güipil es una tradición para las indígenas poqomchi´es. Se dedican a tejer en sus momentos libres. También elaboran canastos, petates, acapetates, escobas, suyates, lazos, redes, sombreros de palma, platería y bordado a mano. La Orfebrería del municipio es muy apreciada.

1.4. Características socioculturales

Es importante conocer las siguientes características socioculturales:

1.4.1. Población actual

Según el censo de población y habitación del INE del 2000, el municipio de Tactic, se compone de una población censada de 24,535 habitantes, descompuestos en la forma siguiente: Hombres: 11,852; Mujeres: 12,683, haciendo un total de familias, concentradas en 5,437 viviendas, en un área de 8.5 kilómetros cuadrados, que componen el municipio, de cuya población un 87% es de raza indígena y un 13% de raza no indígena o mestiza; el analfabetismo en el municipio, alcanza una cifra del 33% en niños de 7 años en adelante.

Actualmente en el municipio de Tactic existen 3 grupos étnicos, así: El grupo Achí es el más pequeño y está situado en la comunidad Chacalté al sur del municipio, los habitantes o integrantes del grupo, son descendientes de familias del municipio de Rabinal del departamento de Baja Verapaz y por razones internas desde hace mucho tiempo emigraron de su lugar de origen, habiéndose situado en terrenos tactiquenses, ocupando actualmente ese sector.

El otro grupo indígena es el q'eqchi', localizado en las comunidades El Manantial y La Cumbre, es el grupo intermedio en cuanto a número, tiene características propias, pero mantiene algunas relaciones con los demás grupos del municipio.

El grupo mayoritario es el poqomchi´, que ocupa el resto de las comunidades del municipio, asimismo de la cabecera municipal de Tactic. En todo caso las interelaciones se dan en los tres grupos.

1.4.2. División política

El municipio de Alta Verapaz, cuenta con 17 municipios y su cabecera departamental es Cobán, su fiesta patronal es el 4 de agosto, en honor a Santo Domingo de Guzmán. El departamento fue fundado en 1543.

1.4.3. Servicios básicos existentes

Entre los servicios básicos existentes se encuentran el servicio de agua potable, alumbrado público, servicio de telefonía fija en los hogares, etc., estos servicios se describen de una mejor manera a continuación.

1.5. Servicios públicos

Los principales son los siguientes:

1.5.1. Educación

Actualmente en el municipio de Tactic existen diversos establecimientos tanto privados como públicos en los cuales se imparte educación a nivel primario, secundaria, así como una escuela nocturna para adultos, en el área rural se han implementado escuelas de autogestión debido a la necesidad que ha tenido la población del área.

1.5.2. Vías de acceso

El municipio de Tactic se encuentra a una distancia de 184 kilómetros de ciudad capital de Guatemala, y a 28 kilómetros de la ciudad de Cobán, estas dos vías principales de acceso cuentan con carretera asfaltada. Según la Dirección municipal de planificación las calles y carreteras del municipio son de 55% terracería, 25% asfaltada, y un 20% de vereda.

1.5.3. Salud

En la actualidad, en el municipio se encuentra un centro de salud, el cual se busca fortalecer por parte de las autoridades para transformarlo en hospital regional, lo que permitirá atender las necesidades de la población de Tactic, región del Polochic, Baja Verapaz, y los municipios vecinos de Santa Cruz Verapaz y San Cristóbal Verapaz.

1.5.4. Agua potable y drenajes

Actualmente la villa cuenta con un sistema de agua potable al cual un 86.64% de la población tiene acceso, por lo que un 13.36% no cuenta con el servicio.

En cuanto al sistema de drenajes se refiere se presentan deficiencias, ya que la gran mayoría de los hogares no cuentan con este servicio, por tal motivo las aguas negras corren sobre la tierra o van conectadas por tuberías directamente a ríos o riachuelos, generando focos de contaminación que pueden afectar a la población con diversos tipos de enfermedades gastrointestinales.

1.5.5. Energía eléctrica

El servicio es prestado exclusivamente por el sector privado, por medio de la empresa Distribuidora de Energía Eléctrica de Oriente, S.A. DEORSA. Se encuentra en la cabecera departamental y no cuenta con una agencia en el municipio, los pagos se realizan en bancos locales o en las oficinas ubicadas en la ciudad de Cobán. Según el XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación efectuado durante el 2002, el 67% de hogares contaba con este servicio. Según la Dirección Municipal de Planificación para el 2007, se estableció que de 63 comunidades, 39 tenían energía eléctrica, equivalente a un 59% del total de comunidades.

1.5.6. Telecomunicaciones

Para el 2009 se tenían 1,150 líneas fijas, representando un 3.66% líneas por cada 100 habitantes, este servicio es prestado por una empresa privada de telefonía, en lo referente a la telefonía celular, según la población es que se cuenta con señal de las tres empresas que prestan el servicio en el país.

En el municipio se cuenta con dos radios evangélicas y también dispone de servicios de televisión por cable y televisión vía satélite prestado por una empresa de telefonía celular.

2. PRELIMINARES

2.1. Descripción del proyecto

Para la construcción de un relleno sanitario primero se selecciona el terreno que reúna condiciones técnicas adecuadas como son: topografía, nivel a que se encuentran las aguas subterráneas y disponibilidad de material para cubrir la basura. En el caso del municipio de Tactic, Alta Verapaz; se debió adaptar la situación al vertedero existente, este se encuentra en funcionamiento desde hace más de veinte años.

De acuerdo con las características del terreno, el relleno sanitario puede construirse siguiendo los métodos de área, zanja o una combinación de ambos métodos.

Debido a que el terreno de interés es una depresión, con topografía irregular y alta pendiente, lo más adecuado para construcción del relleno sanitario es utilizar el método del área. La basura se deposita de partes más profundas hacia las más altas, por la topografía del terreno; luego se debe cubrir con tierra traída de otros sitios como laderas o montañas.

La basura se esparce, compactada y se recubre diariamente con una capa de 10 a 20 cm de tierra.

2.2. Estudio de necesidades

La producción per cápita de residuos sólidos en Tactic, Alta Verapaz es de 0.68 kilogramos/habitante/día y similar al valor promedio del país que es de 0.65 y se encuentra dentro del rango aceptable de OPS/CEPIS (0.35 a 0.75). Tactic produce el 23% de desechos sólidos de la Mancomunidad Pogomchí.

El peso volumétrico de desechos sólidos producidos; por estrato socioeconómico y total se presenta valores reportados por en el Manual del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales-MARN de 125 a 250 kg/ m³.

La composición de la basura en restos de alimentos es del 52% en Tactic. El promedio para Guatemala es de alrededor del 69% en desechos de origen orgánico y el restante 31% inorgánico, con valores similares a otras cabeceras municipales del país.

La cobertura de recolección es baja; menor al 23%; esto puede estar relacionado con el tamaño de la población y además con la disponibilidad de un sitio accesible para la deposición de residuos sólidos, aunque no sea adecuado. El aumento de la tasa de cobertura de recolección requerirá de un esfuerzo conjunto de la Municipalidad y empresas prestadoras del servicio, en el cual sean involucrados todos los vecinos.

Existen basureros clandestinos, los cuales están relacionados con la baja cobertura de recolección, la baja aplicación del Código Municipal y del reglamento de residuos sólidos así como la falta de cumplimiento de los vecinos; además de que el porcentaje del presupuesto anual recomendado para asignar al aseo urbano es de 12.5% del presupuesto municipal; en Tactic solamente se asigna el 6.9%.

El problema central es el servicio deficiente de recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos generados provocando contaminación ambiental que incluye efectos sobre la salud de los habitantes, en especial de quienes se encuentran cerca del vertedero municipal.

Las causas principales son:

- La falta de conciencia sobre los efectos negativos del mal manejo de los residuos sólidos por parte de autoridades locales y población en general.
- La poca capacidad instalada de las municipalidades para la gestión de los residuos sólidos en lo técnico, económico-financiero y administrativo.
- La escasa disposición de pago por el servicio de parte de los vecinos.
- La dificultad de financiar adecuadamente este tipo de proyectos de parte de la municipalidad.

2.3. Aspectos sanitarios de los residuos sólidos

Las alteraciones ecológicas provocadas por la inmensa cantidad de residuos generados en los centros poblados, traen como consecuencia diversos cambios que empeoran el nivel de vida de la zona donde son depositados y desencadenan efectos que pueden resultar perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. La creciente conciencia sanitaria y los avances en epidemiología han determinado la implantación de una serie de medidas destinadas a atajar los problemas en su origen, es decir una política sanitaria preventiva antes que curativa.

Los residuos sólidos tienen un alto poder contaminante que obliga a buscar continuamente nuevas líneas de investigación, desarrollo y gestión que permitan evitar, disminuir o reparar los daños al entorno y a la salud pública.

En tres los distintos problemas de tipo sanitario que generan los residuos sólidos se pueden citar los efectos sobre el medio en sus distintos factores ambientales como el agua, aire, suelo, etc., que trae como consecuencia trastornos a la población y daños irreparables a los ecosistemas (contaminación de ríos y lagos, contaminación de las aguas freáticas, extinción de especies animales y vegetales, etc.). Por otro lado, los problemas asociados por el crecimiento de los agentes patógenos sobre los residuos pueden ser la causa de epidemias devastadoras.

Los residuos sólidos pueden contener diversos agentes patógenos humanos y animales (virus, bacterias, protozoos, y helmintos), los cuales encuentran un medio óptimo para su crecimiento y proliferación. Algunos animales como roedores (ratas), insectos (cucarachas, moscas, mosquitos, etc.) también encuentran en los desechos el alimento y un medio agradable para su desarrollo. Estos animales son excelentes transportadores de los agentes patógenos que, por su movilidad, pueden contactar con el ser humano y producir su contagio o infección, siendo este el origen de numerosas epidemias que han diezmado la población de muchas áreas a lo largo de la historia, y que siguen produciéndose en la cadena trófica y afectar a todos sus componentes.

Las aguas superficiales se pueden contaminar, o bien por lixiviados procedentes de residuos, o bien por el arrastre de los propios residuos que quedan esparcidos por amplios espacios cuando, tras una avenida de agua, los desparrama a lo largo de un gran tramo del cauce. Esta escorrentía aporta

agentes contaminantes aguas abajo, donde pueden ser captadas para diversos usos como el riego o limpieza viaria. Las aguas freáticas tienen un filtrado natural por parte del suelo, aunque su nivel de depuración y retención de contaminantes depende de la profundidad y de la textura del suelo.

Como principales problemas sanitarios ocasionados por la mala gestión de los residuos sólidos se considera:

Contaminación del medio (agua, suelo y aire) dentro del cual se produce:

- Contaminación biótica del agua (patógenos)
- Contaminación química del agua
- Contaminación de suelos (basuras depositadas)
- Producción de olores (materia orgánica en descomposición)
- Contaminación atmosférica por emisiones de gases producidas por fermentación anaerobia (metano)

3. PRINCIPIOS Y DEFINICIONES GENERALES RELACIONADAS CON UN RELLENO SANITARIO

3.1. Definición de relleno sanitario

Relleno sanitario es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública. Reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.

3.2. Reacciones producidas en un relleno sanitario

Dependiendo del tipo de carácter de los materiales contenidos en las basuras, y las condiciones ambientales (humedad, oxígeno disponible, temperatura, pH, etc.) el proceso de descomposición tendrá lugar en un espacio de tiempo mayor o menor. Pero, para un caso determinado, el carácter y heterogeneidad de los residuos hacen que la predicción del potencial de contaminación o el proceso de descomposición, sea extremadamente complicada, no sólo de averiguar sino también de controlar.

Al colocar los desechos en un vertedero estos están sometidos a importantes cambios biológicos, químicos o físicos simultáneos. Los siguientes procesos son los más importantes:

- La descomposición de la materia orgánica putrescible, ya sea en condiciones aerobias o anaerobias, con la generación de gases y líquidos.
- La oxidación química de los materiales.
- El escape de los gases del relleno y la difusión de gases a través del relleno.
- El movimiento del líquido producido por la diferencia de presiones.
- La disolución y lixiviado de materiales orgánicos e inorgánicos por el agua y el lixiviado que se mueve a través del terreno.
- El movimiento del material disuelto por gradientes de concentración y ósmosis.
- El asentamiento desigual producido por la consolidación del material en los vanos.

Debido al alto número de parámetros que influyen en los procesos, interaccionando entre sí, es difícil predecir las condiciones futuras. En general las reacciones químicas y biológicas aumentan con la temperatura y la humedad presentes, hasta alcanzar en cada caso un límite de presión.

La descomposición de los desechos se inicia tan pronto como son colocados los residuos. Inicialmente la descomposición bacteriana ocurre en condiciones aerobias. Esto se debe a la cantidad de oxígeno que queda atrapada en el vertedero. Sin embargo muy pronto se agota el oxígeno atrapado en los espacios intersticiales, dando paso a una descomposición bajo condiciones anaerobias. Las basuras están compuestas en mayor parte por hidratos de carbono, grasas y proteínas. Los elementos más comunes en los residuos orgánicos son: carbono, oxígeno, hidrógeno, y azufre. Los principales responsables de la descomposición son los microorganismos contenidos en el suelo y en los residuos.

3.3. Producción de gases

Las emisiones incontroladas de gas, compuesto fundamentalmente por metano y dióxido de carbono, además de una gran lista de componentes en cantidades pequeñas y traza, se realizan a través de la superficie del vertedero o del subsuelo, generando malos olores, diversos efectos sobre la vegetación colindante, incluso explosiones en el seno del vertedero o sobre su superficie, además de ser, el metano, un agente potenciador del efecto invernadero del planeta.

El proceso de generación de gas por la fermentación anaerobia de la materia orgánica, es un proceso biológico en el que una flora bacteriana degrada los compuestos orgánicos en compuestos elementales, desprendiendo en este metabolismo, entre otros compuesto gaseoso. Al ser un proceso biológico, los parámetros que influencian sobre el mismo son muy diversos. Si las condiciones del medio son óptimas para el desarrollo de esta flora bacteriana, la generación de gas será óptima pero si, por el contrario, las condiciones no son propicias esta flora bacteriana no actuará, o actuará en malas condiciones.

Estos factores son principalmente:

- Composición del residuo vertido; porcentaje de materia orgánica biodegradable, humedad, tanto del residuo como posteriormente del lecho del vertedero, presencia de nutrientes o inhibidores.
- Sistema de gestión del vertido de residuos; grado de compactación del vertedero, mezcla distintos residuos, recirculación de lixiviados, sellado del vertedero y su recubrimiento diario, etc.

 Condiciones climatológicas de la zona, principalmente nivel de lluvias y variaciones de temperatura.

3.4. Producción de lixiviado

Uno de los aspectos más engorrosos en la gestión integral de un relleno sanitario urbano o una instalación de tratamiento de los mismos es el lixiviado. Este líquido procede principalmente de la degradación de la materia orgánica contenida en los residuos, a lo que se suman otros líquidos presentes en los residuos, envases con líquidos, agua de lluvia, etc.

Su aspecto es negro, de olor fuerte y penetrante, fluido y, en zonas de acumulación y/o estancamiento, presenta una capa superficial de varios centímetros de espuma.

La composición media de estos líquidos varía considerablemente según áreas geográficas, edad del relleno sanitario y tipo de residuo depositado en el mismo, pero todos coinciden en una alta carga orgánica, DQO y DBO5; su principal factor contaminante. Los parámetros básicos de caracterización de un lixiviado serán, además de los citados, la concentración de sólidos disueltos y en suspensión, dureza, concentración de fosfatos y nitratos.

El volumen de lixiviados que se producen en un relleno sanitario es muy variable según las condiciones medioambientales del entorno, tipo de residuo, etc. Dos de los aspectos que inciden más en la generación de lixiviados son la humedad de los residuos y la pluviosidad de la zona en donde se encuentra el vertedero. No se debe olvidar que agua de lluvia mezclado con lixiviados es considerada lixiviado.

3.5. Producción de polvo

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

Además de la producción de polvo, existe el problema de la dispersión de papel y plástico. Esta se impide parcialmente mediante la buena compactación y la cubierta diaria de la parte operativa del relleno sanitario. Se recomienda también la arborización alrededor del relleno, lo que sirve también para reducir la contaminación de polvo. Si no es posible arborizar el relleno, se puede también construir un cerramiento de malla alrededor del terreno.

3.6. Capa base impermeable del fondo del relleno sanitario

Es una capa de suelo natural de baja permeabilidad que se encuentra arriba de la primera capa freática. Lo ideal para la construcción de un relleno sanitario es si el terreno ya dispone de una barrera geológica, los tipos de suelo ideales son las arcillas y los limos, si el suelo natural posee un factor de permeabilidad menor a 1x10⁻⁶ m/seg y con un espesor de 3 metros o más se puede decir que es una barrera 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 de calidad para un suelo impermeable

CRITERIO	UNIDAD	VALOR RECOMENDADO
Espesor	mts	0.75
Factor de permeabilidad kf	m/s	< 10^-9
Contenido de partículas pequeñas	unidad	> 20
Tamaño máximo de partículas	mm	20
Contenido de arcilla	%	> 10
Contenido de carbonato de potasio	%	< 15
Contenido de agua	%	< 5
Contenido de materia orgánica	%	< 5

Fuente: RÖBEN, Eva. *Manual para el diseño, construcción, operación y cierre de relleno sanitario municipal.* p.22.

3.7. Capa de plástico y geotextil

Se debería poner una capa de plástico sobre la capa mineral. Se recomienda utilizar laminillas de polietileno de alta densidad, con un espesor no menor a 2 mm o un material equivalente. Las características físicas y químicas más importantes que deben tener estas laminillas son las siguientes:

- No debe contener huecos, roturas, burbujas o cavidades.
- No debe tener torsiones diagonales.
- Su espesor debe ser homogéneo.
- Deben ser impermeables para agua, hidrocarbones clorurados y no clorurados, acetona y tricloroetileno.
- Deben ser resistentes contra calor y condiciones climáticas adversas.
- Deben ser resistentes contra roedores. Eso se prueba por exposición a ratas.
- Deben ser resistentes contra desgaste mecánico (roturas, pinchazos etc.).

3.8. Capa de piedra bola o grava

La capa de drenaje se superpone a la capa de plástico. Su función es el drenaje de las aguas lixiviadas a fin de conducir estas a la planta de tratamiento. Como las aguas lixiviadas continúan produciéndose durante muchos años después del cierre del relleno sanitario, es importante que sea muy resistente y bien construida esa capa. Normalmente se construye la capa de drenaje de grava o piedra bola. Las piedras utilizadas deben ser grandes (con dimensiones más o menos homogéneas) y no contener partículas finas; Con eso se asegura una buena permeabilidad hidráulica. El espesor hidráulicamente eficiente debe ser mayor o igual a 30 cm; se recomienda construir una capa con espesor de 50 cm con el fin de proteger la permeabilidad hidráulica durante muchos años.

3.9. Tubería de drenaje

Este sistema debe estar constituido por un conjunto de tubos de PVC perforados que se colocan dentro de la capa de piedra, en la parte inferior de ésta para permitir que permitir que todas las aguas se dirijan al interior del tubo, es importante que exista una capa de filtro como un geotextil para evitar que se colmaten los tubos y se interrumpa la libre circulación de las aguas.

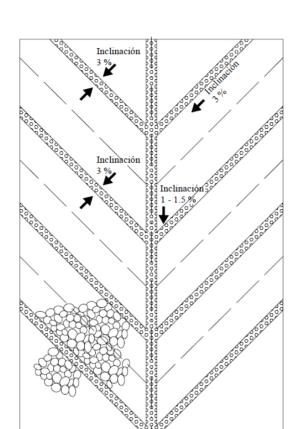


Figura 2. Sistema de colocación de tubos

Fuente: RÖBEN, Eva. *Manual para el diseño, construcción, operación y cierre de relleno sanitario municipal.* p.30.

4. PRINCIPIOS Y DEFINICIONES RELACIONADOS CON EL COMPOSTAJE

4.1. Definición de compostaje

El compostaje es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para la conversión de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos a un material húmico estable conocido como compost. El proceso se efectúa mediante la fermentación de controlada (control de temperatura, humedad, y aireación) de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos por poblaciones de microorganismos aerobios (bacterias, hongos y actinomicetos). Así mismo se efectúan determinadas operaciones de tipo mecánico como la trituración o el cribado cuya finalidad es por una parte, facilitar el proceso y por otra, mejorar la calidad del producto obtenido.

En los países en vías de desarrollo como es el caso de Guatemala, más de la mitad del peso de los residuos sólidos urbanos y asimilables a urbanos corresponde a la fracción orgánica y fermentable. Esta materia orgánica puede transformarse mediante fermentación controlada en compost, con lo que se produce un fertilizante efectivo e inocuo con buenas propiedades.

4.2. Descripción general del proceso de compostaje aerobio

Se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40 °C) con etapas termogénicas (40-75 °C), y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente. Las elevadas temperaturas alcanzadas, son

consecuencia de la relación superficie/ volumen de las pilas y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso. Durante la evolución del proceso se produce una sucesión natural de es de microorganismos que difieren en sus características nutricionales (quimioheterotrofos y quimioautotrofos), entre los que se establecen efectos sintróficos y nutrición cruzada.

En una pila de compost se diferencian dos regiones o zonas:

- La zona central o núcleo de compostaje: es la zona que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes.
- La corteza o zona cortical: que es la que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

El núcleo actúa como la zona inductora sobre la corteza. No obstante, todos los procesos que se dan en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la corteza. A los efectos prácticos y utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo.

4.3. Etapas del compostaje aerobio

El compostaje aerobio es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para la conversión de la fracción organica de RSLI a un material húmico estable conocido como compost. Las posibles aplicaciones del compostaje aerobio incluyen: residuos de jardín, RSU separados no seleccionados y compostaje conjunto de fangos de aguas residuales.

4.3.1. Etapa de latencia

Es la etapa inicial, considerada desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial. Esta 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 numerosos factores. Si son correctos: el balance C/N, el pH y la concentración parcial de oxígeno, entonces la temperatura ambiente y fundamentalmente la carga de biomasa microbiana que contiene el material, son los dos factores que definen la duración de esta etapa. Con temperatura ambiente entre 10 y 12 °C, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 horas.

4.3.2. Etapa mesotérmica 1 (10-40 °C)

En esta etapa, se destacan las fermentaciones facultativas de la microfloramisófila, en concomitancia con oxidaciones aeróbicas (respiración aerobia). Mientras se mantienen las condiciones de aerobiosis actúan Euactinomicetos (aerobios estrictos), de importancia por su capacidad de producir antibióticos. Se dan procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de Azufre, Fósforos, etc. 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 etapa mesotérmica es muy sensible a la relación óptima entre humedad y aireación. La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura, la falta de disipación de calor produce un incremento aún mayor y favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos. La duración de esta etapa es variable, depende también de numerosos factores.

4.3.3. Etapa termófila (40-75 °C)

La microfloramesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas. 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 corteza y más en aquellos materiales ricos en proteínas, es una zona donde se produce la puesta de insectos. La concentración de CO2 alcanzada resulta letal para las larvas. Conforme el ambiente se hace completamente anaerobio, los grupos de termófilos intervinientes, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes.

4.3.4. 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 microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante en las pilas. 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.

Si las etapas antes mencionadas no se cumplen en su totalidad es necesario remover las pilas de material en proceso, de tal forma que el material que se presenta en la corteza, pase a formar parte del núcleo. Estas remociones y reconformaciones de las pilas se realizan en momentos puntuales del proceso y permiten además airear el material, lo que provoca que la secuencia de las etapas descritas anteriormente se presente por lo general más de una vez. Desde el punto de vista microbiológico la finalización del proceso de compostaje se tipifica por la ausencia de actividad metabólica. Las poblaciones microbianas se presentan en fase de muerte por agotamiento de nutrientes. Con frecuencia la muerte celular no va acompañada de lisis. La biomasa puede permanecer constante por un cierto período aún cuando la gran mayoría de la población se haya hecho no viable. Las características descritas, corresponden a un compost en condición de estabilidad. Esta condición se diagnostica a través de diversos parámetros. Algunos de ellos, se pueden determinar en campo (temperatura, olor, color), otras determinaciones se deben realizar en laboratorio.

4.4. Características de los residuos a compostar

Se describen aquellas características que se consideran relevantes de los residuos, y que inciden en forma directa en la evolución del proceso y en la totalidad del producto final.

4.4.1. 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 proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen

crecimiento y reproducción. Una relación C/N óptima es de 25 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno , es decir C(25)/N(1) = 25.

En términos generales una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Si la relación C/N está en el orden de 10 indica que el material tiene relativamente más nitrógeno. Si la relación por ejemplo fuera de 40, manifiesta que el material tiene relativamente más Carbono.

Un material que presenta una C/N mayor 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.

Los residuos de origen vegetal, presentan por lo general una relación C/N elevada. Las plantas de montes, contienen más nitrógeno cuando son más jóvenes y menos en su madurez. Los residuos de origen animal presentan por lo general baja relación C/N.

Si se da el caso en el cual el material del que se disponga no presente una relación C/N inicial apropiada para su compostaje, se debe realizar una mezcla con otros materiales para lograr una relación apropiada. Este procedimiento se conoce como balance de nutrientes.

4.4.2. Estructura y tamaño de los residuos

Muchos materiales pierden rápidamente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje, otros son muy resistentes a los cambios,

como lo son los materiales leñosos y fibras vegetales en general, en este caso la superficie de contacto entre el microorganismo y los desechos es pobre.

Ante el caso de no disponer, de excretas u otro material de diferente estructura física, se debe de recurrir al procesamiento del mismo, para lograr un tamaño adecuado y un proceso rápido. Las alternativas para este tipo de materiales leñosos y de gran tamaño es la utilización de trituradoras, para un diámetro medio máximo de partículas de 20 mm resulta un incremento significativo de la biodisponibilidad y del tiempo de compostaje cuando se comprara con las partículas mayores a 80 mm, por lo que el tamaño indicado de 20 mm a 10 mm es aconsejable para este tipo de materiales.

4.4.3. Estructura y tamaño de los residuos

La humedad idónea para una biodegradación con amplio predominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden de 15 a 35 % (del 40 al 60%, sí se puede mantener una buena aireación). Humedades superiores a estos valores producirán un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, y el medio se convertiría en anaerobio. Si la humedad se sitúa en valores inferiores al10%, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento.

4.4.4. El pH

La gran mayoría de los grupos fisiológicos se desarrolla de manera favorable en un rango de pH cercano al neutro (pH 6.5-7.5), valores inferiores a un pH de 5.5 son considerados ácidos y valores superiores a 8 son considerados alcalinos, en estos dos casos no es favorable el crecimiento de los grupos fisiológicos.

4.4.5. La aireación

Su objetivo es favorecer el desarrollo de los metabolismos de respiración aerobia. Cuando como consecuencia de una mala aireación la concentración de oxígeno alrededor de las partículas baja a valores inferiores al 20 % (concentración normal en el aire), se producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones y las respiraciones anaeróbicas.

4.4.6. La 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.

5. ANÁLISIS DE DESECHOS SÓLIDOS

Es importante conocer la cantidad de desechos sólidos a recolectar y disponer, así como sus características tales como la densidad, y composición, los métodos de análisis de desechos sólidos desarrollados por los países industrializados son bastante complicados y para el caso de Guatemala, estarían fuera de alcance debido a la carencia de recursos con se cuenta.

Para el desarrollo de este capítulo se utilizará el método planteado por el Doctor Kunitoshi Sakurai, el cual es asesor regional en residuos sólidos para la Organización Panamericana De La Salud (OPS).

Este método es denominado "Metodo Sencillo del Análisis de Residuos Sólidos", el cual ha sido ampliamente utilizado en Latinoamérica debido a que es una herramienta sencilla para el análisis de desechos sólidos, facilitando con esto el conocimiento básico de cantidad y características de residuos sólidos a manejar.

5.1. Densidad de los desechos sólidos

Generalmente la composición y densidad de la basura llevada a un relleno sanitario son bastante diferente a la basura generada debido a la recuperación de los materiales tales como papeles, cartones, trapos, botellas y metales, a la compactación y ablandamiento que se realizan en el transcurso del manejo de la basura, por ejemplo la densidad de la basura se altera a medida que se avanza en las etapas de su manejo, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla II. Alteración de la densidad de los desechos sólidos

	ETAPA	DENSIDAD PROMEDIO
Α	Desechos sólidos sueltos en recipientes	200 kg/m³
В	Desechos sólidos compactados en camiones compactadores	500 kg/m³
С	Desechos sólidos sueltos descargados en los rellenos	400 kg/m³
D	Desechos sólidos recién rellenados	600 kg/m³
Е	Desechos sólidos estabilizados en rellenos (luego de 2 años)	900 kg/m³

Fuente: SAKURAI, Kunitoshi. Método sencillo del análisis de residuos sólidos. p. 3.

5.2. Número de muestras

Para el conocimiento de todos los parámetros que tienen relación con el diseño de un relleno sanitario es de suma importancia saber cuál es el número de muestras, ya que si estas son muy pocas los resultados pueden tener un alto grado de incertidumbre, por esto es importante calcular el valor de la desviación estándar que presenten las muestras, en la siguiente tabla se pueden apreciar estos valores:

Tabla III. Valores de desviación estándar según el número de viviendas

		Desv	Desviación Estándar De Las Muestras (gr/hab/día)					
		50	100	150	200	250		
Total de	500	3.8	14.9	32.3	54.7	80.6		
viviendas en	1000	3.8	15.1	33.4	57.9	87.6		
análisis	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: SAKURAI, Kunitoshi. Método sencillo del análisis de residuos sólidos. p. 4.

El Doctor Sakurai recomienda el uso de una desviación estándar de 200 gr/hab/día, se toma como error permisible 50 gr/hab/día con una confiabilidad de 95%, según el censo del año 2002 existen 5,437 hogares, el resultado para

el número de muestras es de 60.7 muestras, por lo que se tomarán 61 muestras que se distribuirán en las diferentes zonas de la ciudad de Tactic y se distribuirán de la siguiente manera:

Tabla IV. Distribución de muestras según el número de hogares por zona

Zona	Población	Muestra a tomar
1	1,905	19
2	1,850	15
3	957	10
4	725	17
Total	5,437	61

Fuente: elaboración propia

5.3. Prueba de densidad

Posteriormente 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 de 0.212 m³, 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 V. Masa y volumen de la muestra de desechos sólidos

			Volúmen	
	lb	kg	ton	m³
Muestra	100	45.45	0.05	0.212
Masa de recipiente	0.5	0.227	0.00025	
Masa real de la muestra	9.5	4.31	0.00475	

Tabla VI. Masa y volumen de la muestra de desechos sólidos

Densidad					
lb/m³ kg/m³ ton/m³					
471.70 214.41 0.24					

Fuente: elaboración propia.

5.4. Producción de 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 61 viviendas obteniendo los resultados que se presentan en la tabla V. Dado que la recolección se efectuó en un período de cinco días el PV se determinó calculando el promedio de de las sumatorias de las masas de las muestras entre los cinco días de 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 cada vivienda.

Tabla VII. Resultado de muestras, determinación de PPC Y PPV

	Bolsa 1	Bolsa 2	Bolsa 3	Ī				
Vivienda	Peso (lb)	Peso (lb)	Peso (lb)	Peso total	Habitantes por vivienda	Días de recolección	PPV (lb/día)	PPC (lb/día)
1	21	12.5	16	49.5	5	5	9.90	1.98
2	16.5	19	15.5	51	7	5	7.29	1.46
3	13.5	14	12.5	40	6	5	6.67	1.33
5	12.5 19	16 13	14.5 16	43 48	5 8	5 5	8.60 6.00	1.72 1.20
6	17	18	13	48	4	5	12.00	2.40
7	16.5	15.5	18.5	50.5	5	5	10.10	2.02
8	14	19.5	16	49.5	6	5	8.25	1.65
9	15	17	19	51	5	5	10.20	2.04
10	13.5	13.5	17	44	5	5	8.80	1.76
11	18.5	11.5	14	44	5	5	8.80	1.76
12	20.5	16	15	51.5	6	5	8.58	1.72
13	12.5	19.5	16	48	6	5	8.00	1.60
14	11.5	20	13	44.5	8	5	5.56	1.11
15 16	10 16.5	18.5 12.5	18 12	46.5 41	5 7	5 5	9.30 5.86	1.86 1.17
17	14	13	19.5	46.5	6	5	7.75	1.17
18	17	19	18.5	54.5	5	5	10.90	2.18
19	14.5	20.5	16.5	51.5	5	5	10.30	2.06
20	15.5	18.5	12.5	46.5	6	5	7.75	1.55
21	18.5	12.5	13.5	44.5	6	5	7.42	1.48
22	20	11	18.5	49.5	8	5	6.19	1.24
23	16.5	13	17.5	47	7	5	6.71	1.34
24	11	15	19.5	45.5	7	5	6.50	1.30
25	12.5	19.5	21	53	4	5	13.25	2.65
26	14.5	12	12	38.5	5	5	7.70	1.54
27	19.5	18.5	13	51	4	5	12.75	2.55
28	17	13.5	10.5	41	6	5	6.83	1.37
29	16.5	18	18.5	53	8 7	5	6.63	1.33 1.24
30 31	13.5 17.5	14 10	16 112	43.5 139.5	5	5 5	6.21 27.90	5.58
32	16	16.5	13	45.5	6	5	7.58	1.52
33	20	17.5	10	47.5	5	5	9.50	1.90
34	15	19	16.5	50.5	5	5	10.10	2.02
35	11.5	16.5	14.5	42.5	5	5	8.50	1.70
36	13	12	18.5	43.5	4	5	10.88	2.18
37	17	11	19.5	47.5	6	5	7.92	1.58
38	19	10	16.5	45.5	6	5	7.58	1.52
39	20	14	13.5	47.5	6	5	7.92	1.58
40	16	18.5	14	48.5	8	5	6.06	1.21
41	12	17.5	16	45.5	7	5	6.50	1.30
42 43	10 14	13.5 20	18 17	41.5 51	6	5 5	5.93 8.50	1.19 1.70
43	13	12	10	35	5	5	7.00	1.40
45	18	19.5	12	49.5	4	5	12.38	2.48
46	16	14	13	43	6	5	7.17	1.43
47	12	16	16	44	5	5	8.80	1.76
48	20	12	18	50	8	5	6.25	1.25
49	14	13.5	19.5	47	7	5	6.71	1.34
50	17	14.5	11	42.5	6	5	7.08	1.42
51	15.5	19.5	14	49	8	5	6.13	1.23
52	12.5	16	10.5	39	5	5	7.80	1.56
53	16	13	13.5	42.5	6	5	7.08	1.42
54 55	21 18.5	20 20.5	18.5 17.8	59.5 56.8	6 5	5 5	9.92 11.36	1.98 2.27
56	11	20.5	16	48	5	5	9.60	1.92
57	14	18.5	18	50.5	5	5	10.10	2.02
58	19	13	19.5	51.5	5	5	10.30	2.06
59	17	12	14.5	43.5	4	5	10.88	2.18
60	12.5	10.5	11	34	5	5	6.80	1.36
61	11	13.5	12.5	37	6	5	6.17	1.23
	Promed	dio total		48.10	5.80	5	8.64	1.73

Tabla VIII. Producción de desechos por masa en el municipio de Tactic,
Alta Verapaz.

	PV		PF	PPC		PT	
	lb	Ton	lb	Ton	lb	Ton	
Diaria	8.64	0.004	1.73	0.001	46975.68	23.49	
Semanal	60.48	0.030	12.11	0.006	328829.76	164.41	
Mensual	259.20	0.130	51.90	0.026	1409270.40	704.64	
Anual	3153.60	1.577	631.45	0.182	17146123.20	8573.06	

Donde:

PV= Producción por vivienda

PPC= producción per cápita

PT= producción del municipio de Tactic

Tabla IX. Producción de desechos sólidos por volumen en el municipio de Tactic, Alta Verapaz

	PV	PPC	PT
	m³	m³	m³
Diaria	0.02	0.00	99.59
Semanal	0.13	0.03	697.12
Mensual	0.55	0.11	2,987.65
Anual	6.69	1.34	36,349.78

Fuente: elaboración propia.

Donde:

PV= Producción por vivienda

PPC= producción per cápita

PT= producción del municipio de Tactic

5.5. Método del cuarteo

Para la determinación de la composición física y densidad de los desechos sólidos se debe realizar el método de cuarteo para homogenizar las muestras, esto se hace de la siguiente manera:

- Se toma la muestra de alrededor de 1m₃, 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 0.15m - 0.16m.
- 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.

En la siguiente figura se puede apreciar la forma en la cual se debe realizar el método del cuarteo.

Figura 3. Método del cuarteo

Fuente: elaboración propia.

5.6. Prueba de composición física

Esta prueba se lleva a cabo tomando la muestra que se utilizó anteriormente, se separan sus componentes y se clasifican en desechos reciclables, no reciclables, y biodegradables. El procedimiento a seguir es el que se detalla a continuación:

- 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 X. Composición física de desechos sólidos

DESECHOS RECICLABLES			
Componente	lb	kg	%
Papel períodico, papel bond, cuadernos, etc	0.35	0.16	3.68
Plásticos	1.9	0.86	20
Aluminio	0.3	0.14	3.16
TOTAL	2.55	1.16	26.84

DESECHOS BIODEGRADABLES			
Componente	lb	kg	%
Cáscaras de verduras, granos, frutas, legumbres	2	0.91	21.05
Cáscaras de huevo, nueces, frutos secos	0.5	0.23	5.26
Desechos de jardín, frutas	0.5	0.23	5.26
Desechos sólidos de la cocina	1	0.45	10.53
Desechos de pulpa	1	0.45	10.53
TOTAL	5	2.27	52.63

DESECHOS NO RECICLABLES			
Componente	lb	kg	%
Alimentos cocinados	0.4	0.18	4.21
Pañales desechables, toallas femeninas, algodón	1	0.45	10.53
Desechos de barrido, tierra	0.3	0.14	3.16
Baterías	0.05	0.02	0.53
Desechos químicos, detergentes, etc	0.2	0.09	2.11
TOTAL	1.95	0.88	20.53

	lb	kg	%
Masa total de la muestra	9.5	4.31	100

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

6.1. Relleno sanitario

Es la instalación física usada para la disposición final de los residuos sólidos municipales sobre la superficie del suelo. Es tradicionalmente definido como un método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos en el suelo, de tal manera que proteja el ambiente, mediante el extendido de los residuos en capas delgadas, compactándolas al menor volumen posible y cubriéndolas con tierra al término de cada día de trabajo.

6.1.1. Zona de entrada y de salida

Integrada por la puerta principal del relleno sanitario, la caseta de registro y la báscula; en esta área el vehículo registra su entrada, se autoriza para que continúe hacia la zona de descargue y se autoriza también su salida. En los rellenos sanitarios grandes puede haber una puerta de salida independiente, con una báscula para pesar los vehículos cuando salen sin carga.

6.1.2. Área de Descargue

Es el área de trabajo donde el camión de basura llega del área de entrada, entra de frente a la zona de descargas y gira 180° para descargar en reversa; deja la basura lo más cerca posible del frente de trabajo de la celda diaria, se retira nuevamente e informa su salida a la oficina de registro correspondiente.

6.1.3. Celda Diaria

Es el espacio donde se coloca la basura del día. Tiene un frente, una altura y un fondo; esta celda tiene un frente con una inclinación aproximada de 30°.

Después de que el camión de basura deja su carga, un buldócer riega la basura sobre el frente de la celda diaria en capas de 30 centímetros, la compacta las veces que sea necesario para alcanzar un peso específico mínimo de 0.7 t/m³ y al final del día la tapa con un material de cobertura, por ejemplo plástico.

El volumen de la celda diaria se calcula de la siguiente manera:

$$Vc = \frac{Drs}{D} * m.c.$$

Dónde:

Vc= Volumen de celda diaria (m³)

Drs= Cantidad media de desechos sólidos en el relleno sanitario.

D= Densidad de los desechos sólidos recién compactados en el relleno sanitario manual 500 kg/m³

m.c. = Material de cobertura (20 - 25 %)

La densidad utilizada para los desechos sólidos recién compactados es menor que la densidad recién rellenados.

$$Vc = \frac{2800 \, kg/dia}{500 \, kg/m^3} * 1.20 = 6.72 \, m^3$$

Para dimensionar la celda se procede al siguiente cálculo: Área de la celda:

$$Ac = \frac{Vc}{Hc}$$

Dónde:

Ac= Área de celda (m²)

Vc= Volumen de celda

Hc= Altura de la celda (m.) límite entre 1 y 1.5 metros.

$$Ac = \frac{6.72 \, \text{m}^3}{1 \, \text{m}} = 6.72 \, \text{m}^2$$

Por lo tanto el largo o avance de la celda se determina por medio de la siguiente ecuación:

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

Donde

a= ancho que se fija de acuerdo con el frente de trabajo necesario para la descarga de la basura por los vehículos recolectores (m.). En el municipio de Tactic se usarán 1 o 2 vehículos como máximo los cuales descargaran a la vez, lo que determina el ancho entre 2.00 y 3.00 m. Como los taludes (perímetro) también deben ser cubiertos de tierra.

$$L = \frac{6.72 \, \text{m}^2}{3 \, \text{m}} = 2.24 \, \text{m}$$

De tal manera que el largo o avance será igual a 2.24 metros, el ancho será de 3 metros y el alto será de 1 metro.

6.1.4. Basura

La basura queda dentro de la celda diaria en el relleno sanitario. En este punto empiezan los procesos de descomposición, que duran aproximadamente quince años.

En un principio, la basura se descompone en un proceso aerobio por el oxígeno que queda atrapado, con desprendimiento de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂) y otros gases menores; cuando se agota el oxígeno, el proceso se vuelve anaerobio, con desprendimiento de metano, bajas concentraciones de gas carbónico, algunos mercaptanos y otros gases en pequeñas concentraciones.

6.1.5. Capacidad y vida útil del relleno sanitario

Ya existe un vertedero en el municipio de Tactic, departamento de Alta Verapaz; se tiene contemplado como proyecto a futuro que este se convierta en un relleno sanitario para un período de diseño de 10 años, procediendo después a su clausura.

Debido a la topografía del terreno, se propone construir terrazas para darle estabilidad al terreno y que los desechos sólidos y lixiviados no vayan a caer sobre el agua del río Cahaboncito.

El área actual del vertedero es de 3,524 m² con una capacidad de 33,478 m³, para la construcción de un relleno sanitario manual en el futuro

dependerá de la cantidad de desechos sólidos a disponer, la cantidad de material de cobertura; la densidad de compactación de los desechos sólidos, la profundidad o altura del relleno sanitario manual, la capacidad volumétrica del terreno y del área requerida para obras complementarias como garita de control, pilas, entre otros.

6.1.6. Impermeabilización del fondo del relleno sanitario

Se recomienda la construcción de una capa de 75 cms. de arcilla compactada separadamente tres veces. Sobre la capa de arcilla compactada colocar una capa de geomembrana o polietileno de alta densidad, arriba debe de ésta una capa de piedra bola de aproximadamente 0.5m que conformará la capa de drenaje.

Para la elección del tipo de geomembrana que se va a utilizar en la impermeabilización se deben tener en cuenta algunas características básicas, como la resistencia química a los lixiviados, tolerancias máximas, propiedades físicas y mecánicas, en la siguiente tabla se observan algunos valores promedio típicos de ensayos realizados con geomembranas empleadas para la impermeabilización, con polietileno de alta densidad.

Para la colocación de la geomembrana se deben considerar los siguientes aspectos:

- Cortar y retirar raíces de árboles, arbustos, rellenar con tierra y compactar.
- Retirar cualquier material pétreo que pueda romper o maltratar la geomembrana.

- Extraer los excesos de agua que se encuentren en el área de la instalación.
- Elaborar un programa de control de sellado, realizando los respectivos ensayos, con el fin de garantizar que las características de las juntas sean iguales a las que posee la geomembrana.

Tabla XI. Especificaciones técnicas para geomembranas

Especificaciones técnicas para geomembrana								
Propiedades	Norma	Unidad	Valor					
Densidad	ASTM D 792	g/cm³	0.94-0.964					
Resistencia a la tensión	DIN 53515	N/mm²	> 24					
Elongación, punto de ruptura	DIN 53515	%	>600					
Resistencia, deformación plástica	ASTM D 638	N/mm²	> 17					
Elongación, deformación plástica	ASTM D 751	%	> 19					
Resistencia, propagación de rasgado	ASTM D 1004	N/mm	> 130					
Coeficiente de dilatación lineal	DIN 53328	Mm/°C	≤ 2.2E-4					

El método de impermeabilización tiene las siguientes características:

Se tiene que contar con un terreno libre de raíces y material pétreo, se debe contar con 0.30 metros de arcilla seleccionada como base de la geomembrana y protección en caso de ruptura accidental. También se debe contar con una capa de tierra seleccionada que debe contar entre 15 y 20 cms. Para proteger la geomembrana, la tierra debe ser resistente al lixiviado, por eso se prefiere utilizar arena con un porcentaje de finos menor de 25. Sobre estas dos capas se tendría que proceder a colocar 20 cm. de agregado pétreo con un tamaño entre cinco y diez centímetros, y una permeabilidad igual o mayor de 1E-1 cm/seg y finalmente se colocan los desechos sólidos.

Siempre la pendiente de la geomembrana y del material drenante, debe ser mínimo de 3% hacia los sistemas de recolección de lixiviados para facilitar su circulación y garantizar su salida rápida.

Todo el sistema de tratamiento debe tener pendiente hacia el pie del talud del futuro relleno sanitario y estar conectado a filtros que conduzcan el lixiviado recogido del sistema de impermeabilización hacia los sistemas de tratamiento.

6.1.7. Drenaje de gases

Como se mencionó anteriormente, la tubería se colocará dentro de una capa de piedra bola en forma de espina de pescado, y consiste en tubería PVC de Ø 6" con una serie de perforaciones de 10 cm. de diámetro con una distancia entre ellas de 25 cm.

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 rellenado con piedra bola o grava. Los orificios deben de ocupar un 10% de la superficie del tubo.

Se puede efectuar en forma periódica la toma de muestras y análisis de los gases de la tubería, estos tubos se colocarán conforme se vaya llenando el relleno sanitario, ya que las fosas, después de llenadas, se clausuran, y este drenaje evitará que pueda existir una explosión por parte de los gases.

6.1.8. Manejo de lixiviados

Los lixiviados son el producto de la descomposición bioquímica de la basura y del agua de infiltración, y tienden a salir por gravedad de la parte inferior del relleno sanitario hasta que la capa impermeabilizante lo impida.

Esta agua es muy contaminante por lo que se debe conducir de manera adecuada hacia una planta de tratamiento la cual se encargue de minimizar el impacto ambiental, hacia en este caso el río Cahaboncito, uno de los métodos más simples y económicos es el de tratamiento biológico por laguna, ésta deberá tener una profundidad de diez centímetros para evitar condiciones de putrefacción del agua debido a condiciones anaeróbicas, las aguas deben pasar un tiempo de 50 días dentro de la laguna.

6.2. Planta de compostaje

El compostaje, composta o compuesto (a veces también se le llama abono orgánico) es el producto que se obtiene del compostaje, y constituye un "grado medio" de descomposición de la materia orgánica, que ya es en sí un buen abono. Se denomina humus al "grado superior" de descomposición de la materia orgánica. El humus supera al compost en cuanto abono, siendo ambos orgánicos.

6.2.1. Descarga de los desechos

Para permitir un funcionamiento adecuado del sistema de compostaje, el camión de recolección deberá presentarse en horarios fijos al patio de descarga del vertedero municipal. Con el fin de asegurar

el control del proceso, el responsable de las instalaciones llevará un registro de ingreso de vehículos.

6.2.2. Separación

Antes de ser trasladados a sus lugares de disposición respectivos, los desechos serán separados con herramientas manuales. Solo el personal autorizado realizará la separación de los desechos sólidos. Se separarán los materiales biodegradables de los no biodegradables, de los cuales se apartarán algunos (como vidrio y aluminio) para reciclaje.

Después del proceso de separación, los desechos sólidos para reciclaje estarán almacenados en las bodegas instaladas a este efecto. Los materiales biodegradables serán trasladados a la fosa de compostaje y los materiales inertes se colocarán en el relleno sanitario.

La gestión del lote de materiales reciclables, como los biodegradables y los inertes, será coordinada por la comisión responsable.

6.2.3. Compostaje en pilas

Después de haber separado el material biodegradable de los desechos biodegradables, se procederá a colocar le material en pilas por ser el método mas sencillo que se puede utilizar.

Las pilas deben tener como máximo una altura de metro y medio; ya que si son más altas impiden la aireación natural y pueden ocurrir condiciones anaeróbicas. Como base cada pila tendrá un área de 6.25 m², lograda con dos metros y medio de cada lado.

Con las dimensiones anteriores se consigue obtener un volumen de aproximadamente un metro cúbico por pila y se asegura así una masa crítica mínima de cincuenta kilogramos 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 en forma de galera para 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, para aprovechar el recurso.

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 las dimensiones máximas de metro y medio de alto por dos metros y medio de lado. Al momento de combinar pilas, es primordial que sean pilas que tengan aproximadamente la misma edad, para no mezclar compost maduro con compost inmaduro.

6.2.4. Movimiento, mezcla y revuelta

Se debe mover, mezclar y revolver frecuentemente ya que los poros existentes en el los desechos sólidos biodegradables al iniciar el proceso poseen diversas dimensiones. El aire pasa por los poros más grandes y 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, 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.

6.2.5. Aireación

Se debe 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.

6.2.6. Riego

El compost debe ser regado o humedecido durante los primeros 3 meses. La duración total del proceso será de 6 meses y después de este período, 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.

6.2.7. Clasificación del producto

Cuando el 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 VIII.

Tabla XII. Fracciones de compost según su diámetro y composición

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

7. COSTOS APROXIMADOS DE INVERSIÓN

En las siguientes tablas se presentarán los costos aproximados de inversión para el caso en el cual el vertedero se convierta en relleno sanitario y de esta manera poder resolver la problemática que se presenta en el municipio de Tactic. Los costos se dividen en la siguiente manera: costos de inversión, operación, mantenimiento y administración. El costo total del proyecto para el mes de septiembre de 2011 es de Q. 969,034.00, equivalente a US\$ 123, 917 con un cambio de US\$ 7.82 por Q1.00, correspondiente a la fecha antes citada.

A continuación se muestran las tablas con los costos aproximados:

Tabla XIII. Tabla resumen de costos aproximados

	TABLA RE	SUMEN					
Descripción	Unidad	Cantidad	Cos	to Unitario		Sub total	
Levantamiento topográfico	Global	1	Q	7,000.00	Q	7,000.00	
Limpieza y chapeo	Global	1	Q	4,500.00	Ø	4,500.00	
Corte con maquinaria	m³	5,573	Q	25.00	Ø	139,325.00	
Relleno compactado	m³	2,145	Q	35.00	Ø	75,075.00	
Retiro de material sobrante	m³	1,500	Q	80.00	Ø	120,000.00	
Base y drenaje del relleno	m²	3,524	Ø	124.00	Ø	436,976.00	
Cerco perimetral	m²	168	Ø	235.86	Ø	39,625.00	
Canal de agua de escorrentía	ml	90	Ø	193.22	Ø	17,390.00	
Chimenea	ml	110	Q	154.62	Ø	17,008.00	
Bodega	Unidad	1	Ø	25,800.00	Ø	25,800.00	
Guardianía	Unidad	1	Ø	31,500.00	Ø	31,500.00	
Letrina	Unidad	1	Q	2,500.00	Ø	2,500.00	
Reforestación	Global	1	Ø	2,500.00	Ø	2,500.00	
Equipo de funcionamiento	Global	1	Ø	12,205.00	Ø	12,205.00	
Gastos de administración mensual	Global	1	Q	16,800.00	Ø	16,800.00	
Operación y mantenimiento	Global	1	Q	20,830.00	Q	20,830.00	
			Total				

Tabla XIV. Costos de equipo de funcionamiento

	Equipo (de funciona	mien	to		
Descripción	Unidad	Cantidad	Cos	to Unitario	S	Sub total
Carretilla	Unidad	3	Q	250.00	Q	750.00
Extintor	Unidad	1	Q	500.00	Ø	500.00
Pala	Unidad	3	Q	150.00	Ø	450.00
Rastrillo	Unidad	3	Q	100.00	Ø	300.00
Azadón	Unidad	3	Q	120.00	Ø	360.00
Piocha	Unidad	3	Q	180.00	Q	540.00
Escoba	Unidad	3	Q	15.00	Q	45.00
Guantes	Par	5	Q	35.00	Ø	175.00
Mascarilla	Unidad	5	Q	14.00	Q	70.00
Lentes de seguridad	Unidad	5	Q	55.00	Q	275.00
Casco	Unidad	5	Q	150.00	Q	750.00
Overol	Unidad	5	Q	450.00	Q	2,250.00
Botas	Par	5	Q	150.00	Q	750.00
		S	ub-to	tal	Q	7,215.00
	Mob	iliario y equ	ipo			
Descripción	Unidad	Cantidad	Cos	to Unitario	S	Sub total
Escritorio	Unidad	1	Q	2,500.00	Q	2,500.00
Archivo	Unidad	1	Q	1,500.00	Q	1,500.00
Sillas	Unidad	5	Q	150.00	Q	750.00
Bancas	Unidad	2	Q	120.00	Q	240.00
		S	ub-to	tal	Q	4,990.00
		Total equi	po de	e funciona.	Q	12,205.00

Tabla XV. Costos levantamiento topográfico

Levantamiento topográfico							
Descripción	Unidad	Cantidad	Cos	to Unitario		Sub total	
Levantamiento topográfico	Global	1	Q	7,000.00	Q	7,000.00	
			Total		Q	7,000.00	

Tabla XVI. Costos limpieza y chapeo

Limpieza y chapeo							
Descripción	Unidad	Cantidad	Cos	to Unitario		Sub total	
Limpieza y chapeo	Global	1	Q	4,500.00	Q	4,500.00	
			Total	·	Q	4,500.00	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. Costos corte con maquinaria

Corte con maquinaria							
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario		Sub total		
Arrendamiento de excavadora	m³	5,579	Q 25.00	Q	139,475.00		
Total Q 139,47							

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Costos de relleno compactado

Relleno compactado							
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario		Sub total		
Arrendamiento de maquinaria compactadora	m³	2,145	Q 35.00	Q	75,075.00		
Total Q 75,075.0							

Tabla XIX. Costos retiro de material sobrante

Retiro del material sobrante									
Descripción	Unidad	Cantidad	Cost	o Unitario		Sub total			
Arrendamiento de cargador frontal	m³	1,500	Q	45.00	Q	67,500.00			
Arrendamiento camión de volteo de 14 m ³	m³	1,500	Q	35.00	Q	52,500.00			
Total Q 120,00									

Tabla XX. Costos base y drenaje

Base y dr	Base y drenaje del relleno sanitario						
	Materiale	s					
Descripción	Unidad	Cantidad	Cö	sto Unitario	Sub total		
Piedra bola	m³	52	Q	175.00	Q	9,100.00	
Arcilla para capa impermeable	m³	1,736	Ø	150.00	Q	260,400.00	
Tubos de PVC Ø 6" norma ASTM D 3034	Unidad	23	Q	695.00	Q	15,637.50	
Malla metálica	m²	320	Q	75.00	Q	24,000.00	
Geotextil	m²	135	Ø	55.00	Q	7,425.00	
Plástico de alta densidad	m²	1700	Q	35.00		59500	
		Total Q 376,062.5					
	Mano de o	bra					
Descripción	Unidad	Cantidad	Cos	sto Unitario		Sub total	
Colocación de tubería PVC Ø 6"	ml	140	Q	55.00	Q	7,700.00	
Compactación de arcilla	m³	1,200	Q	35.00	Q	42,000.00	
Armado de chimeneas	Global	8	Q	75.00	Q	600.00	
Colocación de geotextil y plástico	Global	1	Q	10,000.00	Q	10,000.00	
			Tota	I	Q	60,300.00	
				Totales			
		Total mater	iales		Q	376,062.50	
	Total mano de obra Q 60,300.00						
		Total Illano	400			00,000.00	
		Costo direct		***	Q	436,362.50	
			to				

Tabla XXI. Costos base y drenaje

	Cerco perim	etral				
	Materiale	s				
Descripción	Unidad	Cantidad	Cos	to Unitario		Sub total
Malla metálica	m²	320	Q	75.00	Q	24,000.00
Tubo galvanizado Ø 3"	Unidad	34	Q	105.00	Q	3,570.00
Alambre espigado	Rollo	1	Q	350.00	Q	350.00
Grapas para alambre de púas	Libra	5	Q	10.00	Q	50.00
Puerta principal	Unidad	1	Q	1,800.00	Q	1,800.00
Candado	Unidad	1	Q	115.00	Q	115.00
	•		Total		Q	29,885.00
	Mano de o	bra				
Descripción	Unidad	Cantidad	Cos	to Unitario		Sub total
Colocación de malla metálica	ml	168	Q	20.00	Q	3,360.00
Colocaciónde alambre espigado	ml	168	Q	35.00	Q	5,880.00
Colocación de puerta principal	Global	1	Q	500.00	Q	500.00
	·		Total		Q	9,740.00
				Totales		
		Total mater	iales		Q	29,885.00
		Total mano	de ob	ra	Q	9,740.00
		Costo direc	to		Q	39,625.00
		Cantidad m	etros	lineales		168
		Costo unit	ario (de cercado	Q	235.86

Tabla XXII. Costos canal de aguas y escorrentía

Can	al de aguas de	escorrentía					
	Materiale	s					
Descripción	Unidad	Cantidad Costo Unitario Sub total					
Cemento	sacos	45	Q	72.00	Q	3,240.00	
Arena	m³	12	Q	150.00	Q	1,800.00	
Piedra bola	m³	16	Q	350.00	Q	5,600.00	
			Total		ø	10,640.00	
	Mano de o	bra					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Unitario		Sub total	
Fundición	ml	90	Q	55.00	Q	4,950.00	
Excavación manual	ml	90	Q	20.00	Q	1,800.00	
			Total		Q	6,750.00	
				Totales			
		Total mater	iales		Q	10,640.00	
		Total mano de obra Q 6,750.00					
		Costo directo Q 17,390.00					
		Cantidad m	etros lin	eales		90	
		Costo ur	nitario d	e canal	Q	193.22	

Tabla XXIII. Costos de chimenea

	Chimene	a					
	Materiale	s					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Unitario	Sub total		
Malla electrosoldada de 4 mm	Unidad	24.2	Q	75.00	Q	1,815.00	
Piedra bola	m³	88	Q	150.00	Q	13,200.00	
Alambre de amarre	lb	16	Q	8.00	Q	128.00	
	<u>, </u>	Total			Q	15,143.00	
	Mano de o	bra					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario		Sub total		
Armado de chimenea	Global	1	Q	65.00	Q	65.00	
Excavación manual	ml	90	Q	20.00	Q	1,800.00	
	•	Total			Q	1,865.00	
		Totales					
		Total materiales Total mano de obra			Q	15,143.00	
					Q	1,865.00	
	Costo directo Cantidad metros lineales				Q	17,008.00	
					110		
		Costo unitario de canal Q				154.62	

Tabla XXIV. Costos administración

Personal administrativo								
Descripción	Unidad	Cantidad	Cos	sto Unitario	S	ub total		
Salario Jefe de relleno sanitario	Global	1	Q	8,000.00	Q	8,000.00		
Supervisor	Global	1	Q	5,500.00	Ø	5,500.00		
Operadores al mes	Global	1	Ø	2,500.00	Ø	2,500.00		
Guardian	Global	1	Ø	800.00	Ø	800.00		
		Total al mes			Q	16,800.00		

Tabla XXV. Costos operación y mantenimiento

Operación y mantenimiento								
Descripción	Unidad	Cantidad	Co	sto Unitario	Sub total			
Alquiler de tractor de oruga/mensual	Global	1	Q	15,000.00	Q	15,000.00		
Vehículos livianos/mes	Global	1	Ø	1,200.00	Q	1,200.00		
Gasolina/mes	Galones	13	Ø	35.00	Q	455.00		
Diesel/mes	Galones	50	Q	33.50	Q	1,675.00		
Lubricantes	Global	1	Ø	800.00	Q	800.00		
Repuestos	Global	1	Ø	1,500.00	Q	1,500.00		
Imprevistos	Global	1	Q	200.00	Q	200.00		
		Total al mes Q			Q	20,830.00		

8. IMPACTO AMBIENTAL INICIAL

Cualquier proyecto de ingeniería presenta un impacto negativo al medio ambiente en su ejecución y manejo, para el caso específico del proyecto de relleno sanitario están presentes una serie de amenazas o impactos las cuales se detallarán a continuación.

8.1. Biogás

Las emisiones incontroladas de biogás, compuesto fundamentalmente por metano y dióxido de carbono, además de una gran lista de componentes en cantidades pequeñas y traza, se realizan a través de la superficie del vertedero o del subsuelo, generando malos olores, diversos efectos sobre la vegetación colindante, incluso explosiones en el seno del vertedero o sobre su superficie, además de ser, el metano, un agente potenciador del efecto invernadero del planeta.

Entre los riesgos que se presentan por la producción de biogás están las explosiones o incendios, debido a que el contenido principal de éste es el metano, el límite explosivo del metano está entre 5 y 15% en aire a presión atmosférica y temperatura ambiente, por lo que se puede encender con alguna chispa debido a una falla eléctrica, el encendido de un fósforo, etc., por lo que se debe tener especial cuidado en el manejo del mismo.

8.2. Malos olores

Una de las características de un relleno sanitario es el olor, que es lo más difícil de controlar, el olor disminuye con la compactación, el cubrimiento y la disminución y la disminución de la producción de lixiviados, pero siempre queda un remanente, el problema principal se lleva a cabo en la durante la operación de depósito y durante la fase de fermentación anaerobia cuando los residuos tienen contacto con el aire.

En algunos casos se utiliza cal viva la cual se esparce sobra la basura seca o humedecida con lixiviados obteniéndose con esto buenos resultados en la disminución del mal olor.

8.3. Daños a la vegetación

Las plantas son afectadas por falta de oxígeno en la zona de putrefacción, esto les causa asfixia, además las altas concentraciones de dióxido de carbono y algunos componentes como el ácido sulfúrico son también tóxicos para las plantas.

8.4. Contaminación atmosférica

El mayor problema atmosférico causado por los residuos es el de su quema o incineración, ya sea por incendios en los vertederos o por incineración controlada, en los vertederos incontrolados se originan a veces incendios espontáneos, ya sea por presencia de materia combustible o por explosiones debidas al metano producido por la fermentación anaerobia.

La incineración de los residuos genera diferentes contaminantes tóxicos; tales como partículas sólidas, como SO₂, CFC, PCBs, etc y contaminantes muy tóxicos como metales pesados Pb y Cd, gases clorados y fluorados, estos últimos pueden causar malformaciones fetales, cáncer e inmunodeficiencia.

8.5. Efecto invernadero

El metano y el dióxido de carbono producidos en el proceso de fermentación de los desechos sólidos contribuyen significativamente en el efecto invernadero, se estima que el metano contribuye entre un dieciocho y veinte por ciento a la fuerza radiactiva que incrementa el efecto invernadero natural, y de éste de un once por ciento se debe al depósito de residuos sólidos en relleno sanitario.

8.6. Contaminación de aguas superficiales y subterráneas

La presencia de lixiviados en el agua agotan el oxígeno en la misma, en el caso de los ríos se produce asfixia de las crías de los peces ya que se acumulan sustancias oxidantes de hierro en las branquias, también se produce una alteración de la flora y fauna del fondo del río.

La contaminación de las aguas subterráneas constituye el mayor impacto ambiental relacionado a los lixiviados, los casos de contaminación de aguas subterráneas está relacionado con antiguos vertederos en los que no existen medidas de control para que el lixiviado no pase hacia el nivel freático.

8.7. Contaminación auditiva

Ésta es producida por el movimiento de los camiones que llegan a depositar los residuos sólidos al relleno sanitario y por la maquinaria que trabaja en el mismo realizando movimientos de tierra y de los desechos sólidos.

8.8. Plagas

Existe el riesgo que animales se alimenten y habiten en el relleno sanitario lleguen a transmitir una serie de enfermedades causadas por microorganismos como virus, bacterias, protozoos, hongos y helmintos, todos estos representan un riesgo para la salud del ser humano, si se considera necesario se puede llevar a cabo un plan de exterminación para controlar las plagas.

9. GUÍA PRELIMINAR PARA LA OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

9.1. Recursos humanos

El recurso humano para manejar un relleno sanitario va a depender de la cantidad de basura y de la complejidad que de ésta se derive.

Existe la creencia de que para manejar basura no se necesita de ningún adiestramiento, en esto radica, en gran parte, el estado lamentable en que se encuentran los rellenos sanitarios de Guatemala. Para la operación del relleno sanitario se propone el siguiente personal:

- Jefe del relleno sanitario: deberá ser un ingeniero sanitario, o civil, con especialidad en ingeniería sanitaria, en ambos casos debe tener adiestramiento en relleno sanitarios.
- Subjefe del relleno sanitario: es el que suple al jefe y sirve como asistente del mismo, y debe ser ingeniero civil o sanitario.
- Registrador, responsable de la báscula: es el encargado de tomar el peso de los camiones al momento de entrar al relleno y al momento de salir sin carga, así como llevar el control de la caseta de ingreso o registro, e informarle al ingeniero correspondiente las actividades realizadas diariamente.
- Piloto de compactadora: deben ser personas capacitadas en el manejo y mantenimiento de las máquinas que van a operar, y tener alguna experiencia, aunque no necesariamente en rellenos sanitarios. Deben tener conocimientos mínimos de mecánica para solucionar situaciones

imprevistas en la operación de la máquina. Su función es manejar la máquina que van a operar, en lo relacionado con movimientos de basura, material de cobertura, y mantenimiento de las vías de acceso.

- Obrero clasificador de desechos: es el encargado de clasificar la basura por el tipo de material que la constituye.
- Guardián del relleno: su labor es la de vigilar los linderos de la propiedad, las puertas de entrada y de salida así como la caseta o garita de ingreso, vigilar a los conductores de los vehículos oficiales y particulares para que no boten la basura en lugares diferentes de los indicados, además vigilar los equipos, las herramientas, y el lugar donde se almacenan los lubricantes y combustibles para la operación de las máquinas.

9.2. Maquinaria

Dentro de la maquinaria que comprende el mantenimiento y ejecución de un relleno sanitario se encuentra el buldócer o tractor que servirá para compactar la basura, estos camiones tienen que cumplir con cierto número de parámetros para que estas tengan un rendimiento adecuado dentro del relleno sanitario, a continuación se describen algunos de estos:

- Tipo de basura
- Tipo de material de cobertura
- Períodos de Iluvia
- Experiencia del operador
- Número de camiones que ingresan al relleno sanitario
- Frecuencia de la llegada de camiones
- Temperatura ambiente
- Capacidad de los camiones de basura

Es necesario que el camión tenga las medidas preventivas necesarias en su estructura ya que por la diversidad de desechos que se pueden presentar, este está propenso a sufrir desperfectos o daños.

9.3. Herramientas

Dentro de las herramientas que se deben utilizar en el relleno sanitario se tienen las siguientes:

- Azadón, el cual se utilizará para el mantenimiento de cunetas, y canales de drenaje y reforestación de áreas donde sea necesario.
- Machete, para hacer trabajos diversos que tengan que ver con la maleza que se encuentre en el área del relleno sanitario.
- Martillo, para la construcción y mantenimiento de diversos tipos de estructuras.
- Carreta de albañil que servirá para acarrear internamente desechos sólidos y material de cobertura.
- Balanza o pesa, ésta se utilizará para determinar el peso de los diferentes tipos de desechos que ingresan al relleno sanitario, puede servir para implementar una tarifa, y tener una base de datos de los desechos sólidos que llegan al relleno.

9.4. Plan de operación

La finalidad del plan de operación es tener un control de todas las actividades que se llevan a cabo en el relleno sanitario, para que el relleno sanitario tenga un manejo eficiente.

CONCLUSIONES

- En el municipio de Tactic no se cuenta con un manejo y tratamiento adecuado de residuos sólidos, gran parte de la población deposita sus desechos en barrancos, o en la calle de manera incorrecta y esto causa problemas de salud debido a las plagas que los residuos sólidos producen.
- 2. El presente trabajo de graduación representa una propuesta para el tratamiento de desechos sólidos.
- Se propone el desarrollo de un relleno sanitario y una planta de compostaje para mejorar el problema de los desechos sólidos que aqueja al municipio de Tactic.
- 4. Se debe tener una iniciativa de ley por parte de las autoridades locales para llevar a cabo una adecuada generación y propicia valoración de los desechos sólidos, a través de una gestión y manejo integral.
- 5. Es importante tener especial cuidado en la humedad que van a tener los desechos en la planta de compostaje ya que si es demasiada alta los restos se pueden empezar a descomponer muy rápido y con esto no se lograría el objetivo del compostaje.
- 6. No mezclar papel períodico con los desechos que se van a compostar, este tipo de papel cuenta con muchos metales pesados debido a las

tintas que se utilizan en la impresión, es recomendable reciclarlos y aprovechar su valor económico.

- 7. La densidad que presentan los residuos sólidos es de 44.1 lb/m³ ó 20.33 kg/m³.
- 8. Cada habitante del municipio de Tactic genera diariamente 0.04 m³ (1.73 lb) de desechos sólidos y 14.08 m³ (630.89 lb) anualmente.
- 9. Por vivienda se produce diariamente un promedio de 0.19 m³ lo cual equivale a 70.4 m³ anuales de desechos sólidos.
- El relleno sanitario tiene área de 3,524 m² con una capacidad de 33,478
 m³ para depositar los residuos sólidos.
- 11. Se debe de utilizar un sistema de drenaje pasivo que se debe construir durante la operación del relleno para evitar que los lixiviados contaminen el agua del río Cahaboncito.
- 12. El costo aproximado total del proyecto para el mes de septiembre de 2011 es de Q. 969,034.00, equivalente a US\$ 123, 917.00 con un cambio de US\$ 7.82 por Q1.00, correspondiente a la fecha antes citada.
- 13. De no alcanzarse un índice de pH de 7 se debe añadir cal o químicos según las características de los desechos sólidos para lograr un valor aproximado a este.

RECOMENDACIONES

- Compostar los desechos sólidos biodegradables para reducir la cantidad de desechos que se depositarán en el relleno sanitario, con esto se reduce la cantidad de lixiviados que generará el relleno sanitario.
- 2. Controlar de manera adecuada el tratamiento que se le dará a los lixiviados que se generarán en el relleno sanitario, es recomendable el tratamiento en laguna la cual en el fondo se debe de cubrir de humus y arena, el humus se puede obtener del proceso de compostaje, el espesor de esta capa debe ser de 10 centímetros .
- No regar las pilas de compost con agua lixiviada, ya que esta cuenta con alto índice de contaminación y pone en riesgo la higiene del producto final de este proceso.
- 4. En las pilas de compostaje se debe mantener una temperatura comprendida entre 35 y 60 °C para eliminar elementos patógenos y parásitos que puedan perjudicar la higiene del compost.
- 5. Se recomienda verter tierra sobre la pila de desechos en época de calor, esto evitará que el oxígeno se consuma más rápido y disminuirá la producción de malos olores.
- 6. Realizar por parte de las autoridades de la municipalidad de Tactic un plan de operación y mantenimiento del relleno sanitario y planta de compostaje para fijar horarios de trabajo, derechos y obligaciones de los

trabajadores, así como de la población a la cual servirá el relleno sanitario.

7. Proporcionar a los trabajadores el equipo necesario para que sean identificados plenamente y con ello puedan contar con las medidas necesarias de seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

- COLOMER MENDOZA, Francisco Antonio; IZQUIERDO GALLARDO, Antonio. Tratamiento y gestión de residuos sólidos. México: Limusa, 2007. 319 p. ISBN: 9789681870362.
- COLLAZOS PEÑALOZA, Héctor. Diseño y operación de rellenos sanitarios. 3a ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. 240 p. ISBN: 9789588060736.
- 3. Consejo Municipal de Desarrollo. *Plan de desarrollo para el municipio de Tactic, Alta Verapaz 2011-2025.* Guatemala: CMD, 2011. 30 p.
- HERNÁNDEZ DÍAZ, José Roberto. Manejo de los desechos sólidos en el municipio de Jocotán. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2004. 76 p.
- 5. RÖBEN, Eva. *Manual para el diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales.* Ecuador: DED/ Ilustre Municipalidad de Loja, 2002. 151 p.
- 6. SAKURAI, Kunitoshi. *Método sencillo del análisis de residuos sólidos*. Hoja de divulgación técnica. CEPIS/OPS. 2000. 100 p.

ANEXOS