

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO, H₂S, CH₄ Y O₂ GENERADOS POR LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DESECHADOS EN EL RELLENO SANITARIO UBICADO EN EL KILÓMETRO 22 DE LA RUTA AL PACÍFICO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS, REALIZADO EN LA DIVISIÓN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS, EN LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C.A.

ELIZABETH JOANNA GIRÓN BRINCKER

GUATEMALA, MAYO 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO, H₂S, CH₄ Y O₂ GENERADOS POR LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DESECHADOS EN EL RELLENO SANITARIO UBICADO EN EL KILÓMETRO 22 DE LA RUTA AL PACÍFICO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS, REALIZADO EN LA DIVISIÓN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS, EN LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C.A.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

ELIZABETH JOANNA GIRÓN BRINCKER

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA, MAYO 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez
VOCAL PRIMERO	Dr. Ariel Abderramán Ortiz López
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. MSc. Oscar René Leiva Ruano
VOCAL CUARTO	Br. Ana Isabel Fión Ruiz
VOCAL QUINTO	Br. Luis Roberto Orellana López
SECRETARIO	Ing. Agr. Carlos Roberto Echeverría Escobedo

GUATEMALA, MAYO 2013

Guatemala, mayo 2013

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación, **ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO, H₂S, CH₄ Y O₂ GENERADOS POR LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DESECHADOS EN EL RELLENO SANITARIO UBICADO EN EL KILÓMETRO 22 DE LA RUTA AL PACÍFICO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS, REALIZADO EN LA DIVISIÓN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS, EN LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE ÁMATITLAN, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C.A.**

Como requisito para optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos para su aprobación, me es grato suscribirme,
Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

ELIZABETH JOANNA GIRÓN BRINCKER

200817575

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios
Por nunca dejarme sola y acompañarme en el recorrido de toda mi vida, por guiarme y derramar la sabiduría necesaria para poder culminar esta etapa tan importante en mi vida, porque todo lo que soy es gracias a Él.

A Mi Padre
Claudio Hernán Girón Castillo, por su constante entrega, amor, dedicación y paciencia durante toda la etapa de mi vida, porque me enseñó los valores de la vida para salir adelante, gracias porque siempre has puesto a tus hijos de primero, este triunfo es para ti. TE AMO.

A Mi Madre
Nydia Elizabeth Brincker de Girón, por tu amor incondicional, esfuerzo, esmero, paciencia, por ser mi amiga y darme los mejores consejos y enseñarme la mejor forma de conducirme en la vida, este triunfo es para ti. TE AMO.

A Mis Hermanos
Claudio Harold Girón Brincker y Roberto Hernán Girón Brincker, Por acompañarme durante esta etapa de formación y su apoyo incondicional.

A Mis Abuelas
Lupita y Tony, por brindarme su apoyo, entusiasmo y consejos para salir adelante. Las amo.

A Mis Tíos
Por su apoyo y cariño.

A Mis Primos
Por compartir parte de mi vida, y darme el apoyo que siempre necesite en especial a mi prima hermana Jackeline Brincker. Los quiero mucho.

A Mis Amigos
Por brindarme su amistad sincera, apoyo y llenar de alegría cada día que pase dentro y fuera de la universidad, en especial a Marisol Amador.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO DE LA DIVISIÓN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS EN LAS INSTALACIONES DE LA AUTORIDAD DEL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y EL LAGO DE AMATITLÁN	
1.1 PRESENTACIÓN.....	2
1.2 MARCO REFERENCIAL.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 METODOLOGÍA.....	6
1.4.1 Fase de gabinete inicial.....	6
1.4.2 Fase de campo.....	6
1.4.3 Fase de gabinete final.....	6
1.5 RESULTADOS.....	7
1.6 CONCLUSIONES.....	11
1.7 BIBLIOGRAFÍA.....	12
CAPÍTULO II. ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO, H₂S, CH₄ Y O₂ GENERADOS POR LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DESECHADOS EN EL RELLENO SANITARIO UBICADO EN EL KILÓMETRO 22 DE LA RUTA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C.A.	
2.1 PRESENTACIÓN.....	14
2.2 MARCO TEÓRICO.....	15
2.2.1 Marco conceptual.....	15
2.2.2 Definición de relleno sanitario.....	15
2.2.3 Gases generados dentro de un relleno sanitario.....	20

CONTENIDO	PÁGINA
2.2.4 Biogás.....	27
2.2.5 Detector de gases Dräger X-am 2000	34
2.2.6 La prueba de Kruskal-Wallis.....	35
2.2 MARCO REFERENCIAL	36
2.2.7 Antecedentes.....	36
2.2.8 Ubicación geográfica	37
2.2.9 Condiciones climáticas	37
2.2.10 Actividades realizadas en el relleno sanitario	38
2.2.11 Disposición de desechos sólidos en el relleno sanitario	39
2.2.12 Estudios realizados.....	40
2.3 OBJETIVOS.....	42
2.3.1 Objetivo general.....	42
2.3.2 Objetivos específicos.....	42
2.4 HIPÓTESIS	42
2.5 METODOLOGÍA	43
2.5.1 Fase de gabinete I.....	43
2.5.2 Fase de campo.....	43
2.5.3 Fase de gabinete II.....	45
2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
2.6.1 Estimación de la concentración de los gases CO, H ₂ S, CH ₄ y O ₂ generados en el relleno sanitario.....	48
2.6.2 Comportamiento de la concentración de los gases CO, H ₂ S, CH ₄ y O ₂ a lo largo del periodo de abril a agosto de 2012.....	50

CONTENIDO	PÁGINA
2.6.3 Diferencias entre las concentraciones monitoreadas para cada uno de los gases referidos con respecto a los meses evaluados.....	52
2.7 CONCLUSIONES.....	61
2.8 RECOMENDACIONES	62
2.9 BIBLIOGRAFÍA	63
 CAPÍTULO III. INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA DIVISIÓN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS, EN LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE ÁMATITLAN, VILLA NUEVA, GUATEMALA	
3.1 PRESENTACIÓN.....	67
3.2 SERVICIO 1: Determinación de la frecuencia de riego de la cortina arbórea ubicada en el relleno sanitario del km 22, ruta al pacifico, Villa Nueva, Guatemala	68
3.2.1 Objetivo	68
3.2.2 Metodología.....	69
3.2.3 Resultados.....	71
3.2.4 Conclusiones	79
3.2.5 Recomendaciones.....	79
3.3 SERVICIO 2: Elaboración del manual para el manejo adecuado de residuos sólidos -AMSA-	80
3.3.1 Objetivo	80
3.3.2 Metodología.....	80
3.3.3 Resultados.....	81
3.3.4 Conclusiones	83
3.4 SERVICIO 3: Impartición de Capacitaciones	84
3.4.1 Objetivos.....	84
3.4.2 Metodología.....	85

CONTENIDO	PÁGINA
3.4.3 Resultados.....	85
3.4.4 Conclusiones	85
3.5 SERVICIO 4: Reutilización de materiales de desecho	86
3.5.1 Objetivos.....	86
3.5.2 Metodología	86
3.5.3 Resultados.....	87
3.5.4 Conclusiones	87
3.5.5 Anexos.....	88
3.6 BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE CUADROS

CUADROS	PÁGINA
Cuadro 1. Análisis FODA	8
Cuadro 2. Materiales biodegradables.....	16
Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas	21
Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas	22
Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas	23
Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas	24
Cuadro 7. Valores comparativos respecto a combustibles.....	28
Cuadro 8. Concentración habitual de estos componentes en el biogás.....	29
Cuadro 9. Valores estimados para la relación de generación de CH ₄ -K-.....	33
Cuadro 10. Parámetros de medición de gases	34
Cuadro 12. Concentraciones medias de composición de biogás	48
Cuadro 13. Composición de gases en el biogás	49
Cuadro 14. Prueba de Kruskal-Wallis para gas metano.....	53
Cuadro 15. Prueba de Kruskal-Wallis para oxígeno.....	53
Cuadro 16. Prueba de Kruskal-Wallis para monóxido de carbono	54
Cuadro 17. Prueba de Kruskal-Wallis para sulfuro de hidrógeno.....	54
Cuadro 18. Análisis de medias de CH ₄	55
Cuadro 19. Análisis de medias de O ₂	55
Cuadro 20. Análisis de medias de CO	55
Cuadro 21. Análisis de medias de H ₂ S.....	56
Cuadro 22. Caudales y Volúmenes del Riego.....	72
Cuadro 23. Área por planta	73
Cuadro 24. Temperatura máxima en grados centígrados	74
Cuadro 25. Temperatura mínima en grados centígrados	74
Cuadro 26. Lluvia en mm	74
Cuadro 27. Promedios mensuales y anuales de evaporación (mm/día)	75
Cuadro 28. Riego cada vez que se consume el 30 % de la humedad disponible	76
Cuadro 29. Riego cada vez que se consume el 60 % de la humedad disponible	77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINA
Figura 1. Ubicación de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán	4
Figura 2. Composición óptima de biogás en una celda de relleno sanitario.....	19
Figura 3. Gráfica de LIE	26
Figura 4. Dräger X-am 2000.....	34
Figura 5. Ubicación del Relleno Sanitario	37
Figura 6. Porcentaje de disposición de desechos sólidos por municipio en el relleno sanitario.....	39
Figura 7. Chimeneas.....	43
Figura 8. Instalación de chimeneas.....	43
Figura 9. Distribución de chimeneas enumeradas	44
Figura 10. Concentración de CH ₄	51
Figura 11. Concentración de O ₂	51
Figura 12. Concentración de CO.....	52
Figura 13. Concentración de H ₂ S.....	52
Figura 14. Manual adecuado de residuos sólidos –AMSA-.....	81
Figura 15. Recolección de material PET Figura 16. Construcción de módulos de lancha ..	88
Figura 17. Recolección de material PET Figura 18. Construcción de módulos de	88

TRABAJO DE GRADUACIÓN ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO, H₂S, CH₄ Y O₂ GENERADOS POR LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DESECHADOS EN EL RELLENO SANITARIO UBICADO EN EL KILÓMETRO 22 DE LA RUTA AL PACÍFICO, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS, REALIZADO EN LA DIVISIÓN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS, EN LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE ÁMATITLÁN, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C.A

RESUMEN

Durante el desarrollo del Ejercicio Profesional Supervisado, realizado de febrero a noviembre del año 2012, se proporcionó apoyo a la División de Manejo de Desechos Sólidos, de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, cuyo diagnóstico presentado en el Capítulo I, pudo detectar los principales problemas que se presentan en la entidad con respecto a personal capacitado, medidas de protección y los implementos necesarios para llevar un monitoreo adecuado del relleno sanitario del kilómetro 22. Se detectó que la falta de control de la generación de gases en el relleno sanitario era un tema importante, por lo que se realizó la investigación sobre la estimación de gases de CO, H₂S, CH₄ Y O₂ generados dentro del relleno sanitario. Los resultados se presentan en el Capítulo II. Esta investigación se realizó con la ayuda del equipo de detección de gases Dräger X-am 2000, y fue analizada por medio del programa InfoStat para conocer la variación de los gases referidos y a través de ecuaciones establecidas por la *Guía técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire*, se procedió a realizar la estimación de biogás generado dentro del relleno sanitario, obteniéndose las evidencias estadísticas que explican la variación estacional en los resultados de composición del biogás. En el Capítulo III, se presentan los servicios realizados dentro de la división de Desechos Sólidos, los cuales fueron priorizados de acuerdo a sus necesidades en la fase de diagnóstico durante el Ejercicio Profesional Supervisado. Se determinó la frecuencia de riego en la cortina arbórea ubicada dentro del relleno sanitario y se elaboró un manual para el manejo adecuado de residuos sólidos. Así mismo, se impartieron capacitaciones de concientización ambiental, y se realizó un proyecto para el aprovechamiento de materiales reciclables.

**CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO DE LA DIVISIÓN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS
EN LAS INSTALACIONES DE LA AUTORIDAD DEL MANEJO SUSTENTABLE DE LA
CUENCA Y EL LAGO DE AMATITLÁN**

1.1 PRESENTACIÓN

Como parte del programa de actividades a realizar en el Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA), de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se contempló la realización de un diagnóstico de la División de Manejo de Desechos Sólidos de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.

La División referida tiene a su cargo el manejo del relleno sanitario, el cual está al servicio de 14 municipios que conforman la cuenca del lago de Amatitlán. Desde el año 2000 se tienen registros de la operación del relleno indicando una disposición de un poco más de 2,000,000 de toneladas de desechos sólidos, donde diariamente continúan ingresando residuos de dichos municipios con un promedio de 575 toneladas diarias.

Para llevar a cabo el buen manejo del relleno sanitario es importante contar con el personal capacitado, medidas de protección y los implementos necesarios para llevar un monitoreo del mismo.

El siguiente diagnóstico da a conocer los principales problemas que enfrenta la División de Desechos Sólidos de la Autoridad del Manejo Sustentable de la Cuenca y Lago de Amatitlán.

1.2 MARCO REFERENCIAL

Es importante dar a conocer el enfoque de trabajo de la Autoridad para el manejo de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, para poder entender el porqué de los trabajos que se están realizando.

Visión

Procurar la integración de recursos necesarios para devolverle a la humanidad, en el menor tiempo posible, el Lago de Amatitlán en condiciones adecuadas para su uso y disfrute sostenible, a través del manejo apropiado de la cuenca de acuerdo a su ley de creación.

Meta crucialmente importante

Devolverle a la humanidad el Lago de Amatitlán en condiciones adecuadas, para uso y disfrute sostenible.

Misión

Somos la Autoridad para el rescate del Lago de Amatitlán que, a través del trabajo en equipo con los diferentes sectores de la sociedad, procuramos los medios necesarios y aplicamos estrategias socio-ambientales para resguardar los recursos naturales y culturales de los catorce municipios de influencia, mediante la ejecución de planes, programas y proyectos, garantizando la mejora de vida de sus habitantes.

Ubicación y localización de AMSA

Las oficinas Centrales se ubican en el kilómetro 22 CA-9 Bárcenas, Villanueva.

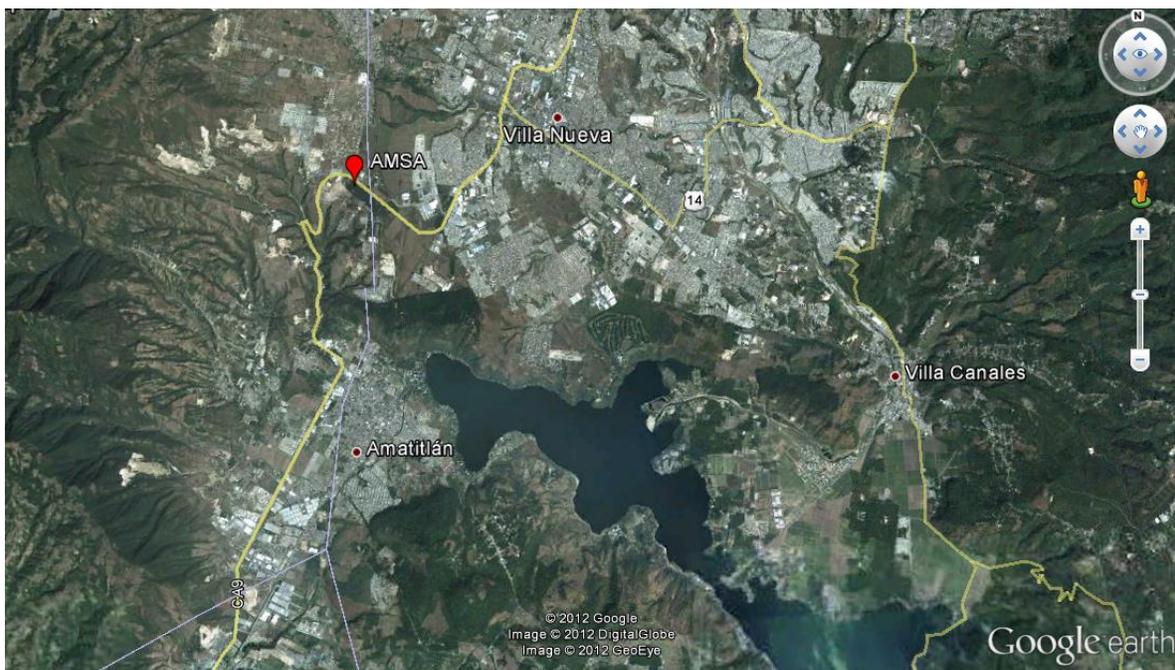


Figura 1. Ubicación de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán

Alcance del proyecto

Constantemente se realiza la limpieza de las Playas Públicas de Amatitlán, Villa Canales y San Miguel Petapa; para evitar que masas de lirio acuático y residuos sólidos provoquen focos de contaminación en las áreas de recreación.

División de Manejo de Desechos Sólidos

Encargado del buen funcionamiento del relleno sanitario y tratamiento de lixiviados y de la supervisión de la planta de clasificación y compostaje.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Realizar un diagnóstico para conocer la situación actual dentro del Área de Manejo de Desechos Sólidos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los principales problemas que presenta el Área de Manejo de Desechos Sólidos relacionados al manejo del relleno sanitario.
- Priorizar los problemas encontrados a través de herramientas de análisis como el FODA y el árbol de problemas.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Fase de gabinete inicial

- Reconocimiento del área de trabajo: Se tuvo un primer acercamiento con la institución, específicamente con la División de Manejo de Desechos Sólidos de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Lago de Amatitlán –**AMSA**-.
- Recolección de información primaria: Se obtuvo información a través de charlas y entrevistas orales con el personal de trabajo de la División de Manejo de Desechos Sólidos de La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Lago de Amatitlán –**AMSA**-.
- Revisión de información secundaria: Se realizó una recopilación y revisión de información bibliográfica proveniente de libros, documentos y diagnósticos realizados con anterioridad.

1.4.2 Fase de campo

- Reconocimiento del área: Durante esta etapa se visitó el relleno sanitario con el fin de conocer cuáles son los problemas que enfrentan las personas que trabajan dentro de esta área.

1.4.3 Fase de gabinete final

- Clasificación de la información obtenida: Se ordenó y clasificó la información obtenida para proceder a su análisis y priorización de los problemas.

1.5 RESULTADOS

La información recopilada incluye los siguientes aspectos:

- El sitio opera de 8 a 18 horas, de lunes a sábado.
- El relleno sanitario realiza trabajos de gravimetría de ingreso de basura, clasificación y compostaje de desechos, compactación de basura, cobertura de la basura, tratamiento de lixiviados y tratamiento de gases.
- Al sitio de disposición ingresan aproximadamente 575 toneladas diarias de desechos sólidos de las 1320 toneladas que se generan en toda la cuenca.
- El personal que trabaja dentro de la división no cuenta con una noción de seguridad industrial adecuada para realizar sus respectivas atribuciones.
- Existen instrumentos dentro de la división que no se encuentran en uso debido a la falta de personal capacitado.
- Existen núcleos habitados en el entorno en un radio de 1.5 km del relleno sanitario del kilómetro 22 lo que causa problemas entre los vecinos e institución.
- Se cuenta con un aproximado de 600 árboles sembrados para disminuir la contaminación visual generada por el relleno sanitario.
- Dentro de los gases que se generan en un relleno se puede mencionar: CH₄, CO₂ entre otros.

- Los gases que se generan dentro del relleno sanitario han sido controlados únicamente a través de cobertura por capas de los desechos sólidos, lográndose controlar la producción de incendios.

El análisis se llevó a cabo por medio de la técnica FODA, la cual evalúa las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas que existen dentro de la división de la institución.

Cuadro 1. Análisis FODA

Análisis FODA		
	Positivo	Negativo
Interno	<p>Fortaleza</p> <p>Cuentan con personal recolector dentro del relleno.</p> <p>Existen chimeneas para venteos pasivos dentro del relleno sanitario.</p> <p>Existe un orden dentro del relleno para la disposición final.</p> <p>Existe una cobertura diaria de los desechos sólidos.</p> <p>Se cuenta con equipo para monitoreo de gases.</p> <p>Existe una planta</p>	<p>Debilidades</p> <p>Personal de trabajo no cuenta con seguridad industrial adecuada</p> <p>Personal de recolección no cuenta con seguridad industrial adecuada</p> <p>El agua utilizada para riego es insuficiente para riego de la cortina arbórea en verano.</p> <p>El sistema de riego no es aprovechado para sus funciones</p> <p>No cuentan con información de la cantidad de gases que se generan en el relleno</p>

	<p>clasificadora.</p> <p>Cuentan con una cortina arbórea para minimizar contaminación visual.</p> <p>Existe un sistema de riego para la cortina arbórea.</p> <p>Se le da mantenimiento de chapeo a la cortina arbórea a través del personal de campo</p> <p>Poseen un reglamento de manejo de relleno sanitario.</p> <p>Se cuenta con control de ingreso de toneladas de desechos sólidos.</p> <p>Se cuenta con control de ingreso de camiones municipales y privados.</p>	<p>No se cuenta con el material adecuado para venteos pasivos dentro del relleno sanitario.</p> <p>No se cuenta con personal para realizar los monitoreos de gases.</p> <p>Incendios provocados por fugas de gas</p> <p>Intoxicación de personas que se encuentran dentro del relleno sanitario.</p> <p>No cuentan con un manual de manejo adecuado de desechos sólidos.</p> <p>Incendios provocados por la cantidad de gases.</p>
Externo	<p>Oportunidades</p> <p>Existen empresas que compran el material valorizable recolectado</p> <p>El biogás puede ser</p>	<p>Amenazas</p> <p>Intoxicación de personas que se encuentran aledañas al relleno sanitario.</p> <p>Existen colonias</p>

	<p>vendido a empresas.</p> <p>Donación de toneles para venteos pasivos.</p> <p>Disminución de la contaminación ambiental.</p> <p>Cuentan con una concesión con la municipalidad de Villa Nueva para donación de cisternas de agua.</p>	<p>aledañas al relleno sanitario.</p> <p>No existe presupuesto.</p> <p>Contaminación atmosférica.</p> <p>Contaminación de fuentes de agua por desplazamiento horizontal de gases.</p>
--	--	---

Fuente: Elaboración propia

1.6 CONCLUSIONES

- En el relleno sanitario ubicado en el kilómetro 22, se disponen 575 toneladas de desechos sólidos diarias, los cuales producen en su descomposición una actividad bacteriológica que genera diferentes tipos de gases, entre ellos el metano (CH₄) los cuales en ningún momento se les da un aprovechamiento.
- La división de desechos sólidos no cuenta con información de la cantidad de gases principalmente el metano, que se producen dentro del relleno sanitario.
- La falta de presupuesto dentro de la Autoridad del Manejo Sustentable de la Cuenca y el Lago de Amatitlán, hace que no se le dé aprovechamiento a los gases que se generan por la descomposición de los desechos.
- La cortina arbórea ubicada dentro del relleno sanitario carece de mantenimiento de riego ya que no se cuenta con el recurso agua necesaria para poder regarlas.
- La división no cuenta con un manual que pueda ser utilizado por las personas ajenas a la institución o incluso por los trabajadores de AMSA para poder llevar un manejo adecuado de desechos sólidos.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. Carbón Trade. 2010. Plan de trabajo de construcción de sistema de capacitación y oxidación térmica del biogás generado en el sitio de disposición de desechos Las Periqueras. Villa Nueva, Guatemala. 10 p.
2. Cellis, E. 2007. Diagnóstico ambiental. Villa Nueva, Guatemala, AMSA. 110 p.
3. COCEF (Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, MX). 2008. Manual de operación de relleno sanitario (en línea). México. Consultado 20 abr 2012. Disponible en http://virtual.cocef.org/Estudios_Mexico/MXest35/Proyecto%20Ejecutivo/Manual%20Relleno.pdf
4. Colmenares Mayanga, W; Santos Bonil, K. 2012. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final (en línea). Guatemala, AtlanticInternationalUniversity. Consultado 10 abr 2012. Disponible en http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario
5. Meléndez, E. 2004. Guía práctica para la operación de celdas diaria en rellenos sanitarios pequeños y medianos. Guatemala, USAID. 39 p.
6. Vega, W. 2010. Programa de recuperación ambiental de la cuenca del lago de Amatitlán. Villa Nueva, Guatemala, AMSA. 49 p.

**CAPÍTULO II. ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CO, H₂S, CH₄ Y O₂
GENERADOS POR LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
DESECHADOS EN EL RELLENO SANITARIO UBICADO EN EL KILÓMETRO 22 DE LA
RUTA AL PACÍFICO, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C.A.**

**CONCENTRATIONASSESSMENT OFCO, H₂S, CH₄ ANDO₂GENERATED BY
SOLID WASTEDECOMPOSITION IN A LANDFILLLOCATED AT KILOMETER22
ON THEPACIFIC ROUTE , VILLA NUEVA,GUATEMALA, C.A.**

2.1 PRESENTACIÓN

Como parte del Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía durante período comprendido entre febrero y noviembre del 2012 se realizó la investigación sobre la estimación de la concentración de CO, H₂S, CH₄ y O₂ generados por la descomposición de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario ubicado en el kilómetro 22 de la ruta al Pacífico, Villa Nueva, Guatemala.

La investigación se realizó con la ayuda del equipo de detección de gases Dräger X-am 2000, el cual indica la composición de CO, H₂S, CH₄ y O₂ que se produce en el relleno sanitario, dicha información fue tabulada, graficada y analizada por medio del programa InfoStat para conocer la variación de los gases referidos y a través de ecuaciones establecidas por la *Guía técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire*, se procedió a realizar la estimación de biogás generado dentro del relleno sanitario. La investigación fue realizada durante los meses de abril a agosto del 2012, para poder obtener datos de los meses de época seca y húmeda.

Los resultados obtenidos muestran que la composición del biogás varía conforme a la época seca y húmeda, obteniéndose una diferencia estadísticamente significativa en la generación de metano de acuerdo al aumento de humedad y una correspondiente disminución en la concentración de oxígeno ya que la fase aerobia es sustituida por bacterias metanogénicas que se desarrollan en una fase anaerobia, generándose una producción de mejor calidad de biogás durante los meses de junio, julio y agosto.

La estimación de biogás generado en el relleno sanitario es de 168.55 m³/hora, lo que permite en el relleno sanitario del kilómetro 22 se puedan generar 241.02 kwh/día, tomando en cuenta que la concentración del biogás producido en el relleno sanitario es menor al 60% de metano CH₄, lo que indica que el nivel de calidad de biogás es bajo ya que en condiciones menores al 50% de metano el biogás ya no es inflamable.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Marco conceptual

2.2.2 Definición de relleno sanitario

Según la propuesta de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles –ASCE, por sus siglas en inglés– el relleno sanitario es “ *una técnica para la disposición de la basura en el suelo, sin perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública valiéndose de un método que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área posible, reduciendo su volumen al mínimo aplicable, y cubriendo la basura, así depositada con una capa de tierra, por lo menos al fin de cada jornada*” (Meléndez, 2004). El relleno sanitario de la AMSA, dentro de sus posibilidades económicas, trata de cumplir con confinar la basura que se dispone, la compacta y la cubre.

En los rellenos se producen gases debido a la descomposición bacteriológica de los residuos sólidos como el metano, el dióxido de carbono y los compuestos sulfurosos, los cuales al no recibir ningún tratamiento pueden ser peligrosos por ser explosivos e inflamables, en el relleno sanitario de la AMSA se están iniciando tratamientos de venteos pasivos para darle una vía de salida a los mismos.

El período que se requiere para que los residuos sólidos domésticos se degraden y se produzca biogás dependerá de las siguientes variables: el número de organismos presentes en la basura, nutrientes, temperatura, acidez (pH), contenido de humedad, cobertura y densidad de compactación (Colmenares, 2007).

2.1.2 Factores que determinan la velocidad de degradación de los residuos sólidos

- **Composición de la basura:** A mayor cantidad de restos de alimentos presentes en la basura más rápido se generará biogás. El papel y materias orgánicas similares se degradan a una tasa menor y se resisten a la biodegradación. Los periodos de degradación de la basura varían enormemente de acuerdo con las sustancias y materiales de que está constituida y con las condiciones de aire, luz solar y humedad, como por ejemplo:

Cuadro 2. Materiales biodegradables

Tipo de material	Tiempo de degradación
1. Bolsas de plástico	12 a 20 años
2. Botella de vidrio	Cerca de 4000 años
3. Calcetines hechos de lana	1 a 5 años
4. Cáscara de naranja	6 meses
5. Cáscara de plátano o de banana.	2 a 10 días
6. Envases de leche (Tetrapack)	5 años
7. Estaca de madera	2 a 3 años
8. Estaca de madera pintada	12 a 15 años
9. Filtros de cigarrillos	1 a 2 años
10. Papel	2 a 5 meses
11. Pañuelos de algodón	1 a 5 meses
12. Telas de nailon	30 a 40 años
13. Zapatos de cuero	25 a 40 años

Fuente: Callister (1996)

- **Contenido de humedad:** El contenido de humedad es un parámetro importante en la generación de gas, ya que cuando ésta aumenta levemente, el proceso de generación de gas se incrementa de manera considerable. Es por eso que en los rellenos sanitarios se recomienda agregar agua o recircular los líquidos percolados para adicionar humedad a la basura. Para reducir impactos ambientales en los rellenos sanitarios es importante que se recircule el lixiviado, lo que hace a su vez que se reduzcan los costos de tratamiento. El clima es uno de los elementos determinantes del contenido de humedad en un relleno, y su efecto depende en alguna medida de las características de la cobertura y el grado de impermeabilidad de la base del relleno.

- **Mezcla:** La mezcla de los residuos sólidos en un relleno sanitario, es recomendable, pues este proceso permite poner en contacto a los organismos anaeróbicos con su fuente de alimentación. Lo mismo hace la recirculación de líquidos percolados.

- **Cobertura:** La cobertura periódica y sistemática de la basura evita que ésta entre en contacto con el aire, permitiendo la generación de condiciones anaeróbicas que la degradan y producen biogás. Mientras más pronto se den estas condiciones más rápidamente comienza a degradarse la basura.

- **Compactación:** La compactación de la basura genera el contacto con los nutrientes y la humedad, y tiende a expulsar el oxígeno presente, lo que a su vez tiende a reducir el tiempo en que se inicia la biodegradación anaeróbica.

2.1.3 Fases de la biodegradación de los residuos sólidos

Según Colmenares (2007) la biodegradación de los residuos sólidos sigue un patrón de cinco etapas, a saber:

- **Fase de ajuste inicial:** Esta fase es aeróbica y ocurre inmediatamente después de que la basura es depositada. En este proceso las sustancias de fácil biodegradación se comienzan a degradar a partir de su contacto con el oxígeno del aire. Esta primera fase de descomposición microbiana de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se realiza bajo condiciones aerobias, mientras se ejecutan las operaciones necesarias para introducir la materia orgánica en un medio que posea condiciones anaerobias: túneles de fermentación, digestor, vertedero, etc.; se produce CO_2 y la temperatura comienza a elevarse.

- **Fase de transición:** Esta etapa también es aeróbica, durante la cual aún no se desarrollan condiciones anaeróbicas. Ocurre un proceso de fermentación, donde se desarrollan ácidos en los líquidos percolados y se produce una caída importante en el pH. En estas condiciones el biogás está compuesto básicamente de CO_2 . Se caracteriza esta fase por el paulatino descenso de las condiciones aerobias, presencia de oxígeno, hasta su completa desaparición, comenzando la etapa anaerobia. El oxígeno desaparece del metabolismo respiratorio, siendo sustituido por compuestos inorgánicos oxidados, como el nitrito y el sulfito, los cuales, sometidos a un potencial de oxidación-reducción del medio en torno a -50 a -100 milivoltios, se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno.

En estas condiciones, el potencial reductor del medio irá incrementándose, y cuando llegue a valores en torno a -150 a -300 milivoltios, comenzará la generación de metano. Mientras sigue bajando el potencial de oxidación/reducción, los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica comienzan un proceso que se resume en la conversión del material orgánico complejo en ácidos orgánicos y otros productos intermedios. El pH de la fase líquida, si es que existe, comienza a caer debido a la presencia de ácidos orgánicos y al efecto de las elevadas concentraciones de CO_2 dentro del medio.

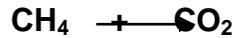
- **Fase ácida:** En esta fase se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase anterior con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno. Esta fase, predominada por las bacterias denominadas no metanogénicas o acidogénicas, puede resumirse en:

a. Transformación enzimática o hidrólisis de compuestos con alto peso molecular como los lípidos, polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos, etc., en otros compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuentes de energía y como transformación a carbono celular.

b. Conversión microbiana o acidogénesis de los compuestos resultantes del primer paso de este proceso, en compuestos intermedios de bajo peso molecular, como son el ácido acético, CH_3COOH , y las pequeñas concentraciones de ácido fólvico y otros ácidos más complejos.

- **Fase de fermentación del metano:** Esta fase se encuentra, dominada por microorganismos que comienzan a desarrollarse al final de la fase ácida, son organismos anaerobios denominados metanogénicos, se caracteriza por la conversión del ácido acético y el gas de hidrógeno, producidos por los formadores de ácidos en la fase ácida, en CH_4 y CO_2 . Es también donde la producción de metano alcanza su más alto nivel, con una concentración de metano estable en el rango de 40% a 60% por volumen de biogás. Los ácidos orgánicos en los líquidos percolados se descomponen inmediatamente en biogás. La carga orgánica de los percolados es baja y consiste principalmente en

componentes orgánicos de alta biodegradabilidad. Como las condiciones son eminentemente anaeróbicas los percolados tendrán una alta concentración de amoníaco.



Ácido acético

Metano

Dióxido de carbono

- **Fase de maduración:** Esta fase es mucho menos activa en cuanto a la generación de gases se caracteriza por una disminución de la humedad y la conversión del material biodegradable que anteriormente no estaban disponibles.

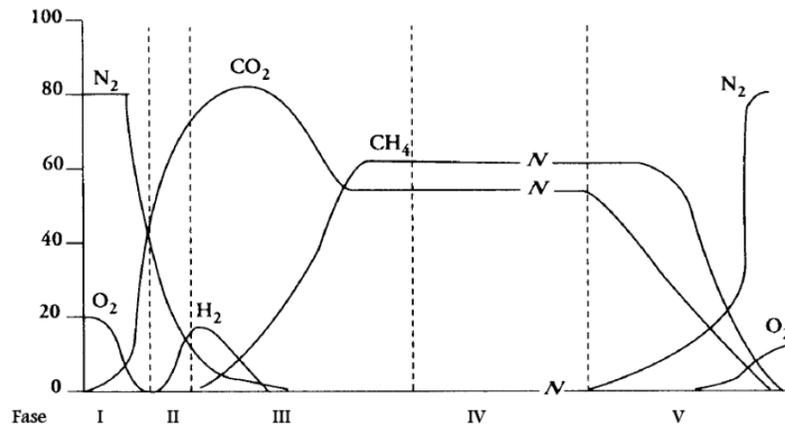


Figura 2. Composición óptima de biogás en una celda de relleno sanitario

Fuente: Camargo (2009)

La velocidad de generación del gas de vertedero disminuye significativamente, porque la mayoría de los nutrientes disponibles se han diluido en el medio líquido durante las fases anteriores, y los sustratos que quedan en el medio sólido son de una degradación lenta.

Las fases 1 y 2 pueden tener una duración de entre semanas a dos o más años. En general, una mayor temperatura ambiental tenderá a acelerar los procesos de biodegradación. Altas tasas de compactación y acumulación de la basura en capas delgadas también tendrán el mismo efecto. La acumulación de la basura en celdas pequeñas también acelerará las reacciones tendiendo a reducir la duración de estas etapas. Las fases 3 y 4, en tanto, pueden llegar a durar aproximadamente 5 años en su nivel más elevado para luego decaer progresivamente, dependiendo de las condiciones de operación del relleno y en particular del contenido de humedad de la basura. Como la

humedad tiende a acelerar las biorreacciones que ocurren en la basura, las precipitaciones tenderán a reducir la duración de estas etapas y a aumentar la generación de biogás en el tiempo. La recirculación de los líquidos percolados hacia las celdas de disposición contribuirá al contenido de humedad de la basura y a acelerar las reacciones.

La fase 5 de la biodegradación de los residuos sólidos dependerá en gran parte de las condiciones de operación desarrolladas desde un principio en un relleno.

2.2.3 Gases generados dentro de un relleno sanitario

Los gases encontrados en un relleno sanitario son: dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, ácido sulfhídrico, metano, nitrógeno y oxígeno, así como ácidos grasos volátiles (Guía para S.f).

2.2.3.1 Metano (CH₄)

Gas extremadamente inflamable. El metano no es tóxico, es incoloro, inodoro y es más ligero que el aire (Macy, 1992).

Nombre del producto: Metano

Familia química: Hidrocarburos alifáticos

Nombre químico: Metano

Fórmula: CH₄

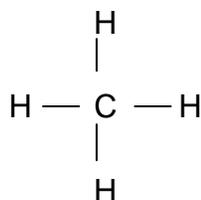
Sinónimos: Hidruro de metilo, gas de los pantanos o gas de salida.

Punto de inflamación: -187.8° C (-306° F)

Temperatura de autoignición: 537° C (999° F)

Límites de Inflamabilidad (en aire por volumen, %): Inferior (LEL): 5%
Superior (UEL): 15%

El metano contiene un átomo de C y cuatro átomos de H (C=12 y 4 H= 4), por tanto la estructura del metano se puede representar mediante la siguiente fórmula, en la que el carbono tiene una valencia cuatro y el hidrógeno una valencia uno



Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas

Propiedades físicas y químicas	
Densidad relativa de gas a 15° C (59° F), 1 atm	0.671 kg/m ³ (0.0419 lb/ft ³)
Punto de ebullición a 1 atm	-161.49° C (-258.64° F)
Punto de fusión a 1 atm	-182.48° C (-296.42° F)
Peso molecular	16.043
Gravedad específica a 15.6° C (60° F), 1 atm	0.554
Volumen específico del gas a 15.6° C (60° F) 1 atm	1.474 m ³ /kg (23.6113 ft ³ /lb)
Temperatura de combustión (en aire)	1957° C (3554.6° F)
Temperatura de combustión (en oxígeno)	2810° C (5090° F)
Apariencia y color	gas incoloro e inodoro

Fuente: Linde, AG (2009)

2.2.3.2 Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas comprimido, incoloro, insípido, inodoro, muy tóxico e inflamable. El monóxido de carbono es un asfixiante químico y puede ser fatal si es inhalado (De la Llata Loyola, 2003).

Nombre del producto: Monóxido de carbono

Familia química: Óxido no metalizado

Nombre químico: Monóxido de carbono

Fórmula: CO

Sinónimos: Óxido carbónico, óxido de carbono.

Temperatura de auto ignición: 650° C (1202° F)

Límites de Inflamabilidad (en aire por volumen, %): Inferior (LEL): 12%

Superior (UEL): 75%

Cuadro 4. Propiedades físicas y químicas

Propiedades físicas y químicas	
Peso molecular	28.01
Densidad del gas a 21.1o C (70o F) y 1 atm	1.161 Kg/m ³ (0.725 lb/ft ³)
Punto de ebullición a 1 atm	-191.5° C (-312.7° F)
Punto de fusión a 1 atm	-207° C (-340.6° F)
Gravedad específica a 21.1° C (70° F) y 1 atm	0.9676
Volumen específico del gas a 21.1° C (70° F) y 1 atm	0.862 m ³ /Kg (13.8 lb/ft ³)
Solubilidad en agua (V/V) a 0° C (32° F) y 1 atm	0.862 m ³ /Kg (13.8 lb/ft ³)
Apariencia y color	El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro

Fuente: Linde, AG (2009)

2.2.3.3 Oxígeno (O₂)

El oxígeno es un gas incoloro y sin olor. Es aproximadamente 1.1 veces más pesado que el aire y ligeramente soluble en agua y alcohol. El oxígeno solo, no es inflamable, pero alimenta la combustión.

Nombre del producto: Oxígeno

Nombre químico: Oxígeno

Fórmula: O₂

Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas

Propiedades físicas y químicas	
Densidad de gas a 0°C (32°F), 1 atm	1.411 kg/m ³ (0.088 lb/pies ³)
Punto de ebullición a 1 atm	-183.0°C (-297.4°F)
Punto de congelación / fusión a 1 atm	-218.8°C (-361.8°F)
Peso específico (aire = 1) a 21.1°C (70°F)	1.105
Peso molecular	32.00
Solubilidad en agua vol/vol a 0°C (32°F) y 1 atm	0.0491
Volumen específico del gas (ft ³ /lb)	12.1
Apariencia y color	Incoloro y sin olor a presión y temperatura normal.

Fuente: Linde, AG (2009)

2.2.3.4 Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable, con olor a huevo podrido, de sabor dulce y perceptible a concentraciones de 0.002 mg/L. Sin embargo, en concentraciones mayores de 500 ppm afecta la capacidad de percepción del nervio olfativo y con ello, impide su detección a través de este sentido, haciéndolo más peligroso. Es muy tóxico por lo que una exposición prolongada a este gas puede generar efectos adversos a la salud. Es considerado tan tóxico como el HCN, sin embargo su olor tan desagradable permite que sea percibido a muy bajas concentraciones.

Nombre del producto: Sulfuro de hidrógeno

Familia química: Óxido no metalizado

Nombre químico: Sulfuro de hidrógeno

Fórmula: H₂S

Sinónimos: Monosulfuro de dihidrógeno, sulfuro de dihidrógeno, sulfuro de hidrógeno, dihidruo de azufre.

Temperatura de auto ignición: 260°C (500°F)

Límites de Inflamabilidad (en aire por volumen, %): Inferior (LEL): 4.3%

Superior (UEL): 45.5%

Cuadro 6. Propiedades físicas y químicas

Propiedades físicas y químicas	
Peso molecular	34.08
Densidad del gas a 15oC (59°F) y 1 atm	1.44 Kg/m ³ (0.090 lb/ft ³)
Gravedad específica a 15°C (59°F) y 1 atm	1.189
Temperatura de ebullición	-60.3°C (-76.6°F)
Temperatura de fusión	-82.9°C (-117.2°F)
Solubilidad en agua (V/V) a 26.67°C (80°F) y 1 atm	2%
Presión de vapor a 15.5°C (60°F)	1579 Kpa (229 psia)
Apariencia y color	El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, de olor penetrante similar al del huevo podrido.

Fuente: Linde, AG (2009)

2.2.3.5 Movimiento de gases

En la mayoría de los casos, más del 90% del volumen de gas generado con la descomposición de residuos sólidos consiste en metano y dióxido de carbono. En condiciones normales, los gases generados en el suelo se emiten a la atmósfera mediante difusión molecular. En el caso de un relleno activo, la presión interna normalmente es mayor que la presión atmosférica y el gas de un relleno saldrá mediante difusión y flujo convectivo (conducido por presión).

Aunque la mayor parte del metano se dirige a la atmósfera, ambos, metano y dióxido de carbono se han encontrado en concentraciones hasta del 40% en distancias laterales hasta de 150 m de los bordes de vertederos sin recubrimiento. En vertederos sin ventilación, la extensión de este movimiento lateral varía según las características del material de cubierta y del suelo circundante. Si se escapa el metano de una forma incontrolada, puede acumularse (porque su peso específico es menor que el del aire)

debajo de edificios o en otros lugares cerrados. Con una extracción correcta el metano no debe suponerse un problema (State Water Resources,1967)

El dióxido de carbono, por su densidad puede acumularse en el fondo del vertedero. Si se utiliza un recubrimiento de suelo, el dióxido de carbono puede moverse desde allí hacia abajo, principalmente la difusión a través del recubrimiento hasta que llega al agua subterránea (hay que resaltar que se puede limitar el movimiento de CO₂, utilizando un recubrimiento de geomembrana, la cual es una lámina delgada y flexible producida con polietileno de alta densidad e impermeable). El dióxido de carbono es fácilmente soluble en agua y puede reaccionar con ella para formar ácido carbónico. Esta reacción baja en pH, que más tarde puede incrementar la dureza y el contenido mineral de agua subterránea mediante disolución.

Se controla el movimiento de gases del vertedero con el objeto de reducir emisiones atmosféricas, para minimizar la salida de emisiones olorosas, para minimizar la migración subsuperficial del gas, y para permitir la recuperación de energía a partir del metano. Los sistemas de control se pueden clasificar de pasivos y activos. En los sistemas pasivos de control del gas se utiliza energía en forma de vacío inducido para controlar el flujo de gas. Se puede lograr el control pasivo para ambos gases, principales, proporcionando caminos de más alta permeabilidad para guiar el flujo del gas en la dirección deseada (Ortiz, 2007).

2.2.3.6 Drenaje pasivo con chimeneas

Si se realiza el drenaje pasivo con chimeneas se deben de construir las chimeneas de drenaje durante la operación del relleno sanitario, estas aprovechan la difusión horizontal del gas de relleno ya que este se difunde hacia la próxima chimenea y por ella de manera controlada hacia afuera. Las chimeneas tienen una alta permeabilidad para el gas y en consecuencia queda muy baja la cantidad de gas que no se difunde por la chimenea, pero por la superficie del cuerpo de basura sí. Las chimeneas de drenaje según Colmenares (2007) se pueden construir de dos maneras:

- Jaula de malla con 4 puntales de madera, llenada con piedra bola o grava.
- Tubo perforado llenado con piedra bola o grava.

2.2.3.7 Límites de explosividad

Límite inferior de explosividad -LIE-: Es la concentración mínima de vapor-aire por debajo de la cual el fuego no se propaga.

Límite superior de explosividad -LSE-: Es la máxima concentración de vapor-aire por encima de la cual el fuego no se propaga.

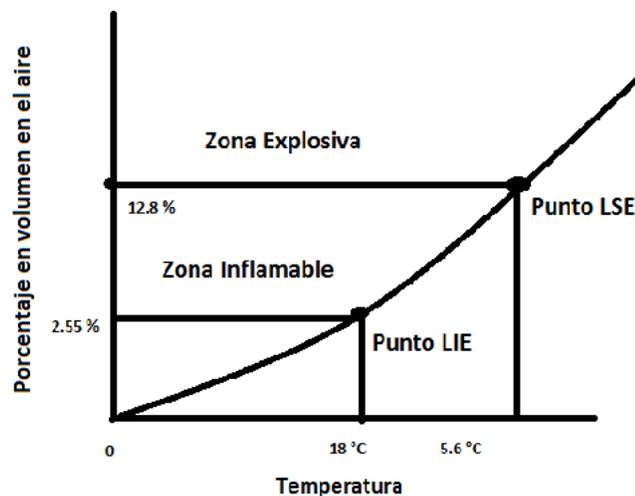


Figura 3. Gráfica de LIE

Fuente: Elaboración propia

Por debajo del LIE se considera que la mezcla es "demasiado pobre" para arder y por encima del LSE es "demasiado rica" también para arder.

Los límites de explosividad están fuertemente influidos por la temperatura y la presión a que está sometido el líquido inflamable. Los vapores que flotan sobre un líquido se

reducen al aumentar la presión que se opone a la vaporización y aumentan cuando desciende esta presión. También, a mayor temperatura el líquido tendrá mayor presión de vapor y tenderá a evaporarse en mayores cantidades. El punto de equilibrio sólo puede alcanzarse obviamente en sistemas cerrados como en tanques, tuberías, etc. Al aire libre el líquido vaporizable continuaría evaporándose hasta su total agotamiento (Soler & Palau, 2006).

2.2.4 Biogás

El biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaerobias. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente. Este proceso que genera biogás es una fuente de energía renovable (Colmenares, 2007).

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700 ° C (Diesel 350 ° C, gasolina y propano cerca de los 500 ° C). La temperatura de la llama alcanza 870 ° C. El biogás está compuesto por alrededor de 60 % de metano (CH_4) y 40% de dióxido de carbono (CO_2). El biogás contiene mínimas cantidades de otros gases, entre otros, 1% de ácido sulfhídrico (H_2S) (Colmenares, 2007).

El **valor calorífico** del biogás es cerca de 6 kilowatts por hora (kWh) por metro cúbico. Es decir que un metro cúbico de biogás es equivalente a aproximadamente medio litro de combustible diesel.

El gas de relleno o biogás es explosivo e inflamable. Si no se evacua de manera adecuada, se dispersa sin control dentro del relleno e invade también terrenos adyacentes. Puede causar incendios o explosiones. Si el CH_4 (metano) es explosivo en concentraciones entre 5 - 15 %; en concentraciones más elevadas de 15 %, es inflamable.

Debido a las propiedades del biogás se obtienen los siguientes valores comparativos respecto a los combustibles más convencionales (Pérez, 2006):

Cuadro 7. Valores comparativos respecto a combustibles

Biogás	Combustibles Convencionales
1m ³ de biogás (60% metano)	<ul style="list-style-type: none"> • 0.61 litros de gasolina • 0.583 litros de keroseno • 0.55 litros de diesel • 1.5 m³ de gas natural • 1.43 KWh de energía eléctrica • 0.5 a 1,5 Kg. de madera • 0.74 Kg. de carbón vegetal • 0.3 m³ de propano • 0.2 m³ de butano

Fuente: Pérez (2006)

2.2.4.1 Componentes del biogás

Es difícil hablar de una composición del biogás sin hacer referencia a la fase del proceso de degradación y al tipo de desechos vertidos. No obstante el hecho de que habitualmente los residuos son depositados en capas hace que el biogás recuperado en la superficie sea mezcla de los gases producidos por residuos de distinta edad. En esta mezcla tiene mayor peso relativo el gas generado por los residuos que se encuentran en la etapa metanogénica, pues esta etapa se caracteriza por los mayores caudales de gas emitidos y por su mayor duración en el tiempo.

La concentración habitual de estos componentes en el biogás recuperado en un relleno sanitario, expresada en tanto por ciento en volumen de gas seco, se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Concentración habitual de estos componentes en el biogás

CH₄ % vol	CO₂ % vol	N₂ % vol	O₂ % vol	H₂ % vol	CO% vol	NH₃ Mg/m³N	H₂S Mg/m³N
40-60	40-60	5	-	-	0.001	30	0.015

Fuente: Gendebien *et al.* (1992)

El contenido de metano es el parámetro más interesante, pues de él depende el poder calorífico del biogás. El contenido habitual de metano en el biogás está entre un 40-60 % como lo indica la tabla anterior. El metano es inflamable y, además es explosivo cuando se mezcla con oxígeno en determinadas proporciones. La presencia de oxígeno en el biogás se debe a la entrada de aire en las chimeneas para ventearlos.

El oxígeno no es estrictamente un componente del biogás ya que el biogás es fruto de una degradación anaerobia. Los residuos recién vertidos pueden retener el aire, también es posible la difusión de aire desde la atmósfera hacia la capa más superficial de los residuos cuando la actividad metanogénica es baja. No obstante la aportación de oxígeno debida a estos factores debe ser mínima, tanto por la poca cantidad que se retiene, como por el hecho de su rápido consumo en las primeras fases de la degradación de los residuos y por su arrastre inmediato con la corriente de biogás cuando se conecta el sistema de aspiración. Niveles de oxígeno mayores de 1 % en volumen son debidos a que los sistemas de extracción provocan entrada de aire y, por tanto, de oxígeno por fenómenos de convección (Eden, 1990; Brown & Maunder, 1994; Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido, 1994).

La ausencia de oxígeno libre es esencial para las bacterias anaerobias que producen el metano y dióxido de carbono, el oxígeno que penetra en el vertedero por difusión desde la atmósfera sólo afecta a la parte más superficial del mismo.

2.2.4.2 Cálculo de biogás

Cálculo de la relación de generación de metano ($m^3/año$)

Con la Ecuación 1 se puede realizar el cálculo de emisiones de biogás generado en el relleno sanitario del km 22 (Guía Técnica 2003).

$$QCH_4 = Lo * R (e^{-K*C} - e^{-K*T})$$

En donde se tiene:

QCH₄: Relación de generación de metano en el tiempo t ($m^3/año$)

Lo = potencial de generación de CH₄ en m^3/Tn de RSU vertida.

R = media anual de RSU en t/año

K = Relación de generación de CH₄ en 1/año

C = tiempo desde la clausura del vertedero en años

T = tiempo desde la primera deposición de basura en años

Para determinar los distintos valores de las variables descritas en la Ecuación 1 se procede de la siguiente manera:

Cálculo de potencial de generación de CH₄-Lo- :

Lo depende de la fracción orgánica de los RSU y de la humedad; el valor puede variar entre los siguientes valores de CH₄: 6.2 y 270 m^3/t de RSU.

Para la estimación del potencial de generación de CH_4 se procede con la Ecuación 1.1.

$$L_o = \text{DOC} * \text{DOCf} * 16/12 * F * \text{MCF} \quad (1.1)$$

En donde se tiene:

DOC = fracción de carbón orgánico degradable en la basura, procediendo de la siguiente manera, Ecuación 1.1.1

$$\text{DOC} = 0.4 * (\% \text{ papel y textiles}) + 0.17 * (\% \text{ orgánicos procedentes de jardines}) + 0.15 * (\% \text{ orgánicos de comida general}) + 0.38 * (\% \text{ madera}) \quad (1.1.1)$$

DOCf = porción de DOC que se convierte en gas, según Ecuación 1.1.2.

$$\text{DOCf} = 0.014 * T + 0.28 \quad (1.1.2)$$

Donde **T** es la temperatura en la zona anaeróbica que se considera como 35°C.

F = fracción de CH_4 en el gas gestionado, considerado como 0.5.

MCF = cantidad de CH_4 en el biogás, teniéndose los siguientes valores:

- Para vertederos gestionados se considera con valor = 1
- Para vertederos no gestionados de profundidad menor de 5m se considera con valor = 0.4
- Para vertederos no gestionados y más profundos se considera el valor = 0.8

Cálculo de media anual de residuos sólidos urbanos -R- :

Para realizar el cálculo de la media anual de RSU vertida, se procede con la Ecuación 1.1.3

$$R = \frac{\text{Capacidad del vertedero}}{\# \text{ de años en funcionamiento}} \quad (1.1.3)$$

Si la capacidad del vertedero se desconoce, pero se conocen sus dimensiones se calcula por medio de la siguiente ecuación: (Ecuación 1.1.4.)

$$\text{Capacidad} = \text{área de vertedero} * \text{profundidad del vertedero} * \text{densidad de RSU} \quad (1.1.4)$$

Se puede estimar la densidad de la basura de acuerdo a valores estándar, como sigue:

- Basura compactada: 653 – 831 kg/m³
- Basura degradada o asentada: 1,009 – 1,127 kg/m³
- Si se desconoce si ha sido compactada: 688 kg/m³

En caso que el vertedero reciba materiales no degradables éstos no deberán de considerarse en R. Se entiende como materiales no degradables el cemento, ladrillo, piedra, plástico, vidrio, metales y yeso.

Cálculo de la relación de generación de CH₄ -K- :

La proporción de generación de CH₄ depende de la humedad, pH, temperatura, entre otros factores medioambientales, así como de la operación del vertedero. Actualmente se tienen valores estimados determinados por distintas fuentes los cuales se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Valores estimados para la relación de generación de CH₄ -K-

Valores estimados	EPA
K (1 año)	0.04 clima lluvioso
	0.02 clima seco

Fuente: EPA (2003)

Para realizar los cálculos de emisiones de gas, se toman los valores de K de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), teniendo en cuenta el clima de la zona:

- 0.04 para áreas de tiempo lluvioso (más de 635 l de agua/m² al año)
- 0.02 para áreas de tiempo seco (menos de 635 l de agua/m² al año)

Cálculo de tiempo desde la clausura del vertedero – C- :

El tiempo de la clausura del vertedero deberá de estar en años.

Cálculo de tiempo desde la primera deposición de basura -T- :

El tiempo desde la primera deposición de los RSU deberá de tomarse en años.

- Estimación de CO₂

Una vez estimada la emisión del CH₄, se puede determinar la emisión de CO₂, teniendo en cuenta la composición del biogás, por medio de la Ecuación 2

$$QCO_2 = QCH_4 * \frac{40}{55} \quad (2)$$

2.2.5 Detector de gases Dräger X-am 2000

El detector Dräger X-am 2000 ha sido diseñado específicamente para su uso en monitorización personal. El equipo de detección de 1 a 4 gases mide fiablemente gases y vapores combustibles CH₄, O₂, CO y H₂S. En combinación con una bomba externa, el Dräger X-am 2000 puede ser fácilmente adaptable para la entrada en un espacio confinado.

El Dräger X-am 2000 cuenta con un sistema de alarmas las cuales indican el peligro de la concentración de los gases CH₄, CO y H₂S, en cuanto al oxígeno las alarmas indican la deficiencia o exceso de este.



Figura 4. Dräger X-am 2000

2.2.5.1 Parámetros de medición del Dräger X-am 2000

Cuadro 10. Parámetros de medición de gases

Sensor	Medicion de Gases	Rango	Alarma 1	Alarma 2
CAT	Ex	100.00% LEL	10.00% LEL	20.00% LEL
EC1	O2	25.00 Vol %	19.50 Vol %	23.50 Vol %
EC2	H2S	199.00 ppm	10.00 ppm	15.00 ppm
EC3	CO	1999.00 ppm	35.00 ppm	50.00 ppm

Fuente: Dräger

2.2.6 La prueba de Kruskal-Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis (también llamada la prueba H) “es una prueba no paramétrica que utiliza rangos de datos muestrales de tres o más poblaciones independientes” (Walpole,1998). Se utiliza para probar la hipótesis nula de que las muestras independientes provienen de poblaciones con medianas iguales; la hipótesis alternativa es la aseveración de que las poblaciones tienen medianas que no son iguales.

H_0 : Las muestras provienen de poblaciones con medianas iguales.

H_1 : Las muestras provienen de poblaciones con medianas que no son iguales.

Requisitos

Según (Walpole 1998) los requisitos para realizar una prueba de Kruskal-Wallis son:

1. Tenemos al menos tres muestras independientes, las cuales se seleccionan al azar.
2. Cada muestra tiene al menos cinco observaciones.
3. No existe el requisito de que las poblaciones tengan una distribución normal o alguna otra distribución particular

2.2 Marco Referencial

2.2.7 Antecedentes

Hasta antes del año 1975, los residuos sólidos principalmente los de los municipios de Villa Nueva y Amatitlán se depositaban en un vertedero a cielo abierto que se ubicaba a orillas de la carretera que descendía directamente al parque Las Ninfas que se ubica a inmediaciones del lago de Amatitlán, pero con el incremento de la basura los vecinos protestaron, por lo que se seleccionó el zanjón de aguas pluviales denominado Malena en el sector llamado parque Las Periqueras, en el km 22 de la carretera CA 9 sur, iniciando el vertido de los residuos sólidos en un nuevo vertedero a cielo abierto sin ningún control. Cuando se inició el botadero en el km 22 no existían núcleos habitados en un radio de 1.5 km, referencia para la ubicación de rellenos sanitarios. En el año de 1982 aproximadamente se iniciaron las primeras viviendas.

En 1997 por decreto 64-96 nace el Plan del Manejo Integrado de la Cuenca y del lago de Amatitlán –PLANDEAMAT- con el fin de erradicar todos los botaderos clandestinos dentro de la cuenca del lago de Amatitlán, lo que da origen a la AMSA. En el año de 1997 vecinos del entorno toman medidas de hecho y cierran el botadero del km 22 pero en 1998 la AMSA empieza a manejar el botadero y empieza a ser controlado.

En el año 2000 la AMSA sigue las acciones para convertir el vertedero controlado en relleno sanitario, impermeabiliza dos celdas e inicia el proceso de cobertura de residuos. En el año 2002 se inicia la utilización de 2 celdas sin impermeabilización y los procesos son de un relleno sanitario con tratamiento de lixiviados y confinamiento independiente de los residuos peligrosos. En diciembre de 2007 inicia operaciones el proyecto Valorización de los Desechos Sólidos por medio de una Planta de Clasificación, concesión dada por 15 años a la empresa Alternativas Ecológicas.

Actualmente se están colocando chimeneas para realizar el tratamiento de generación de gas dentro del relleno por medio de venteos pasivos.

2.2.8 Ubicación geográfica

El proyecto se encuentra ubicado en jurisdicción del municipio de Villa Nueva, a la altura del km 22, de la carretera CA-9, específicamente en las coordenadas geográficas 90°37'39" longitud oeste y 14°30'58" latitud norte, y se encuentra a una altura de 1,405 metros sobre el nivel del mar.

El 98% de los residuos que se reciben, son generados dentro de la misma cuenca y de no ser por este sitio, se incrementarían los basureros no autorizados en áreas que sí se encuentran dentro de ella, causando problemas serios al lago de Amatitlán y al ambiente.

El área del terreno donde opera el relleno sanitario es de 75, 767.95 m² (7.57 hectáreas) realizando la disposición de los residuos sólidos en 4 celdas cada una con las siguientes áreas: Celda 1: 24,301.4 m², Celda 2: 13,000 m², Celda 3: 16,170 m² y Celda 4: 22,296.55 m², la altura de las celdas hasta el momento es de aproximadamente 80 m.

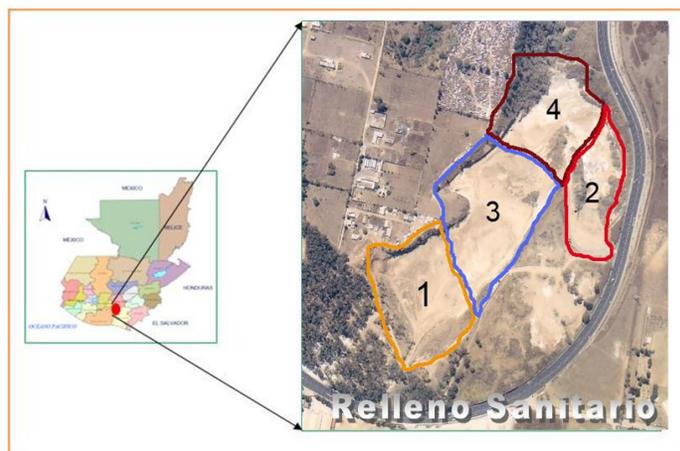


Figura 5. Ubicación del Relleno Sanitario en las coordenadas geográficas 90°37'39" longitud oeste y 14°30'58" latitud norte, y se encuentra a una altura de 1,405 metros sobre el nivel del mar.

Fuente: Massella C. (2011)

2.2.9 Condiciones climáticas

Las temperaturas varían entre 15 a 28 °C. La precipitación pluvial se establece dentro del rango de 650 a 1500 mm al año. Los vientos son de predominancia de norte a sur.

2.2.10 Actividades realizadas en el relleno sanitario

Gravimetría de ingreso de basura: Las toneladas de basura que ingresan al sitio de disposición final se controlan por medio de una báscula electrónica mecánica propiedad de la AMSA, la cual opera la empresa Alternativas Ecológicas (por medio del contrato de concesión 49-2007), quien le da el mantenimiento necesario.

Clasificación y compostaje de desechos: La AMSA otorgó en concesión a partir de diciembre de 2007 la clasificación para reciclaje de los desechos inertes y la producción de compostaje de la materia orgánica con el fin de valorizar y utilizar los desechos y reducir el volumen de disposición final y prolongar la vida útil del relleno sanitario. Actualmente la empresa no se encuentra trabajando por lo que todos los residuos se descargan en el relleno.

Área de descarga en el relleno sanitario: Para la formación de las celdas y taludes es necesario tener un patio de maniobras, área de descarga, área de distribución de basura, para su posterior compactación y cobertura. Se cuenta con 4 celdas, de las cuales sólo en 3 se está trabajando. Los residuos son descargados en la celda que se encuentre en operación y luego son clasificados por los recolectores autorizados.

Compactación de basura: Esta actividad se realiza después de la distribución de los desechos sólidos, por los tractores D6D; donde teóricamente llegan a compactar por metro cuadrado 550 kg, por lo que es necesario realizar dicha actividad para poder prolongar la vida útil del área de operación en el relleno sanitario.

Cobertura de la basura: La cobertura se realiza con material arenoso obtenido del banco de materiales que se ubica en el relleno sanitario. Para ello se utilizan dos camiones de volteo de doce metros cúbicos, a partir de las 12 h y finalizando a las 18 h todos los días de operación, con el fin de mantener mitigados y controlados los malos olores, vectores y también el impacto visual, entre otros.

Planta de tratamiento secundario y terciario de lixiviados: Actualmente se recirculan los lixiviados hacia los taludes cercanos, para lograr precipitar los metales pesados y que el H₂O se evapore, siendo éste el único método para el tratamiento de los mismo.

Tratamiento de gases: Se encuentran colocadas 18 dentro de las celdas 1 y 3 a una distancia de 45 metros entre cada una, con una profundidad de 1.5 metros, las chimeneas consisten en 2 toneles de metal perforados que se encuentran soldados cada uno con 1 metro de altura y un diámetro de 0.90 metros cada uno, en su interior se encuentran rellenos de piedra con aproximadamente 20 cm de diámetro, con el fin de realizar venteos pasivos de los gases.

2.2.11 Disposición de desechos sólidos en el relleno sanitario

Según datos producidos por la División de Manejo de Desechos Sólidos de la AMSA existen en los límites de la cuenca del lago de Amatitlán 1, 500,000 habitantes, y la producción per cápita de desechos sólidos es de 0.8 kg/habitante/día, lo que representa una generación de 1,320 t diarias de basura, de las cuales 575 se disponen en el relleno sanitario que administra la AMSA con un flujo de 135 camiones diarios.

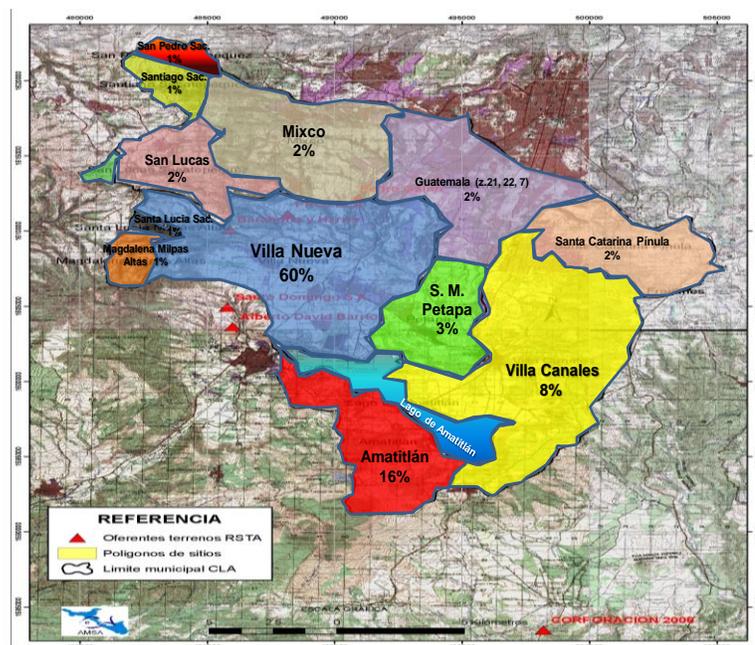


Figura 6. Porcentaje de disposición de desechos sólidos por municipio en el relleno sanitario

Fuente: Massella C. (2011)

2.2.12 Estudios realizados

2.2.12.1 Estimación de biogás en el relleno sanitario del km 22

La Empresa Carbón Trade Limited S.A. realizó una estimación del biogás producido en el relleno sanitario del km 22 en el año 2007. Este estudio indica que el relleno sanitario produce un promedio de 34,400 toneladas del equivalente de dióxido de carbono durante el periodo 2008 a 2012 de las actividades de producción, así mismo indica que el biogás producido en el sitio da capacidad para generar un poco menos de 1MW de energía y considerando la escala de tiempo requerida para desarrollar un proyecto de energía, es probable que la recuperación de energía no sea económicamente beneficiosa (Evaluación Preliminar del Relleno Ubicado en el Km 22 AMSA 2007).

2.2.12.2 Prueba de extracción para la recuperación de biogás en el relleno sanitario El Trébol

El relleno sanitario El Trébol ha sido un sitio de disposición de residuos sólidos para la Ciudad de Guatemala. El área del relleno bajo consideración para este estudio comenzó sus operaciones en el 1966 y se anticipa que se mantendrá en operación hasta el 2018, con una capacidad total de aproximadamente 11.4 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de construcción. Actualmente acepta 309,000 toneladas al año y hasta el presente, tiene 6.4 millones de toneladas *in situ*. El lugar ocupa 16.2 ha, de las cuales 3.2 ha han sido clausuradas con cubierta final. Los propietarios del relleno son dueños privados. Las operaciones del lugar son manejadas por el Departamento de Obras Públicas del Municipio de Guatemala. Al realizar los estudios en la extracción de gas se concluyó que el relleno sanitario El Trébol es un relleno sanitario grande con más de 10 años de vida operacional. Por lo tanto, la recuperación proyectada de biogás y las reducciones de emisiones (al igual que las posibles ganancias por la venta de energía y las reducciones de emisiones) son significativas.

Basado en los resultados del análisis económico, el desarrollador de un proyecto de uso de biogás en el relleno es económicamente viable bajo ambos escenarios:

- Un proyecto de uso directo con ventas de aproximadamente 105,560 MMBtu (millones de unidades térmicas británicas) del 2006- 2010, y 193,160 MMBtu (millones de unidades térmicas británicas) por año del 2011-2020;
- Un proyecto LFGTE de 1.06 MW capacidad bruta del 2006-2010 y de 2.12 MW capacidad bruta desde 2011-202

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Estimar la producción de biogás en el relleno sanitario administrado por la AMSA y la concentración de gases que lo conforman.

2.3.2 Objetivos específicos

1. Estimar la concentración de los gases CO, H₂S, CH₄ y O₂ generados en el relleno sanitario.
2. Describir el comportamiento de la concentración de los gases CO, H₂S, CH₄ y O₂ a lo largo del periodo de abril a agosto de 2012.
3. Establecer si existen diferencias significativas entre las concentraciones monitoreadas para cada uno de los gases referidos con respecto a los meses evaluados.
4. Calcular la cantidad de biogás producido dentro del relleno sanitario.

2.4 HIPÓTESIS

La concentración de los gases monitoreados variará significativamente a lo largo del periodo de estudio, con mayores niveles en los meses más húmedos, cuando se aceleran los procesos de biodegradación en el relleno.

2.5 METODOLOGÍA

2.5.1 Fase de gabinete I

2.5.1.1 Recopilación, sistematización y análisis de la información de fuentes secundarias

Con el apoyo de la División de Manejo de Desechos Sólidos de la AMSA se revisaron las estadísticas y los registros del ingreso de los residuos sólidos al área del relleno sanitario, tanto en cantidad como en calidad, que se depositan en el relleno, para obtener la cantidad aproximada en toneladas por día, además se revisaron documentos técnicos, folletos informativos, hojas de cálculo y todos los elementos relacionados.

2.5.2 Fase de campo

2.5.2.1 Colocación de chimeneas

Se encuentran ubicadas dentro de las celdas 1, 3 y 4, 18 chimeneas a una distancia de 45 metros entre cada una, con una profundidad de 10 metros, las chimeneas consisten en 2 toneles de metal perforados y soldados cada uno con una altura de 1 m y un diámetro de 0.90 metros cada uno, los cuales en su interior se encuentran rellenos de piedra con aproximadamente 20 cm de diámetro, con el fin de realizar venteos pasivos de los gases



Figura 7. Chimeneas



Figura 8. Instalación de chimeneas

2.5.2.2 Monitoreos de gases

Se realizaron monitoreos en los 18 puntos de toma de muestra establecidos en las chimeneas, se realizó un monitoreo por chimenea.

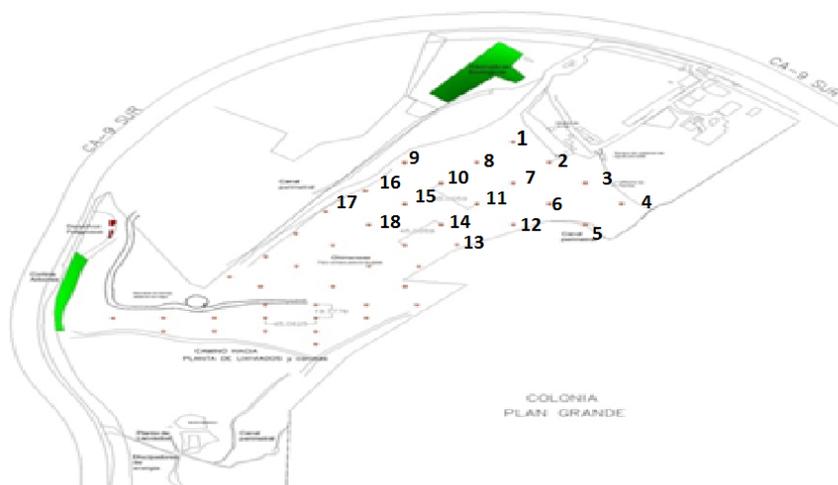


Figura 9. Distribución de chimeneas enumeradas

Fuente: Elaboración propia

El monitoreo se realizó por medio del Dräger X-am 2000 dos veces por semana de la siguiente forma:

1. El Dräger X-am 200 se calibró antes de iniciar el monitoreo en un lugar a temperatura ambiente.
2. El Dräger X-am 200 se colocó dentro del kit de bomba de muestreo remoto y se colocó la sonda que mide 15 pies.
3. El Dräger X-am 200 se encendió y automáticamente empezaba a realizar la medición de gases.

Se monitorearon los gases: CH₄, O₂, H₂S y CO.

El monitoreo se realizó en diferentes horas para conocer la variación de la producción de gases durante el día, durante 5 meses.

Se tenía una hoja de registro en donde se anotaban los datos como la hora de muestreo, fecha y los porcentajes de los gases monitoreados (ver Anexo 1).

Los gases monitoreados fueron analizados con base en los rangos establecidos por el Dräger X-am 2000.

2.5.3 Fase de gabinete II

Los datos recopilados en campo fueron tabulados al final de cada monitoreo.

Se realizó un análisis estadístico por medio del programa InfoStat utilizando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis luego de constatar que los residuos no se distribuían normalmente y que, por lo tanto, los datos recabados no cumplían con los criterios mínimos para ser sometidos a una prueba paramétrica.

Se graficaron los datos obtenidos a través del análisis estadístico al final de cada mes para realizar una comparación de la generación mensual de gases.

Para estimar la generación de biogás producido dentro del relleno sanitario se utilizaron las fórmulas establecidas por la *Guía técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire*:

Se procedió a calcular:

La relación de generación de metano CH₄ en el tiempo t (m³/año):

$$Q_{CH_4} = L_o * R (e^{-K*C} - e^{-K*T})$$

Cada una de las variables de la ecuación anterior se calculó por medio de las siguientes fórmulas:

Lo = potencial de generación de CH₄ en m³/Tm de RSU vertida depende de la fracción orgánica de los RSU y de la humedad

$$Lo = DOC * DOCf * 16/12 * F * MCF$$

DOC = fracción de carbón orgánico degradable en la basura

$$DOC = 0.4 * (\% \text{ papel y textiles}) + 0.17 * (\% \text{ orgánicos procedentes de jardines}) + 0.15 * (\% \text{ orgánicos de comida general}) + 0.38 * (\% \text{ madera})$$

DOCf = porción de DOC que se convierte a gas, según.

$$DOCf = 0.014 * T + 0.28$$

Donde T es la temperatura en la zona anaeróbica que se considera como 35°C.

F = fracción de CH₄ en el gas gestionado, considerado como 0.5.

MCF = cantidad de CH₄ en el biogás

Cálculo de R:

$$R = \frac{\text{Capacidad del vertedero}}{\# \text{ de años en funcionamiento}}$$

Para realizar los cálculos de emisiones de gas, se tomarán los valores de k de la EPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos), teniendo en cuenta el clima de la zona:

- 0.04 para áreas de tiempo lluvioso (más de 635 l de agua/m² al año)

- 0.02 para áreas de tiempo seco (menos de 635 l de agua/m² al año)

Cálculo de C: El tiempo de la clausura del vertedero deberá de estar en años.

Cálculo de T: El tiempo desde la primera deposición de los RSU deberá de tomarse en años.

Estimación de CO₂:

Una vez estimada la emisión del CH₄, se puede determinar la emisión de CO₂, teniendo en cuenta la composición del biogás por medio de la siguiente ecuación

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} * \frac{40}{55}$$

2.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1 Estimación de la concentración de los gases CO, H₂S, CH₄ y O₂ generados en el relleno sanitario

Cuadro 11. Concentración de gases

Concentración de Gases					
Mes	CH₄ (%)	CO₂	O₂ (%)	CO (%)	H₂S (%)
Abril	42.5185185	17.0074074	19.3851852	0.00231111	0.000012963
Mayo	67.619048	27.0476192	17.89127	0.0093651	0.002399206
Junio	82.5902778	33.0361111	15.6597222	0.1806111	0.00049236
Julio	83.4189815	30.33	16.5067	0.01506759	0.00064861
Agosto	82.8148148	60.2289562	17.3722222	0.02426852	0.00041296

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12. Concentraciones medias de composición de biogás

Componente	Porcentaje Aproximado (%)
Metano (CH ₄)	45 - 60
Dióxido de carbono (CO ₂)	40 - 60
Nitrógeno (N ₂)	2 a 5
Oxígeno (O ₂)	0.1 a 1
Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	0 a 1
Amoniaco (NH ₃)	0.1 a 1
Hidrogeno (H ₂)	0 a 0.2
Monóxido de carbono (CO)	0 a 0.2

Cuadro 13.Composición de gases en el biogás

Composición de Gases en el biogás					
Mes	CH₄ (%)	CO₂	O₂ (%)	CO (%)	H₂S (%)
Abril	23.3851852	17.0074074	0.19385185	4.62222E-06	2.5926E-08
Mayo	37.1904764	27.0476192	0.1789127	1.87302E-05	4.79841E-06
Junio	45.4246528	33.0361111	0.15659722	0.00036122	9.8472E-07
Julio	45.8804398	36.7043519	0.165067	3.01352E-05	1.29722E-06
Agosto	45.5481481	24.091582.5	0.17372222	0.48537037	0.00825926

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de la composición de biogás mensual producido dentro del relleno sanitario fue realizado en base a lo siguiente: Se tiene una estimación de concentración de gas metano promedio mensual de 42.52 %, de oxígeno de 19.38% monóxido de carbono de 0.0023% y de sulfuro de hidrogeno de 0.000013%, tomando en cuenta el porcentaje de concentraciones y la composición que tiene el biogás generado en los rellenos sanitarios según el Cuadro No. 7 se procedió a realizar los cálculos, tomando en cuenta que el detector de gases Dragger X-am 2000 mide la concentración basándose en la composición total de componentes en el aire, estimando que el 55% de concentración de metano que compone el biogás equivale al 100% se realizó el cálculo correspondiente y se estimó que el 41.52% de gas metano corresponde al 23.38% de concentración de metano del 55% que corresponde al porcentaje aproximado del biogás. De igual forma se realizó el cálculo de la concentración de oxígeno, monóxido de carbono y sulfuro de hidrógeno.

El cálculo de dióxido de carbono se realizó con base en la ecuación propuesta por la EPA. Una vez estimada la emisión del CH₄, se multiplicó la concentración obtenida de metano equivalente al 41.52% por 40/55 obteniéndose un resultado de 17.007% de concentración de dióxido de carbono dentro de la composición de biogás

El biogás es riesgoso por su inflamabilidad y explosividad al combinarse con el oxígeno contenido en el aire. La mezcla es peligrosa con una concentración de metano de entre 5

y 15%. Los resultados obtenidos durante los monitoreos, tomando en cuenta que son datos obtenidos de superficie, indican que el biogás que se genera en las celdas en donde se encuentran ubicadas las chimeneas posee características inflamables debido al porcentaje de metano que se mezcla con el oxígeno del aire. Los resultados también indican el aumento de producción de biogás en los meses de junio, julio y agosto ya que son los meses en los que la humedad de los desechos sólidos aumenta por ser época lluviosa. El ingreso de oxígeno dentro de la masa de basura altera las condiciones anaeróbicas, convirtiéndolas en aeróbicas, por ende, reduciendo la cantidad de metano generado.

2.6.2 Comportamiento de la concentración de los gases CO, H₂S, CH₄ y O₂ a lo largo del periodo de abril a agosto de 2012

La producción de biogás en una celda sanitaria no es constante, de acuerdo a las mediciones realizadas en el relleno sanitario del kilómetro 22, se ha podido constatar que inicialmente no hay producción de gas metano, debido a que el oxígeno presente en los intersticios de la basura inhibe el proceso anaeróbico, posteriormente la producción del biogás crece rápidamente, hasta alcanzar un máximo, para luego decrecer lentamente.

La producción total de biogás del relleno, en un instante dado, corresponde entonces a la suma de la generación de cada una de las celdas individuales, es decir celda 1,3 y 4, tomando en cuenta que cada una se encuentra en una etapa diferente de generación, ya que cada una fue construida con un desfase de un día. Si bien la gran mayoría de las celdas se encuentra en una etapa metanogénica estable, esta es la etapa de mayor duración en el proceso de estabilización de una celda sanitaria.

De los datos registrados se obtuvieron resultados de las medias mensuales de concentraciones, los cuales fueron posteriormente graficados para conocer las fluctuaciones de concentraciones que se dan a lo largo de los meses, observándose un aumento de concentración en los meses de junio, julio y agosto, siendo en estos meses cuando existe un aumento de humedad, lo que acelera el proceso de degradación de los

desechos sólidos y genera una producción de concentración de gases mayor que durante los meses de época seca, abril y mayo.

Estos resultados indican que el proceso de degradación de los desechos se encuentra en la fase anaerobia, en la cual, como lo muestran las siguientes gráficas, el oxígeno desciende y los desechos se encuentran en un proceso de transformaciones químicas, encontrándose la degradación en las fase ácida y fase de fermentación de metano, lo que sugiere que entre menos oxígeno exista mayor será la producción de gas metano.

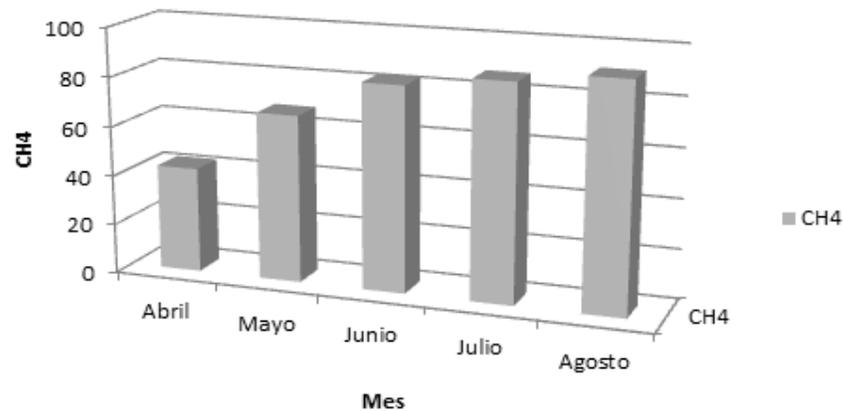


Figura 10. Concentración de CH₄

Fuente: Elaboración propia

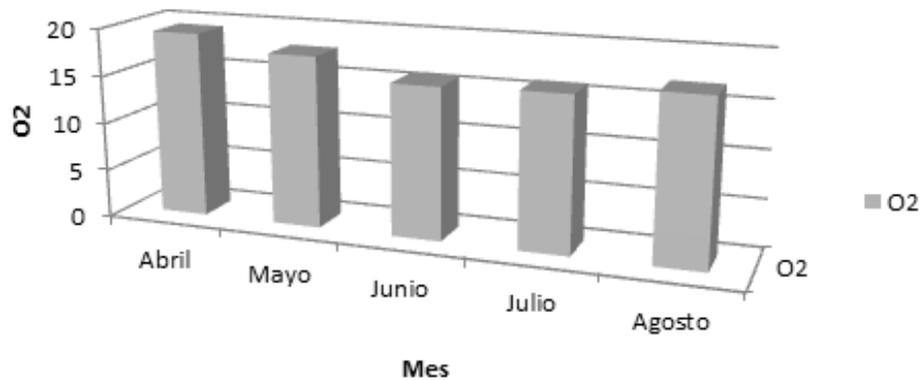


Figura 11. Concentración de O₂

Fuente: Elaboración propia

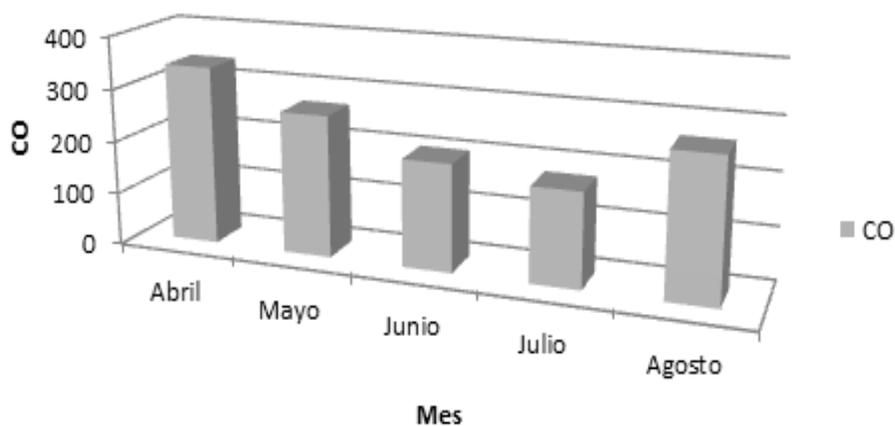


Figura 12. Concentración de CO

Fuente: Elaboración propia

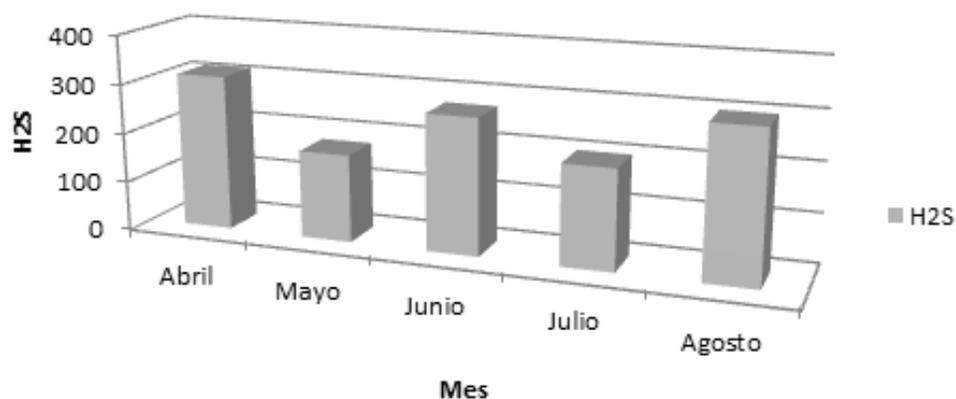


Figura 13. Concentración de H₂S

Fuente: Elaboración propia

2.6.3 Diferencias entre las concentraciones monitoreadas para cada uno de los gases referidos con respecto a los meses evaluados

La información fue analizada estadísticamente con el programa informático InfoStat con el fin de conocer si las diferencias gráficas correspondían a diferencias estadísticas significativas.

El desarrollo de las técnicas no paramétricas se ha debido en parte a que hacen supuestos muy generales respecto a la distribución de probabilidad que siguen los datos

y en particular, dejan de lado el supuesto de normalidad en una población. La prueba utilizada fue la Prueba de Kruskal-Wallis para realizar cálculos para conocer el comportamiento de la media mensual de concentración de cada gas generado.

El primer análisis consistió en el análisis de las hipótesis siguientes:

Ho: Todas las concentraciones son iguales

H₁: No todas las concentraciones son iguales

Se obtuvieron resultados de $p < 0.0001$, lo que indica que la hipótesis nula se rechaza, es decir que no todas las concentraciones analizadas son iguales en términos estadísticos.

Cuadro 14. Prueba de Kruskal-Wallis para gas metano

Variable	Mes	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
CH4	1	54	42.52	37.12	27.00	62.77	<0.0001
CH4	2	126	67.62	38.20	100.00		
CH4	3	126	82.70	31.56	100.00		
CH4	4	126	87.19	27.19	100.00		
CH4	5	36	91.14	22.18	100.00		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15. Prueba de Kruskal-Wallis para oxígeno

Variable	Mes	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
O2	1	54	19.39	3.48	20.50	70.63	<0.0001
O2	2	126	17.89 3.81	19.40			
O2	3	126	15.77 4.28	16.50			
O2	4	126	16.05 4.15	17.05			
O2	5	36	16.94 3.29	17.75			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 16. Prueba de Kruskal-Wallis para monóxido de carbono

Variable	Mes	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
RDUO_CO	1	54	0.00	52.63	-23.11	71.29	<0.0001
RDUO_CO	2	126	0.00	240.99	-83.65		
RDUO_CO	3	126	0.00	326.52	-116.56		
RDUO_CO	4	126	0.00	389.95	-126.07		
RDUO_CO	5	36	0.00	211.44	-63.56		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17. Prueba de Kruskal-Wallis para sulfuro de hidrógeno

Variable	Mes	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
RDUO_H2S	1	54	0.00	0.67	-0.13	68.33	<0.0001
RDUO_H2S	2	126	0.00	15.06	-4.99		
RDUO_H2S	3	126	0.00	5.87	-1.62		
RDUO_H2S	4	126	0.00	12.84	-4.44		
RDUO_H2S	5	36	0.00	4.61	-0.25		

Fuente: Elaboración propia

El segundo análisis fue realizado para establecer las diferencias significativas entre medias. El resultado fue la conformación de tres grupos, los cuales fueron diferenciados estadísticamente, mostrando cómo los datos obtenidos de concentraciones varían de acuerdo a las variaciones climáticas, lo que indica cómo entre más humedad existe mayor será la concentración de metano que se generará y menor la concentración de oxígeno obtenida. Las variaciones obtenidas en las concentraciones del CO y H₂S pueden deberse al tipo de desechos sólidos que se dispusieron durante esos meses.

Cuadro 18. Análisis de medias de CH₄

Trat.	Mes	Rangos	
1	Abril	121.56	A
2	Mayo	206.33	B
3	Junio	255.98	C
4	Julio	274.79	C
5	Agosto	286.31	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 19. Análisis de medias de O₂

Trat.	Mes	Rangos	
3	Junio	193.50	A
4	Julio	196.02	A
5	Agosto	210.57	A
2	Mayo	272.27	B
1	Abril	347.80	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 20. Análisis de medias de CO

Trat.	Mes	Rangos	
4	Julio	178.27	A
3	Junio	202.67	A
5	Agosto	267.19	B
2	Mayo	268.17	B
1	Abril	339.61	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 21. Análisis de medias de H₂S

Trat.	Mes	Rangos	
2	Mayo	176.84	A
4	Julio	200.44	A
3	Junio	273.61	B
5	Agosto	300.03	B
1	Abril	313.56	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Fuente: Elaboración propia

2.6.4 Estimación de la cantidad de biogás producido dentro del relleno sanitario.

Lo = potencial de generación de CH₄ en m³/ton

$$Lo = DOC * DOCf * 16/12 * F * MCF$$

$$Lo = 12.12 * 0.77 * 16/12 * 0.5 * 1$$

$$Lo = 6.22 \text{ m}^3/\text{ton}$$

Fracción de carbón orgánico degradable en la basura –DOC-

$$DOC = 0.4 * (11.78) + 0.17 * (1.33\%) + 0.15 * (34.2\%) + 0.38 * (5.41\%)$$

$$DOC = 12.12$$

DOCf = porción de DOC que se convierte a gas:

$$DOCf = 0.014 * 35 + 0.28$$

$$DOCf = 0.77$$

Donde T es la temperatura en la zona anaeróbica que se considera como 35°C.

F = fracción de CH₄ en el gas gestionado

El valor considerado para la fracción de CH₄ es 0.5.

MCF = cantidad de CH₄ en el biogás

El relleno sanitario del kilómetro 22 es considerado como un vertedero gestionado por lo que el valor que se considera para MCF es = 1

Cálculo de R:

R = Capacidad del vertedero

de años en funcionamiento

R= 4, 170, 267,968 kg

13 años

R = 320, 789,843.7 kg/año

R = 320, 789.84 ton/año

Como la capacidad del relleno sanitario se desconoce pero si conocen sus dimensiones se realizó el siguiente cálculo:

Capacidad = área de vertedero * profundidad del vertedero * densidad de RSU

Capacidad = 75, 767.95 m² * 80 m * 688 kg/m³

Capacidad= 4, 170, 267,968 kg

Se estimó la densidad de la basura de acuerdo a valores estándar establecidos tomando en cuenta que no se conoce si la basura ha sido compactada en su totalidad en estos 13 años de funcionamiento, considerando un valor de 688 kg/m³.

Cálculo de la relación de generación de CH₄ -K- :

Para realizar los cálculos de emisiones de gas, se tomaron los valores de K de la EPA teniendo en cuenta que según datos del INSIVUMEH la lluvia en promedio dentro del área es de 650 a 1500 mm de agua/m² al año, por lo que se considera un valor de 0.04.

Cálculo de C: El tiempo de la clausura del vertedero

El relleno sanitario de AMSA aún no ha sido clausurado por lo que el valor se considera como 0.

Cálculo de T: El tiempo desde la primera deposición de los RSU

El relleno sanitario inicio en el año 2000 por lo que la variable T considera un valor de 13 años.

La relación de generación de metano CH₄ en el tiempo t (m³/año):

$$Q_{CH_4} = L_o * R (e^{-K*C} - e^{-K*T})$$

$$Q_{CH_4} = 6.22 \text{ m}^3/\text{ton} * 320,789.84 \text{ ton/año} (e^{-0.04*0} - e^{-0.04*13})$$

$$Q_{CH_4} = 809,058.34 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$Q_{CH_4} = 67,421.53 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$$Q_{CH_4} = 2,247.38 \text{ m}^3/\text{día}$$

Estimación de CO₂:

Una vez estimada la emisión del CH₄, se realizó el cálculo de la emisión de CO₂, teniendo en cuenta la composición del biogás por medio de la siguiente ecuación

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} * \frac{40}{55}$$

$$Q_{CO_2} = 2,247.38 \text{ m}^3/\text{día} * \frac{40}{55}$$

$$Q_{CO_2} = 1,797.90 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para una estimación de producción de Biogás de:

$$\text{Biogás} = Q_{CH_4} + Q_{CO_2}$$

$$\text{Biogás} = 2,247.38 \text{ m}^3/\text{día} + 1,797.90 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Biogás} = 4,045.28 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Biogás} = 168.55 \text{ m}^3/\text{hora}$$

La estimación de biogás generado en el relleno sanitario es de 168.55 m³/hora, relacionando esto a que 1 m³ de biogás con una concentración de metano al 60 % es capaz de producir 1.43 kwh de energía eléctrica, y tomando en cuenta que el consumo de energía eléctrica en AMSA es de 415.7 kwh/día, se estima que con los 168.55 m³/hora de biogás generados en el relleno sanitario del kilómetro 22 se pueden generar 241.02 kwh/día, pudiendo ahorrar hasta un 50% de energía si se lograra aprovechar dicho biogás de una buena forma, es importante mencionar que según cálculos realizados con anterioridad la concentración del biogás producido en el relleno sanitario es menor al 60% de metano CH₄, bajando así el nivel de calidad de biogás ya que en condiciones menores al 50% de metano el biogás ya no es inflamable

El valor de las estimaciones de biogás realizadas variará debido a que el contenido de metano en el biogás decae en el tiempo, disminuyendo su proporción desde 40-60% en

los primeros años de un relleno hasta 25-45% en los años finales. La duración y tasas de producción de gas varían en el tiempo dependiendo del proceso de degradación natural de la basura en cada relleno. La vida útil de los sistemas de recolección puede ser bastante larga (15 años o más), sin embargo la utilización económicamente eficiente de estas instalaciones normalmente se puede sostener sólo entre 3 y 8 años.

2.7 CONCLUSIONES

1. Las concentraciones estimadas durante los meses de abril a agosto indican que a pesar de la humedad generada durante los meses de junio, julio y agosto no se logra superar el 50% de concentración de metano generado, tomando en cuenta que la medición fue realizada en la superficie, obteniendo así una composición de metano de biogás baja para su aprovechamiento.
2. La concentración de los gases de CO, H₂S, CH₄ y O₂, varían de acuerdo a la época seca y época húmeda, obteniendo una mayor concentración de estos durante la época lluviosa debido al aumento de humedad que hace que se acelere el proceso biológico de la degradación de los desechos sólidos.
3. El análisis estadístico realizado confirma las diferencias gráficas que se marcan a lo largo de los meses de abril a agosto, obteniendo mayor composición de metano y disminución de oxígeno en los meses de época húmeda.
4. La estimación de biogás generado en el relleno sanitario es de 168.55 m³/hora, obteniendo una concentración de CH₄ de 2,247.38 m³/día y una concentración de CO₂ de 1,797.90 m³/día lo que permite que se pueda generar 241.02 kwh/día.

2.8 Recomendaciones

1. Es importante realizar un estudio con mayor precisión y profundidad de la estimación de la concentración de los gases que se generan dentro del relleno para poder contar con porcentajes más reales de la producción de dichos gases para poder conocer realmente cuanto biogás se esta producción en el relleno sanitario del kilómetro 22.
2. Es necesario que se realice una separación adecuada de los materiales que ingresan al relleno sanitario, con el fin de poder obtener un mejor aprovechamiento de los residuos reciclables y a la vez poder dejar en su mayoría solamente desechos orgánicos para poder obtener una mayor concentración de biogás.
3. Se debe de continuar realizando los monitoreos para obtener datos de las variaciones que se dan en las distintas épocas del año.

2.9 BIBLIOGRAFÍA

1. AMSA (Asociación de Manejo Sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán, GT). 2007. Evaluación preliminar del relleno sanitario en el km 22. Guatemala. 20 p.
2. Callister, WD. 1998. Ciencia e ingeniería de los materiales 2. España, Reverte. 788 p.
3. Camargo, Y; Vélez, A. 2009. Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios (en línea). Barranquilla, Colombia, Red de Ingeniería Sanitaria Ambiental –REDISA-. 12 p. Consultado 28 jun ago 2012. Disponible en <http://mba.edu.co/divisiones/Ingenierias/IDS/upload/File/Memorias%20II-SIIR/3d-Camargo-Colombia-001.pdf>
4. CarbonCredit 2012.com. 2012. Créditos de carbono (en línea). Brasil. Consultado 7 ago 2012. Disponible en www.carboncredit2012.com/site/index.php/creditos-de-carbono
5. ClimateAction Reserve, MX. 2009. Protocolo de reporte de proyectos en rellenos sanitarios en México: recolección y destrucción del metano de los rellenos sanitarios. México. 50 p.
6. Colmenares, W. 2007. Generación y manejo de gases en sitios de disposición final (en línea). Guatemala, Atlantic International University. Consultado 10 abr 2012. Disponible en http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/relleno_sanitario
7. Dräger.com. 2012a. X-am 2000 (en línea). Madrid, España. Consultado 24 abr 2012. Disponible en http://www.draeger.com/media/10/08/17/10081733/x-am_2000_pi_es.pdf

8. Dräger.com. 2012b. X-am 2000 (en línea). Madrid, España. Consultado 24 abr 2012. Disponible en http://www.draeger.com/ES/es/products/gas_detection/portable/multi/cinxam_2000.jsp
9. Elías, X. 2012. Tratamiento térmico de gases. Trad. Díaz de Santos. Madrid, España, Díaz de Santos. 729 p.
10. Engineering-Science, US. 1967. State water resources control board. *In* Sites investigation of movements of gases produced from decomposing refuse, final report. Sacramento, California, US, The Resources Agency. 39 p. (Publication 35).
11. Fernández, A. 2005. Guía de elaboración y usos de inventario de emisiones. México, Instituto Nacional de Ecología. 32 p.
12. Fernando, PR. 2006. Producción de energía eléctrica a partir de biogás procedente de vertederos de residuos sólidos urbanos. Guatemala, USAC, Editorial Universitaria. 165 p.
13. Gendebien, A; Constant, M; Ledrut-Damanet, E; Nyns, H; Willumsen, J; Butson, R; Fabry, G; Ferrero, GL. 1992. Landfill gas from environment to energy. Luxembourg, Commission of the European Communities. 880 p.
14. IHOBE, ES. 2003. Guía técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire. España, Gobierno Vasco, Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Sector Gestión de Residuos / Fundación Labein. 88 p.
15. Linde AG, GE. 2009. Gases and application. Germany. 1 p.
16. Llata Loyola, MD De la. 2003. Ecología y medio ambiente. México, Progreso. 231 p.

17. Macy, R. 1992. Química orgánica simplificada. Barcelona, España, Reverte. p. 61.
18. Manuel Ludevid, Á. 2005. Índice de presión ambiental. *In* Á. Manuel Ludevid. Índice de presión ambiental. Barcelona, España. Centro de Economía Industrial. p. 50.
19. Massella, C. 2011. Aprovechamiento del gas metano en el relleno sanitario del km. 22 ruta al Pacífico, Villa Nueva, Guatemala. Guatemala, AMSA. 16 p.
20. Meléndez, E. 2004. Guía práctica para la operación de celdas diaria en rellenos sanitarios pequeños y medianos. El Salvador, USAID. 39 p.
21. Ortiz, E. 2007. Control y manejo de biogás en el relleno sanitario. Guatemala, AMSA. 28 p.
22. Penson, C. 1994. Medio ambiente sin fronteras. Haití, FFN. 89 p.
23. Pérez, F. 2006. Producción de energía eléctrica a partir de biogás procedente de vertederos de residuos sólidos urbanos. Guatemala, USAC, Editorial Universitaria. 165 p.
24. Programa Nacional de Competitividad, CR. Año. Guía para el manejo ambiental de rellenos sanitarios. Costa Rica. 39 p.
25. Soler & Palau, ES. 2006. Ventilación en ambientes explosivos I (en línea). Barcelona, España. Consultado 10 mayo 2012. Disponible en http://www.solerpalau.es/formacion_01_11.html
26. Vega, W. 2010. Programa de recuperación ambiental de la cuenca del lago de Amatitlán. Villa Nueva, Guatemala, AMSA. 49 p.

27. Walpole, R. 1998. Probabilidad y estadística para ingenieros. México, Pearson. 739 p.

CAPITULO III. INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA DIVISIÓN DE MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS, EN LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LAGO DE ÁMATITLAN, VILLA NUEVA, GUATEMALA

3.1 PRESENTACIÓN

En el proceso de elaboración de la primera fase del diagnóstico, se determinó que dentro de la División de Manejo de Desechos Sólidos, existen puntos en los cuales se pueden realizar acciones para tener una mayor eficiencia de las actividades que se manejan dentro de la institución.

En la realización del Ejercicio Profesional Supervisado se realizaron las actividades priorizadas.

Los servicios realizados fueron los siguientes:

- Determinación de la frecuencia de riego de la cortina arbórea ubicada en el relleno sanitario del km 22, ruta al pacífico, Villa Nueva, Guatemala
- Elaboración del manual para el manejo adecuado de residuos sólidos -AMSA-
- Impartición de capacitaciones
- Reutilización de materiales de desecho

3.2 SERVICIO 1: Determinación de la frecuencia de riego de la cortina arbórea ubicada en el relleno sanitario del km 22, ruta al pacífico, Villa Nueva, Guatemala

3.2.1 OBJETIVO

3.2.1.1 Objetivo General

- Determinar la frecuencia de riego de la cortina arbórea localizada dentro del relleno sanitario.

3.2.1.2 Objetivos específicos

- Establecer la situación actual del sistema de riego utilizado en la cortina arbórea.
- Elaborar un plan de frecuencia de riego para la optimización del agua.
- Determinar el coeficiente de uniformidad con el que se está trabajando en el sistema de riego.

3.2.2 METODOLOGÍA

3.2.2.1 Estudio edafológico

El muestreo de suelo se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Se tomaron 15 submuestras de suelo contenido en las macetas de la cortina arbórea.
2. Cada submuestra se colocó dentro de una cubeta para posteriormente homogenizar todas las submuestras de suelo.
3. Se mezcló bien el suelo y se apartó una libra que se guardó en una bolsa de plástico debidamente identificada y etiquetada.
4. La muestra fue llevada al laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala para realizar los respectivos análisis de: textura, capacidad de campo, densidad aparente, punto de marchitez permanente y humedad disponible.

3.2.2.2 Determinación de caudales y volúmenes de agua aplicados a la cortina arbórea

Para determinar el caudal se procedió de la siguiente manera:

1. Se tomaron 30 plantas como muestra para la determinación del caudal.
2. Se colocaron 30 botes de plástico de dos litros, un bote debajo de cada gotero instalado en las 30 plantas seleccionadas.
3. Se estableció un tiempo de 15 minutos para la medición del volumen.
4. Se determinó el caudal a través de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

3.2.2.3 Determinación de las demandas evapotranspirativas

1. Se tomó como base los valores de evaporación del Observatorio Meteorológico del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala – INSIVUMEH -.
2. Las demandas evapotraspirativas fueron calculadas considerando que se corresponde al 75% del agua evaporada (Sandoval, 2007).

3.2.2.4 Determinación de la frecuencia de riego:

Se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Frecuencia de riego} = \frac{\text{LHRA}}{\text{Demandas evapotranspirativas diarias}}$$

La lámina de humedad rápidamente aprovechable (LHRA), se estableció considerando un consumo del 30 y 60 % de la humedad disponible. Es decir se establecieron dos frecuencias de riego atendiendo que el agua es limitante en la zona de estudio.

3.2.2.4 Determinación de volúmenes de agua a aplicar

A partir de las siguientes ecuaciones

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Volumen} = \text{Área} \times \text{lamina de riego}$$

Se determinó el volumen de agua y el tiempo de riego para aplicar la lámina de humedad rápidamente aprovechable deseable.

3.2.3 RESULTADOS

3.2.3.1 Del estudio edafológico



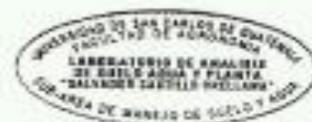
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: JOHANNA GIRON
PROCEDENCIA: AMSA, GUATEMALA
FECHA DE INGRESO: 3/7/2012

ANALISIS FISICOS

IDENTIFICACION	Gr/cc Da	% HUMEDAD		%			CLASE TEXTURAL
		1/3	15	Arcilla	Limo	Arene	
M-1	1.0526	15.23	13.75	10.46	17.77	71.78	FRANCO ARENOSO



3.2.3.2 Determinación de caudales y volúmenes en una muestra de goteros

Cuadro 22. Caudales y Volúmenes del Riego

Numero	Volumen	Tiempo	Caudal ml/min	Caudal lts/seg	Caudal Lt/hr
1	810 ml	15 min	54.00	9.00E-04	3.24
2	750 ml	15 min	50.00	8.33E-04	3.00
3	770 ml	15 min	51.33	8.56E-04	3.08
4	240 ml	15 min	16.00	2.67E-04	0.96
5	980 ml	15 min	65.33	1.09E-03	3.92
6	810 ml	15 min	54.00	9.00E-04	3.24
7	500 ml	15 min	33.33	5.56E-04	2.00
8	810 ml	15 min	54.00	9.00E-04	3.24
9	500 ml	15 min	33.33	5.56E-04	2.00
10	810 ml	15 min	54.00	9.00E-04	3.24
11	720 ml	15 min	48.00	8.00E-04	2.88
12	700 ml	15 min	46.67	7.78E-04	2.80
13	800 ml	15 min	53.33	8.89E-04	3.20
14	650 ml	15 min	43.33	7.22E-04	2.60
15	720 ml	15 min	48.00	8.00E-04	2.88
16	590 ml	15 min	39.33	6.56E-04	2.36
17	820 ml	15 min	54.67	9.11E-04	3.28
18	850 ml	15 min	56.67	9.44E-04	3.40
19	750 ml	15 min	50.00	8.33E-04	3.00
20	600 ml	15 min	40.00	6.67E-04	2.40
21	760 ml	15 min	50.67	8.44E-04	3.04
22	400 ml	15 min	26.67	4.44E-04	1.60
23	860 ml	15 min	57.33	9.56E-04	3.44
24	790 ml	15 min	52.67	8.78E-04	3.16
25	830 ml	15 min	55.33	9.22E-04	3.32
26	900 ml	15 min	60.00	1.00E-03	3.60
27	810 ml	15 min	32.40	5.40E-04	1.94
28	820 ml	15 min	54.67	9.11E-04	3.28
29	870 ml	15 min	58.00	9.67E-04	3.48
30	890 ml	15 min	59.33	9.89E-04	3.56
PROMEDIO					2.90

Fuente: Elaboración propia

Caudal Promedio: 2.90 litros por hora (l/h) por gotero

3.2.3.3 Determinación de área por planta en una muestra seleccionada

Cuadro 23. Área por planta

No.	Longitud	Ancho	Área (m ²)
1	2.77	0.92	2.55
2	1.59	1.58	2.51
3	1.6	1.4	2.24
4	1.25	1.48	1.85
5	1.8	2.14	3.85
6	1.65	1.28	2.11
7	1.56	1.32	2.06
8	1.69	2.26	3.82
9	1.79	1.88	3.37
10	1.82	1.89	3.44
11	1.7	1.53	2.60
12	1.74	2.04	3.55
13	1.3	1.2	1.56
14	1.4	1.55	2.17
15	1.45	1.94	2.81
16	1.55	1.5	2.33
17	1.73	1.69	2.92
18	1.15	2.43	2.79
19	0.94	1.73	1.63
20	1.24	0.88	1.09
21	1.57	1.77	2.78
22	1.92	2.47	4.74
23	2.2	1.2	2.64
24	1.56	1.53	2.39
25	1.56	1.62	2.53
26	1.48	1.75	2.59
27	1.69	1.28	2.16
Promedio			2.63

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.4 Determinación de demandas evapotranspirativas

Cuadro 24. Temperatura máxima en grados centígrados

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2006	16.7	16.8	18.2	20.3	20.7	20.4	20.4	19.2	18	17.7	16.1	16.9	18.5
2007	16.7	18.5	19.3	18.9	19	18.3	18.3	18.6	19.4	18.1	16.4	17.1	18.2
2008	16.3	17.9	18.8	19.7	20	--	--	--	--	--	---	---	18.5
2009	-99.9	23.1	24.1	26.3	25.3	24.8	24.3	24.3	24.9	24.7	23.2	23.1	14
2010	22.1	25.2	26.9	26.6	24.3	24.1	23.9						24.7

Fuente: INSIVUMEH

Cuadro 25. Temperatura mínima en grados centígrados

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2006	10.4	8.8	10.3	13.5	15.7	16.6	15.5	14.9	14.8	13.9	11.9	12.6	13.2
2007	16.1	8.4	10.7	11.4	11.5	12.6	12.5	12.1	14.1	13	11.8	10.4	12.1
2008	10.2	10.7	12.1	12.5	13	--	--	--	--	--	--	--	11.7
2009	---	9	7.5	10.3	13.6	13.6	13.8	13.2	13.5	12.7	11.1	9.1	11.6
2010	8.4	10.7	10.3	12.3	14.6	14	13.3						11.9

Fuente: INSIVUMEH

Cuadro 26. Lluvia en mm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2000	0.3	---	---	---	---	---	---	115	136.9	39.3	0	38.2	329.7
2001	0	4.9	0	17.9	232.6	66.9	209.4	172.9	225.3	90.7	12.2	1	1033.8
2002	25.5	2.8	1	0	92.9	220.2	177.4	68.1	133.7	108.9	51.1	0.4	882
2003	3.6	4.8	75.6	35.5	157.8	280.7	162	98.3	385.3	97.9	36.6	0.5	1338.6
2004	3.9	0	29.7	33.1	177.5	159.4	127.6	89	279.5	177.8	5	0	1082.5
2005	1.3	0	4.4	6.1	127.6	383.1	248	183.9	148.4	190.6	15.7	7.6	1316.7
2006	14.7	0	6.2	56.3	131	438.7	234.5	148.5	231.8	221.9	13.7	9	1506.3
2007	4.8	0	6.2	0	81.5	186.9	142.8	175.4	215.4	133.1	14.9	1.6	962.6
2008	0	0	0	12.4	56	---	---	---	---	---	---	---	68.4
2009	0	4.6	0	7.9	130.8	186.6	103.9	111.4	155.6	59.5	144.2	44.4	948.9
2010	0	0.6	3.5	68.6	404.4	251.5	237.2	398.4	315.2	---	---	---	1684.8

Fuente: INSIVUMEH

Promedios mensuales y anuales de Evaporación de Tanque a la Interperie en Milímetros (mm)

Cuadro 27. Promedios mensuales y anuales de evaporación (mm/día)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	3.3	4.3	6.2	5.1	3.7	3.1	3.7	3.8	2.5	4.3	3.7	3.5	3.9
1991	3.4	4.7	5.9	4.8	4.4	3.2	4	3.9	3.8	3.4	3.5	3.1	4
1992	4	3.6	5.3	5	4.6	2.7	3.8	3.5	3.2	3.1	3	2.7	3.7
1993	3.7	3.6	4.8	4.4	4.3	2.7	3.4	3.4	3.2	3.1	3.1	3	3.6
1994	2.9	<i>N/D</i>	4.2	3.9	3.8	2.8	4	3.1	2.4	2.9	3.5	3	3.3
1995	3.6	3	5	3.5	3.6	2.6	3	2.4	1.9	2.1	2.9	2	3
1996	2.8	4.5	2.1	4.3	2.5	2.7	2.9	2.8	2.3	2.1	2.9	2.1	2.8
1997	3.4	4.1	5.5	4.5	3.4	2.8	4	3.2	2.5	2.1	2.6	2.5	3.4
1998	3.1	3.4	5.9	4.4	4.5	3.4	1.4	2.3	2.7	2.2	2.2	3.2	3.2
1999	7.8	5.2	6.4	5.2	5	3.5	3.2	2.8	2.2	2.6	4	3.9	4.3
2000	4.6	5.1	5.5	6	6.1	3.3	4.5	3.9	3.2	3.5	4	4.3	4.5
2001	5.1	4.8	4.5	4.1	3.8	5.7	3.7	4.4	3.6	3.9	3.8	3.8	4.3
2002	4.5	5.2	5.2	5.7	4.7	3.9	4.8	4.5	4	3.9	3.7	4.2	4.5
2003	6.7	5	5.9	6	5.2	4.2	4.3	4.4	3.2	3.3	4.2	5	4.8
2004	3.6	4	4.2	4.1	2.8	2.1	2	2.8	2	1.9	3	3.4	3
2005	4.6	6.1	6.3	6.9	4.9	3.7	3.5	3.7	3.3	3.5	3.7	3.7	4.5
2006	3.7	5	6.1	5	7	7	7	4.3	3.1	3	3.8	3.9	4.9
2007	4.5	4.8	6.1	5.5	5	3.3	3.6	3.8	3.5	3.3	4.1	4.2	4.3
2008	3.8	4.2	5.1	5.5	4.3	2.8	3.2	3.9	3	3.1	4.1	4.5	4
2009	3.8	4.9	6.1	5.7	4.6	4	4.2	4.2	4.1	3.6	3.6	3.7	4.4
2010	4.5	4.8	6	5.6	4.7	3.4	3.5	3.2	3.4	4.2	3.8	4	4.3
2011	3.5	4	4.7	5.1	4.5	3.2	4	4	3.9	3	4	4.6	4

Fuente: INSIVUMEH

3.2.3.5 Determinación de las Frecuencias de riego

9.5.1 Riego cada vez que se consume el 30 % de la humedad disponible

$$\text{LHD} = \frac{(15.23 - 13.75) \times 1.0526 \text{ gr/cc} \times 72 \text{ cm}}{100}$$

100

$$\text{LHD} = 1.12 \text{ cm}$$

$$\text{LHRA} = 1.12 \text{ cm} \times 0.30$$

$$\text{LHRA} = 0.34 \text{ cm}$$

$$\text{LHRA} = 3.4 \text{ mm}$$

3.2.3.6 Frecuencia y volúmenes a aplicar

Cuadro 28. Riego cada vez que se consume el 30 % de la humedad disponible

Mes	Vol./Planta	Tiempo Riego	Frecuencia
	Litros	horas	Día
Enero	8.15	2.8	1
Febrero	8.46	2.92	1
Marzo	10.49	3.6	1
Abril	9.89	3.4	1
Mayo	8.73	3	1
Noviembre	6.92	2.39	1
Diciembre	7.02	2.4	1

Fuente. Elaboración propia

Cuadro 29. Riego cada vez que se consume el 60 % de la humedad disponible

Mes	Vol/Planta	Tiempo Riego	Frecuencia
	Litros	horas	Día
Enero	16.31	5.62	2
Febrero	16.94	5.84	2
Marzo	20.99	7.24	2
Abril	16.77	5.78	2
Mayo	17.46	6.02	2
Noviembre	14	4.83	2
Diciembre	14	4.83	2

Fuente. Elaboración propia

3.2.3.7 Determinación del coeficiente de uniformidad

1.) Caudal promedio

2.90 l/h

2.) Caudal medio del 25% de goteros con el caudal más bajo registrado

Caudal medio del 25% de goteros con el caudal mas bajo registrado	Caudal
	0.96
	1.60
	1.94
	2.00
	2.00
	2.36
	2.40
	2.60
	Promedio: 1.98

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a}$$

q_a

$$CU = \frac{1.98 \text{ lts/hora}}{2.90 \text{ lts}} \times 100$$

$$CU = 69\%$$

El sistema de riego ubicado en el relleno sanitario presenta un resultado del 69 % de coeficiente de uniformidad lo que indica que el sistema no posee un riego uniforme ya que según valores de CU recomendables por Yagüe este debería de estar entre el 90% y 95 %, esto se debe a que el sistema de riego es afectado por diversos factores como: perros y zopilotes ya que estos destruyen la red de tubería lo que hace que el agua no corra con uniformidad.

3.2.4 CONCLUSIONES

1. En términos generales el sistema de riego por goteo es funcional y necesario para el mantenimiento de la cortina arbórea.
2. El sistema de riego requiere de trabajos de mantenimiento especialmente en la red de distribución para minimizar las fugas
3. La frecuencia de riego recomendable puede ser de un día o bien de 2 días, dependiendo de la disponibilidad de agua con que se cuente en los depósitos
4. El coeficiente de uniformidad es del 69% lo cual nos indica que el sistema de riego aplica el agua de una manera desuniforme debido a las fugas de agua que se encuentran en la red de distribución provocadas por vectores tales como: perros, y zopilotes.

3.2.5 RECOMENDACIONES

1. Ensayar a nivel de campo los resultados encontrados de frecuencias de riego y volúmenes de agua determinados incluyendo como testigo las practicas actuales de frecuencia y volúmenes de agua aplicados.
2. Para mejorar el coeficiente de uniformidad es necesario reparar la red de distribución para evitar fugas de agua y en la medida de lo posible proteger la misma contra vectores tales como: aves y perros, lo que hace que se deteriore la red de tuberías.

3.3 SERVICIO 2: Elaboración del manual para el manejo adecuado de residuos sólidos -AMSA-

3.3.1 OBJETIVOS

3.3.1.1 Objetivo general

- Elaborar un manual de Manejo Adecuado de Desechos sólidos

3.3.1.2 Objetivo específico

- Establecer y describir los lineamientos mínimos necesarios para facilitar el manejo adecuado de desechos sólidos.

3.3.2 METODOLOGÍA

3.3.2.1 Fase de gabinete

1. Se recopiló información en la división de manejo de desechos sólidos.
2. Se buscó información en fuentes secundarias (libros, internet, manuales) que contengan información referente al adecuado manejo de desechos sólidos.

3.3.2.2 Fase de gabinete II

1. Se seleccionó y analizó la información recopilada.

3.3.3 RESULTADOS

Se generó el Manual para el manejo adecuado de residuos sólidos el cual será utilizado por personas tanto de la institución como ajenas a AMSA.

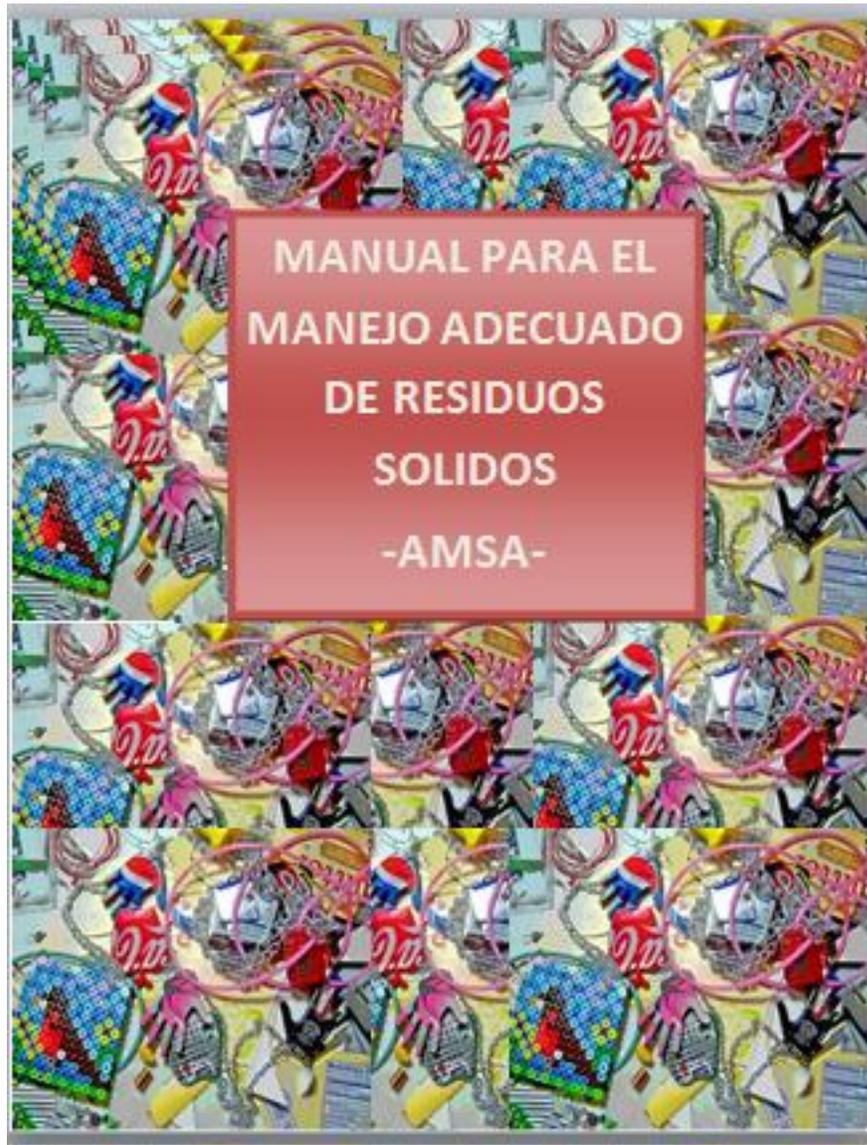


Figura 14. Manual adecuado de residuos sólidos –AMSA-

Fuente: Elaboración propia

El manual elaborado presenta temas básicos hasta técnicos para que pueda ser utilizado por distintos niveles de conocimiento, el contenido que incluye el manual es el siguiente:

1. Definiciones

2. Clasificación de residuos sólidos según uso y procedencia

- ¿Qué son las tres erres (3-R)?.
- Reducir
- Reutilizar
- Reciclar

3. Manejo de residuos sólidos

- Producción y separación de los residuos sólidos

- Generación y almacenamiento de residuos sólidos

Estimación indirecta

- Producción per cápita
- Densidad
- Composición

Estimación directa

- La recolección y transporte

Tipo de vehículo de recolección

Frecuencia y horario de recolección

La distribución espacial de las viviendas o fuentes de producción de residuos sólidos

La distancia hacia el lugar de tratamiento o disposición final

- Aprovechamiento, tratamiento y disposición final

4. Pasos que se deben de realizar para diseñar un Relleno Sanitario

- Estudios de campo y diseño
- Preparación de terreno y obras iniciales
- Operación y Mantenimiento
- Planta de reciclaje de residuos sólidos

3.3.4 CONCLUSIONES

1. La División de Manejo de Desechos Sólidos cuenta con un manual de uso interno y externo sobre el manejo adecuado de los residuos sólidos.
2. El manual elaborado establece los lineamientos necesarios para iniciar y hacer un buen manejo y aprovechamiento de residuos sólidos y puede ser utilizado tanto por personas de nivel de conocimiento básico como técnico.

3.4 SERVICIO 3: Impartición de capacitaciones

3.4.1 OBJETIVOS

3.4.1.1 Objetivo general

Brindar información sobre los trabajos realizados por la División de Manejo de Desechos Sólidos.

3.4.1.2 Objetivo específico

Apoyar al personal de la división de manejo de desechos sólidos realizando pláticas informativas realizadas a instituciones ajenas.

3.4.2 METODOLOGÍA

3.4.2.1 Fase de gabinete

Se brindó información por medio de exposiciones realizadas con presentaciones en el salón de conferencias.

3.4.2.2 Fase de campo

Se realizaron visitas al área de trabajo del relleno sanitario para obtener un mejor panorama de las actividades realizadas por la división de manejo de desechos sólidos.

3.4.3 RESULTADOS

Las exposiciones fueron brindadas a varias instituciones que visitaron AMSA, dividiéndose en dos fases:

Fase 1: Consistía en realizar una presentación con aspectos generales de los trabajos realizados por la División.

Fase 2: Esta consistía en realizar una visita al área de trabajo del relleno sanitario en la que se explican los trabajos de gravimetría de ingreso de basura, clasificación y compostaje de desechos, área de descarga en el relleno sanitario, compactación de basura, cobertura de la basura, planta de tratamiento secundario y terciario de lixiviado y tratamiento de gases.

3.4.4 CONCLUSIÓN

1. Las pláticas fueron de carácter informativo hacia varias instituciones como colegios, universidades, así como para empresas interesadas en conocer los trabajos realizados por la división de manejo de desechos sólidos de AMSA.

3.5 SERVICIO 4: Reutilización de materiales de desecho

3.5.1 OBJETIVOS

3.5.1.1 Objetivo general

Reutilizar el material que se dispone en el relleno sanitario del kilómetro 22.

3.5.1.2 Objetivos específicos

- Concienciar a las personas de la importancia que tiene la reutilización, reciclaje y reducción de los plásticos.
- Trasladar esta idea al resto de las personas que se encuentran dentro y fuera de la Cuenca del Lago de Amatitlán.

3.5.2 METODOLOGÍA

1. Se recolectaron y trasladaron las botellas pet de 3 litros.
2. Se realizó el eliminado de etiquetas en las botellas pet.
3. Se inició la construcción de los módulos de la lancha con botellas pet.
4. Se armaron los laterales de la lancha.

3.5.3 RESULTADOS

A principios del mes de abril de 2,012, con 11 personas que cuenta la División de Sólidos, se inició a trabajar el proyecto llamado “Lancha de Botellas PET”, en el cual se recolectaron toda clase de botellas de 3 litros.

Se realizó la construcción de la lancha por medio del personal de campo utilizando alambre de amarre para poder fijar bien las botellas de plástico.

Se realizaron remos con tubos pvc material reciclable también

Para construir la lancha, se utilizaron 766 botellas PET.

3.5.4 CONCLUSIONES

1. El material utilizado para la elaboración de la lancha fue recolectado de los residuos sólidos diarios que ingresan al relleno sanitario.
2. Las personas tanto de la institución como ajenas a ella obtienen idea de lo que se puede crear con residuos sólidos si estos son bien aprovechados y reutilizados, ayudando así a mejor los recursos financieros.
3. Personas han escuchado la explicación de la elaboración del proyecto de la lancha construida con material reciclable PET-, generando en ellas conocimientos para la reutilización del material así como conciencia ambiental.

3.5.5 ANEXO



Figura 15.Recolección de material PET Figura 16.Construcción de módulos de lancha



Figura 17. Recolección de material PETFigura 18.Construcción de módulos de lancha

3.6 BIBLIOGRAFÍA

1. Área Metropolitana del valle de Aburra, CO. 2004. Manual para el manejo integral de residuos en el valle de Aburra (en línea). Valle de Aburrá, Colombia. Consultado 15 ago 2012. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd30/aburra.pdf>
2. Esquerra, E. s.f. Ley de las 3 erres (en línea).Valencia, España. Consultado 28 jun 2012. Disponible en: http://www.portalplanetasedna.com.ar/archivos_varios2/3erres.pdf
3. Fuentes Yagüe, JF. 1998. Tecnicas de riego. Madrid, España, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion. 482 p.
4. Guerrero, L. s.f. Vida verde (en línea). México. Consultado 16 ago 2012. Disponible en <http://vidaverde.about.com/od/Reciclaje/tp/Que-Se-Puede-Reciclar.htm>
5. INDAP (Ministerio de Agricultura, Instituto de Desarrollo Agropecuario, CL). 2012. Sistemas de riego por goteo (en línea). Chile. Consultado 29 jun 2012. Disponible en http://www.indap.gob.cl/Riego/Biblioteca/Documentos%20de%20Inter%20C3%A9s/Manual%20Obras%20de%20Riego/054-07-Capitulo_VII_Sistema_de_Riego_por_Goteo.pdf
6. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología, GT). 2012. Estadísticas Climáticas (en línea). Consultado 25 jun 2012. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/INSIVUMEH%20PARAMETROS.htm>
7. Paniagua Granada, NM; Giraldo Suárez, EC; Castro Bermudez, LM. 2011. Manual para el manejo de residuos sólidos (en línea). Envigado, España, Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Rural. 32 p. Consultado 26 jun 2012. Disponible en:

http://www.envigado.gov.co/Secretarias/SecretariadeMedioAmbienteyDesarrolloRural/documentos/publicaciones/Guia_residuos.pdf

8. REDCICLA (Red de Reciclaje de Costa Rica, CR). 2010. Red de Reciclaje de Costa Rica - REDCICLA (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 28 jun ago 2012. Disponible en <http://www.redcicla.org/organizacion/que-son-las-3-erres>
9. Sandoval Illescas, JE. 2007. Principios de riego y drenaje. Guatemala, USAC, Editorial Universitaria. 366 p.
10. TecSup-Virtu@I-CEPIS, PE. 2008. Conceptos de hidrometria: unidad iv (en línea). Lima, Peru, TECSUP / CEPIS 20 p. Consultado 3 jul 2012. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/041225/041225-04.pdf>
11. Turbinas 3HC, PE. 2008. Diseño y fabricacion de turbinas hidraulicas desde 0.5 kilowats (en línea). Lima, Perú. 4 p. Consultado 23 jun 2012. Disponible en http://www.turbinas3hc.com/servicios/download/medir_caudal_altura.pdf
12. UBA (Universidad de Buenos Aires, Facultad de Filosofíay Letras, AR). 2008. Balance hidrico (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado 3 jul 2012. Disponible en <http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/geografia/catedras/climatologia/sitio/bcehidrico.pdf>