



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

TÍTULO DEL TEMA ESCRITO

**ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL BIOGÁS DE UN TIRADERO ACIELO
ABIERTO YA CLAUSURADO Y SANEADO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

CARMEN CHÁVEZ FRUTIS

MÉXICO, D.F. ABRIL DE 2015





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: **Irma Cruz Gavilán García**

VOCAL: Profesor: **María Rafaela Gutiérrez Lara**

SECRETARIO: Profesor: **María Neftalí Rojas Valencia**

1er. SUPLENTE: Profesor: **Néstor Noé López Castillo**

2° SUPLENTE: Profesor: **Alfonso Durán Moreno**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM.

ASESOR DEL TEMA: MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

SUSTENTANTE: CARMEN CHÁVEZ FRUTIS

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. JUSTIFICACIÓN	3
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos particulares	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 . Lixiviados.....	13
2.2 . Cantidad de lixiviados.....	14
2.3 . Biogás.....	17
2.4 . Parámetros que influyen en su producción	17
1. .Tipo de subproducto de residuos sólidos	18
2 .Trituración	18
3 .Humedad	18
4 .Temperatura.....	19
5 .pH.....	19
6 .Contenido de materiales tóxicos.....	19
7 .Población microbiológica.....	20
8 . Condiciones climatológicas y geológicas del lugar	21
9 .Edad del tiradero a cielo abierto.....	21
2.5. Composición Química del biogás	21
2.6 .Principales fuentes potenciales de afectación.....	25
2.7 . Sistemas de control, manejo y disposición	25
2.8 . Principales aspectos en el monitoreo.....	28
2.8.1. Mejorar la operación del relleno	29
2.9 . Factores específicos del monitoreo de biogás	29
2.10. Selección de parámetros	30
2.11. Obtención del biogás.....	32

2.12. Producción de ácido sulfhídrico	36
2.12.1. Sulfuro de hidrógeno	36
2.12.2. Comportamiento ácido-base.....	38
2.12.3. Solubilidad del ácido sulfhídrico en un medio ácido.....	39
3. ANTECEDENTES	40
3.1. Estudios realizados en el tiradero a cielo abierto	41
3.1.1. Operación del tiradero a cielo abierto Prados de la Montaña	43
3.1.2. Tiempo de vida útil	44
3.1.3. Control de volúmenes de residuos urbanos.....	46
3.1.4. Clausura	47
3.1.5. Cobertura Final.....	47
3.1.6. Red de extracción de biogás en Prados de la Montaña	48
3.2. Comportamiento del Biogás	50
3.3. Control del biogás dentro del sitio	50
3.4 . Mantenimiento de la red de captación de biogás	51
3.4.1. Mantenimiento superficial del área.....	52
3.5. Área de estudio actualmente.....	53
3.6. Condiciones del extiradero a cielo abierto Prados de la Montaña	54
3.7. Geología del lugar	55
4. METODOLOGÍA	56
4.1. Fase 1: Búsqueda bibliográfica.....	56
4.2. Fase 2: Muestreo en campo	56
4.2.1. Monitoreo en estado pasivo	58
4.2.2. Monitoreo en estado activo.....	59
4.2.3. Tiempo de monitoreo en estado activo.....	61
4.2.4. Trabajo de campo.....	61
4.2.5. Condiciones iniciales de monitoreo.....	61
4.2.6. Condiciones actuales	63
5. RESULTADOS	65
5.1. Caracterización del biogás en Prados de la Montaña del año 2000 al 2006	65

5.2. Concentración de biogás de datos históricos	66
5.3. Flujo de biogás de datos históricos	67
5.4. Primer monitoreo en estado pasivo.....	68
5.5. Segundo monitoreo en estado activo	69
5.6. Tercer monitoreo en estado activo y pasivo	71
5.7. Beneficios.....	75
5.7.1. Componentes valorizables: metano, azufre, CO ₂	75
5.7.2. Beneficios ambientales	75
5.7.3. Beneficios sociales.....	77
5.7.4. Aprovechamiento del biogás mezclado o purificado	77
6. CONCLUSIONES	79
6.1. Recomendaciones	80
7. Referencias.....	81

Índice de tablas

Nombre	página
<i>Tabla 1. Inventario de tipos de tiraderos en México -----</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 2. Principales tipos de lixiviados -----</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3. Algunos de los contaminantes químicos que pueden encontrarse en el biogás de manera general -----</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4. Concentraciones típicas del biogás y parámetros indicadores de manera general -----</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5. Parámetros de control recomendados para el biogás -----</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 6. Toneladas de residuos sólidos depositados en Prados de la Montaña --</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 7. Capas de cobertura y sello en Prados de la Montaña -----</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 8. Caracterización de biogás realizado en laboratorios ABC -----</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 9. Datos históricos del año 2000 al 2006 de variables medidas en Prados de La Montaña -----</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 10. Histórico de flujo anual del biogás producido en Prados de la Montaña del año 2000 al 2006 -----</i>	<i>68</i>

Índice de figuras

<i>Figura. 1. Inventario de diferentes tipos de disposición final 2000 al 2012.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura. 2. Inventario de tiraderos a cielo abierto en México hasta 2012.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura. 3. Animales domésticos alimentándose de residuos en tiraderos.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura. 4. Pozo para monitoreo de biogás.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura. 5. Red de captación para biogás.</i>	<i>26</i>
<i>Figura. 6. Quemadores de biogás (650 ft³/min) instalados en 1999 en el extiradero Prados de la Montaña.</i>	<i>27</i>
<i>Figura. 7. Composición y evolución del biogás en un relleno sanitario.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura. 8. Ciclo de producción de metano.</i>	<i>32</i>
<i>Figura. 9. Ciclo de producción del azufre.</i>	<i>36</i>
<i>Figura. 10. Conformación física de Prados de la Montaña.</i>	<i>39</i>
<i>Figura. 11. Plano de capas permeables de Prados de la Montaña.</i>	<i>41</i>
<i>Figura. 12. Compactación de los residuos del tiradero de Prados de la Montaña</i>	<i>43</i>
<i>Figura. 13. Delegaciones que depositaron sus residuos en Santa Fe.</i>	<i>44</i>
<i>Figura. 14. Red de tuberías, pozos de extracción y estación de quemado de gas en Prados de la Montaña.</i>	<i>47</i>
<i>Figura. 15. Red de extracción y soportes de tuberías en Prados de la Montaña.</i>	<i>48</i>
<i>Figura. 16. Pozos de monitoreo en Prados de la Montaña.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura. 17. Mantenimiento a la red de extracción de biogás en Prados de la Montaña.</i>	<i>51</i>
<i>Figura. 18. Ubicación del sitio denominado Prados de la Montaña.</i>	<i>53</i>
<i>Figura. 19. Teclas de desplazamiento del GEM 2000.</i>	<i>56</i>
<i>Figura. 20. Partes que conforman un cabezal para monitoreo de biogás marca LANDTEC.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura. 21. Diagrama de monitoreo entre pozos realizado en estado pasivo en Prados de la Montaña.</i>	<i>58</i>
<i>Figura. 22. Diagrama de flujo del tiempo de monitoreo realizado en estado activo en Prados de la Montaña.</i>	<i>59</i>
<i>Figura. 23. Monitoreo en pozos de biogás febrero 2014.</i>	<i>62</i>
<i>Figura. 24. Diagrama de flujo del GEM 2000 y parámetros que se obtienen en in situ,</i>	<i>64</i>
<i>Figura. 25. Concentración de biogás, Fuente: Tomada de datos históricos de biogás en Prados de la Montaña.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura. 26. Flujo de biogás que se genera en Prados de la Montaña del 2000 al 2006.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura. 27. Monitoreo de 112 pozos en estado pasivo de biogás que se generó en</i>	

<i>Febrero 2014 en Prados de la Montaña.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura. 28. Monitoreo de 112 pozos en estado activo de biogás que se generó durante el mes de marzo 2014 en Prados de la Montaña.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura. 29. Tercer monitoreo en 112 pozos en estado activo de biogás que se generó en el mes de mayo 2014 en Prados de la Montaña.</i>	<i>73</i>
<i>Figura. 30. Monitoreo en estado pasivo de 112 pozos de biogás que se generó en el mes de mayo 2014 en Prados de la Montaña.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura. 31. Monitoreo los pozos NH1 A NH11.</i>	<i>75</i>

RESUMEN

En México se estima que actualmente se recolectan alrededor de 86,357 Ton/día del total de los residuos generados, mismos que corresponden a 83.93%, de todos los residuos el 23.53% se destina a centros de acopio o plantas de selección; solo el 60.54% se deposita en Rellenos sanitarios y sitios controlados, esto es 62,288 Ton/día; y el 15.93% que corresponden a 16,395 Ton/día, se disponen diariamente a cielo abierto en sitios no controlados o clandestinos.

Los efectos del manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos incluyen: el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, urbano y rural, con la consecuente pérdida de valor y modificación del uso de suelo de los sitios donde se acumulan residuos abandonados, es uno de los efectos que la población percibe; entre otros efectos ambientales más severos, se tienen por un lado la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, ocasionada por el vertimiento directo de los residuos sólidos así como por la infiltración en el suelo del lixiviado que es producto de la descomposición de la fracción orgánica contenida en los residuos y que muchas veces es mezclada con otros residuos de origen químico y por el otro lado una generación de biogás que si no está bien controlado se va a la atmósfera a formar parte de los gases de efecto de invernadero.

Por lo anteriormente expuesto el objetivo de este trabajo fue analizar la evolución de la generación del biogás que se genera en el tiradero a cielo abierto clausurado y saneado de Santa Fe (Prados de la Montaña), con datos históricos disponibles del 2000 al 2006 y 2014, y para alcanzar el objetivo planteado se realizó una búsqueda bibliográfica y documental exhaustiva, así mismo se llevaron a cabo los respectivos trabajos de muestreo en campo.

Los resultados mostraron que el flujo de biogás varió de 36 a 63 $\frac{m^3}{h}$ del año 2000 al 2006, durante el 2014 se pudo ver que el flujo ha disminuido en 10% actualmente produce un promedio de flujo global de (26 $\frac{m^3}{h}$) en diez años. La generación de metano en el año de 2000 era de 43.3%, con un aumento en los siguientes tres años (2000 al 2003), manteniéndose en promedio en los siguientes tres años siguientes (2003 al 2006) en 55.35%, y disminuyendo para los siguientes años hasta un 39.9%.

El biogás que se genera puede ser aprovechado para producir energía eléctrica o para enriquecer al gas natural y ser un combustible mejorado, por otro lado, el azufre que se produce también pudiera ser aprovechado.

1. INTRODUCCIÓN

La basura se genera, desde que el hombre ha tenido la necesidad de alimentarse, generándose desperdicios de la caza de su alimento, al llevarse al lugar donde habitaban, posiblemente también ahí desechos de estos alimentos. Al practicar el sedentarismo y formar comunidades, los desperdicios generados solo eran arrojados atrás de donde se asentaban, siendo la mayoría de tipo orgánico, los que servía como abono a las plantas de su alrededor o debajo de estas.

Al iniciar la revolución industrial, la materia prima fue procesada y esto llevó a generar grandes cantidades de desperdicios, comenzando a tener cambios aun todavía imperceptibles, pero significativos, nuevos materiales y diferentes reacciones de transformación que generaron desperdicios, que al no saber darles un tratamiento y al liberarse al ambiente iniciaron una contaminación ambiental, generando la practica más común arrojarla a tiraderos a cielo abierto, o en algunos casos enterrados sin ningún control, una gran cantidad de residuos sólidos contaminantes (Cruz, *et al.*, 2002).

En México, (Smith, 2011), refiere que la basura era arrojada solo atrás de las casas, y en algunos casos era enterrada en parte de su parcela, esa práctica se lleva a cabo en algunos casos todavía en el área rural. México, al entrar a una modernidad trajo consigo una gran cantidad de productos procesados, y manufacturados, con ese crecimiento tecnológico los residuos eran dispuestos a cielo abierto y sin ningún control, solo era separada al llegar al tiradero por los llamados pepenadores, pero estos solo separaban lo que más les compraban como el papel, cartón, vidrio (blanco, verde y ámbar), cobre, aluminio, fierro, ropa, calzado, chácharas, juguetes, los desechos arrojados en un tiradero a cielo abierto contiene, papel plástico, madera, vidrio, tela, metales, juguetes, zapatos, animales

mueritos, desechos de alimentos, cartón, botellas de PET, estos residuos sólidos generan una fauna nociva, mal olor y lixiviados que se infiltran al subsuelo. (Tchobanoglous, 1998).

1.1. JUSTIFICACIÓN

Los residuos sólidos enterrados en tiraderos y con altos porcentajes de materia biodegradable, generan grandes cantidades de biogás que al no tener un control de la disposición de ellos y sus emisiones al ambiente, permite que sea un peligro latente para la población ya que ocasiona gases de efecto invernadero y calentamiento global, así como pérdidas económicas y vidas que es lo más importante. Los subproductos generados de residuos sólidos urbanos son por un lado la fase líquida que es representada por los lixiviados y por otro la fase gaseosa que está compuesta por CH_4 , CO_2 , H_2S , N_2 , y gases trazas, esto obliga a buscar mitigaciones para el control de dichos gases, ya que pueden ser promotores de lluvias ácidas y al reaccionar con los rayos UV se hacen altamente reactivos y en el aire genera contaminantes foto químicos. Por eso es muy importante mantener lo mejor controlado estas emisiones de gases.

Cada tiradero presenta condiciones diferentes es por eso que se debe tener mucho cuidado de mantenerlo totalmente controlado, con un mínimo de emisiones al medio ambiente, ya que esto representa una medida de suma importancia desde el punto de vista de riesgo ambiental. Prados de la Montaña por ser el primer tiradero de basura que fue clausurado en base a la normatividad de la EPA de California y por el ser el primero en México, Centro y Sudamérica con una infraestructura al final de su clausura y que por el tiempo que ha transcurrido desde que fue cerrado, es fundamental conocer en qué etapa de su producción de biogás se encuentra mediante el seguimiento de análisis de lugar (EPA, 2000).

Por lo antes expuesto y por la importancia de estos sitios y el alto impacto ambiental que pueden tener es importante llevar a cabo una investigación con respecto a la evolución del biogás generado a partir de un tiradero a cielo abierto que ha sido clausurado y saneado, como es el caso Prados de la Montaña el cual -fue clausurado desde 1997, cuenta con una infraestructura para la extracción de biogás y 112 pozos para el monitoreo de este.

La cantidad de biogás que se produce en Prados de la Montaña depende del tiempo de clausura y la evolución que ha tenido el biogás, no hay reportes que indiquen la tasa de evolución de biogás después de que un tiradero a cielo abierto ha sido clausurado, por lo que los objetivos de esta investigación pretende contribuir a obtener dicha información la cual es muy valiosa para poder tomar decisiones.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Analizar la evolución de la generación del biogás que se produce en el tiradero a cielo abierto saneado y clausurado de Santa Fe (Prados de la Montaña), con datos disponibles del 2000 al 2006 y 2014.

1.2.2 Objetivos particulares

1. Realizar la búsqueda de información disponible sobre la tasa generación de biogás en Prados de la Montaña.
2. Realizar la medición de la concentración de biogás que se está generando actualmente en Prados de la Montaña para identificar en qué etapa de generación de biogás se encuentra el Tiradero a Cielo Abierto.
3. Reportar los beneficios ambientales y sociales por el aprovechamiento del biogás mezclado o purificado.

2. MARCO TEÓRICO

En México las prácticas más comunes para disponer los residuos sólidos urbanos o municipales en el suelo son: Relleno Controlado (RC), Relleno Sanitario (RS) y Relleno Metanogénico (RM) o biorreactor, hay que reconocer que se tienen también una gran cantidad de Tiraderos a Cielo Abierto (TCA), (Rojas y Sahagún, 2012)^b.

Un RC (relleno controlado) es un sitio de disposición final que cumple con una serie de especificaciones en cuanto a obras de infraestructura y operación, no obstante no cumple con las especificaciones de impermeabilización ni con las condiciones y requerimientos técnicos conforme las disposiciones legales y sanitarias vigentes estipuladas en la (NOM-083-SEMARNAT, 2004) INEGI, reporta un inventario de 23 de este tipo hasta el 2006, no se tiene ningún dato más reciente (Nájera, *et al*; 2010).

Mientras que un relleno sanitario (RS) es una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los RSU y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicional, los impactos ambientales un relleno de este tipo debe cumplir cabalmente con la normatividad mencionada anteriormente. El INEGI, reporta 104 tiraderos a cielo abierto hasta el 2012, con actualización de datos el 14 de mayo 2014, estadística por tema (Rojas y Sahagún, 2012)^b.

Un TCA consiste en verter los residuos directamente al suelo en forma diaria a veces sin cubrirlos con tierra. Esta práctica no es adecuada debido a los problemas sanitarios y ambientales que provoca, pero es la más utilizada en el país debido a que es la más económica y fácil de operar para los municipios, la mayoría de los TCA son clandestinos ya que ocupan cañadas, caminos, lotes baldíos y cuerpos de agua, pueden ser familiares o municipales. Por su diversidad e irregularidades no se tiene un registro de la mayor parte de dichos sitios (Nájera, *et al*; 2010).

Tiradero en México, significa, un lugar donde se arroja basura y esta se amontona en cualquier lugar a cielo abierto (Rojas y Sahagún, 2012)^a.

Tiradero a cielo abierto es la acción de tirar residuos sólidos, amontonándola sin ningún control y en lugares menos adecuados, como en barrancas, ríos y lugares que mejor le parezca para tirar esos residuos (Rieva, 2002).

La definición de tiraderos por norma es un lugar inadecuado de disposición final que no cumple con los requisitos establecidos en la norma NOM-083-SEMARNAT-2004.

Tiradero a cielo abierto (TCA). Son socavones a los cuales solo se acumulan basuras, sin ningún control y correcta separación adecuada de ella, en un largo tiempo existiendo aquí una gran cantidad de bacterias aerobias, y anaerobias las cuales llevan su proceso biológico desde el momento mismo de tirar los residuos, generando problemas ambientales y de salud (Nájera, *et al*; 2010).

En el Distrito Federal existieron 7 tiraderos de mayor importancia por sus dimensiones, el tiradero de Santa Cruz Meyehualco (150 hectáreas) y operando

como Tiradero a Cielo Abierto desde los años cuarenta y cincuenta, San Lorenzo Tezonco que ocupa el tercer lugar de importancia en Tláhuac, en Santa Fe que operó desde 1952, Prados de la Montaña inicio operaciones desde marzo de 1987 con recepción de aproximadamente 2,300 toneladas diarias de residuos, fue clausurado en julio de 1994, Santa Catarina, laguna de Xochiaca, lugar de depósito por mucho tiempo los residuos sólidos urbanos fueron uno de los principales focos de contaminación, para el Distrito Federal. Aún en varios estados de la República se tiene esta problemática de tiraderos de basura sin ningún control (Rojas y Sahagún, 2012)^c.

Prados de la Montaña en sus inicios solo se compacto con capas de tierra y fue hasta 1992 que se utilizó una capa de geomembrana para la zona oeste del sitio con una superficie de 53,049 m² esto con la finalidad de evitar fuga del biogás de esta zona (DGSU, 1994).

Para el año de 1982 operaban siete sitios: Tlalpan, Tláhuac, Milpa Alta, el lago de Texcoco, San Lorenzo Tezonco, Santa Cruz Meyehualco y Santa Fe, estos sitios presentaron condiciones diferentes, en la disposición de los residuos que ahí se depositaron (DGSU, 1994).

Los basureros clandestinos solo eran recubiertos con tierra, y lotificados un ejemplo de esto fue la Colonia del Valle, que fue un basurero a cielo abierto de la Ciudad (Rojas y Sahagún, 2012)^a.

Los tiraderos a cielo abierto crecen en ríos, zonas urbanas y conurbadas, provocando inundaciones en tiempo de lluvias, generando pérdida de vidas y materiales.

El Inventario realizado por el INEGI (2000)^a, concluido en el 2012 con una actualización en el 2014 (véase tabla1), refiere que estos no cuentan con la infraestructura propia de un relleno sanitario, ni las condiciones mínimas de compactación y cobertura diaria, tales condiciones provoca que se generen, problemas a futuro, a la fecha no hay una cifra total de todos los tiraderos en México y solo se pueden clasificar los que se tienen contabilizados, tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Inventario de tipos de tiraderos en México

Año	Rellenos sanitarios tipo a (1x10 ³ Ton)	Rellenos de tierra controlada tipo b (1x10 ³ Ton)	Tiraderos a cielo abierto (1x10 ³ Ton)	Reciclaje Tipo c (1x10 ³ Ton)	Total (1x10 ³ Ton)
2000	14490.5	2421.8	13096.8	724.3	30733.1
2001	15252.7	3351.9	12141.9	724.1	31488.6
2002	15579.9	3630.9	12182.4	780.5	32173.7
2003	17431	3709.3	10954.8	820.5	32915.6
2004	18586.3	3718.7	11402	895	34602
2005	18832.4	4078.6	11344	1150	35405
2006	19772.1	3763.5	11423.4	1176	36135
2007	20848.6	3844.9	10971.3	1202.2	36865
2008	21822.6	3545.6	10880	1346.8	37595
2009	22175.1	3924.9	10725	1500	38325
2010	24910.4	3330	10123.4	1695	40058.8
2011	26136	3427.1	9519.4	1980	41062.5
2012	27414.5	3399.1	9280.4	2100	42194

Fuente: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/modulosamb/doc/rsu.zip?s=est&c=33214>

a Sitios que cuentan parcialmente con aplicación y vigilancia de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas.

b Sitios para la disposición final de los residuos sólidos que no cuentan con la infraestructura propia de un relleno sanitario, pero donde se dan las condiciones mínimas para la compactación y cobertura diaria.

c Materiales recuperados en los sitios de disposición final. Excluye lo separado en diversas fuentes de generación, lo recuperado en contenedores, estos residuos son normados por un marco legislativo LGPGIR (<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpggir.htm>) y legal LGEEPA (<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>)

En la figura 1 se muestra una gráfica donde se puede apreciar los diferentes tipos de disposición final del 2000 al 2012. Se observa que predominan los rellenos sanitarios seguidos de los Tiraderos a Cielo Abierto.

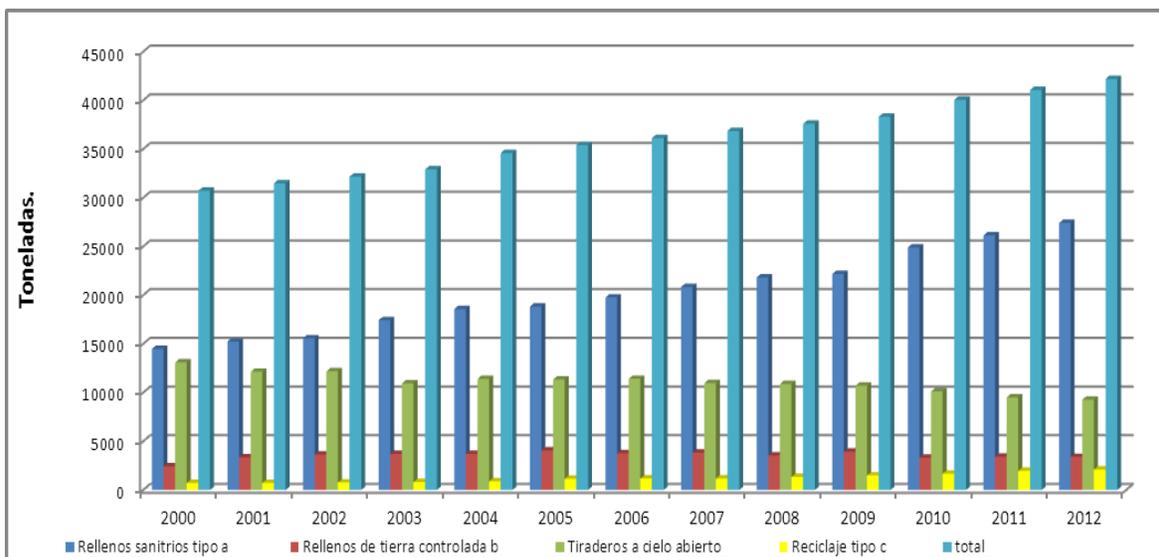


Figura. 1. Inventario de diferentes tipos de disposición final 2000 al 2012

Fuente a: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb309&s=est&c=33221>

Existen tiraderos en todo los estados de la República Mexicana, por datos de INEGI se han identificado más de 5000 tiraderos a cielo abierto INEGI (2014)^b para esta disposición, lo más crítico es que no se cuenta con una ubicación exacta en

cada estado, y esto es un impedimento para sanear esos sitios, como muestra el inventario que inicio en el 2000 y termino 2012 de los tiraderos a cielo abierto que existen en la República Mexicana, mostrado en la figura 2.

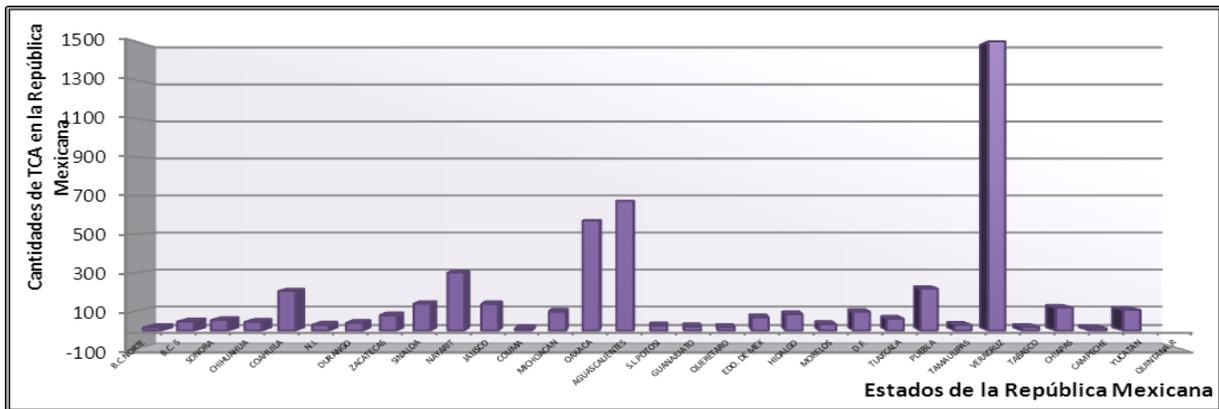


Figura. 2. Inventario de tiraderos a cielo abierto en México hasta 2012

Fuente b: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb309&s=est&c=33221>

Los tiraderos a cielo abierto han sido una práctica bastante común en México, hasta la década de los 80 que se comenzó a preocupar el DF por implementar medidas de corrección a este problema, ya que eran siete los tiraderos de mayor importancia en la generación de contaminación ambiental, así como de proliferación de fauna nociva y que representaron y siguen presentando un riesgo para la salud de la población, y al ambiente en el DF y en otros estados de la República, que siguen esta misma práctica sin ningún control, como el tiradero a cielo abierto de San Cristóbal de las Casas (Rojas y Sahagún, 2012)^b, en el cual se observa una proliferación excesiva de fauna nociva, que afecta a los habitantes cercanos y trae problemas de salud, al igual con los animales domésticos que se alimentan de estos desechos y sirven de alimento a sus dueños un ejemplo de lo anterior citado se muestra en las figuras 3a) y 3b).



Figura. 3. Animales domésticos alimentándose de residuos en tiraderos

Fuente: Sitio de disposición final, San Cristóbal de las Casas, México.

En estos tiraderos al existir varios tipos de basura, no solo permiten un exceso de fauna nociva, también de bacterias, ya que la basura al estar en descomposición por procesos aerobios y anaerobios, ponen en riesgo a una población vulnerable, en este caso a los que están más en contacto con estos tiraderos lo que genera un problema de salud pública.

Robles (2008), menciona que todos los sitios de disposición final se pueden considerar como grandes reactores complejos y heterogéneos cuyos principales productos son el biogás y los lixiviados. Estos últimos son los principales flujos de contaminación que emanan de los TCA y que representan los principales riesgos de contaminación de los residuos sólidos (RS) hacia el ambiente (Rieva, 2002).

2.1. Lixiviados

De acuerdo con la NORMA OFICIAL MEXICANA 083-ECOL-1996 (NOM-083-ECOL1996), un lixiviado es un líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene sólidos disueltos o en suspensión, entre otros componentes que se encuentran en los mismos residuos.

La norma, emitida en el 2004 (NOM-083-SEMARNAT-2004), define al lixiviado como un líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contienen en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que pueden dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y presentar un riesgo a la salud humana y de los demás organismos vivos.

Otros autores definen al lixiviado de un relleno sanitario como un agua residual compleja, con considerables variaciones en la composición y el flujo volumétrico contienen nitrógeno, fósforo, amoníaco y detergentes, así como material disuelto, en suspensión, fijo o volátil, lo que provoca elevadas cargas orgánicas, ácidos grasos volátiles, sales, amoníacos, y metales pesados y a su vez pueden ser disyuntor del sistema endocrino (Méndez et al, 2002). Esto último con características propias forma una corriente altamente agresiva al ambiente con un potencial contaminante mayor que muchos residuos industriales. Estos lixiviados varían en calidad con el tiempo, y tipo de relleno del que se trate, así como el país y su desarrollo, presentando diferentes concentraciones de los contaminantes, DBO₅, DQO. La degradación se ve reflejado en su contenido (Méndez et al, 2002).

2.2. Cantidad de lixiviados

La cantidad de lixiviados depende de diferentes factores del sitio de disposición y representan un elemento crítico, para la selección de su tratamiento, lo cual está en función de:

- a) Terreno rellenado
- b) Fracturas en la capa sello
- c) Drenado de lixiviado
- d) Tipo de geomembrana
- e) Capa sello

También estarán en función del tipo de residuo depositado en un tiradero o relleno, ya que en un tiradero no se tendrá un control de estos residuos, y en los rellenos sanitarios se implementa un control y tratamiento, que genera la necesidad de un almacenamiento y caudal que afecta la composición de los residuos, esto permite clasificar según la edad del relleno que se trate como joven, maduro o viejo (Mendéz *et al*, 2002); (Robles, 2008).

Esta clasificación es por el alto contenido de materia orgánica biodegradable, contenido de humedad, y producción de ácidos grasos y productos amoniacales los cuales se diluyen en el lixiviado y aumentan la acidez, y contribuyen a solubilizar los metales pesados presentes (Robles, 2008).

La calidad de los lixiviados es determinada fundamentalmente por la composición de la basura depositada en el relleno, por los procesos de reacción bioquímica que tienen lugar en el mismo, manejo del lixiviado y condiciones ambientales.

De acuerdo con lo anterior, la concentración y composición de contaminantes pueden ser muy diferentes según las condiciones antes mencionadas, pero principalmente a la edad del relleno (Giraldo, 1997).

Amokrane y colaboradores los clasifican en función del contenido de materia orgánica (medida en DBO₅ y DQO), capacidad de estabilización y de la edad del relleno sanitario tal y como se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Principales tipos de lixiviados

Parámetro de referencia	Edad del relleno (años) y Tipo de lixiviado		
	0 < 5 (joven)	5-10 (medio)	< 10 (viejo)
	I (Biodegradable)	II (Intermedio)	III (Estabilizado)
pH	< 6.5	6.5 – 7.5	> 7.5
DQO (g/L)	> 20	3 – 15	< 5
DQO/COT	< 2.7	2.0 – 2.7	> 2.0
DBO ₅ /DQO	< 0.5	0.1 – 0.5	< 0.1
AGV* (COT)	> 70	5 – 30	< 5
Metales pesados(g/L)	2	-----	<50 mg/L

AGV*: ácidos grasos volátiles. Fuente:(Amokrane, 1997; Robles, 2008 y Orta, *et al*; 2006).

Las características de los lixiviados tendrán variaciones dentro de un mismo tiradero dado que pueden coexistir etapas aerobias de los frentes de trabajo, con las fases acidogénicas de las primeras semanas del relleno y con las metanogénicas que siguen a la fase ácida. Se hace necesario por tanto, realizar estudios de tratamiento para cada tipo de lixiviado y para cada relleno sanitario,

por lo que no es posible transferir directamente el tipo de tratamiento aplicado a un lixiviado (Orta, *et al*; 2006).

La concentración de ácidos carboxílicos, para el lixiviado joven puede representar más de 80 % de la carga orgánica, mientras que en el lixiviado intermedio representan del 20 al 30 % de la carga orgánica (Durán, *et al*; 2008).

De esta manera en la práctica, mediante el análisis de parámetros globales tales como la DBO₅, DQO, AGV (ácidos grasos volátiles), carga de oxígeno total (COT) y pH, es posible determinar el tipo de lixiviado que se tiene en un determinado relleno sanitario (Ladino, 2011).

Por ejemplo, la relación DBO₅/DQO permite establecer el grado de estabilización de un lixiviado así como el contenido de materia orgánica biodegradable y recalcitrante. Una relación mayor que 0.3 indica un lixiviado joven y presencia de materia biodegradable; una relación de 0.1 o menor caracteriza a un lixiviado estabilizado con presencia de compuestos recalcitrantes difíciles de biodegradar (Ostrem, 2004).

Diversos experimentos han permitido poner en evidencia, por una parte, la existencia de correlaciones entre el carbono orgánico total (COT), la demanda química de oxígeno (DQO) y el pH y, por otra parte, con la concentración de ácidos carboxílicos (Giraldo, 1997).

También es posible encontrar compuestos recalcitrantes como los plaguicidas y los hidrocarburos clorados, entre otros, considerados como residuos peligrosos.

2.3. Biogás

El biogás es una mezcla de gases generados por la descomposición anaerobia de los residuos sólidos, entre los cuales los de mayor relevancia son el metano (CH_4) y el bióxido de carbono (CO_2), así como de los gases traza (Giraldo, 1997).

El biogás es producto de diferentes estratos bacterianas, en donde en conjunto estas produce biogás (CH_4 , CO_2 , N_x , y gases traza), generados en un tiradero, esta producción está determinada por el tiempo de clausura, tipo de basura, y condiciones climáticas, así como del suelo donde se encuentre. Estos gases son un factor de preocupación, ya que en el medio ambiente, son altamente contaminantes y reactivos, contribuyendo al efecto invernadero (Ladino, 2011).

2.4. Parámetros que influyen en su producción

La evolución de la composición del biogás en un relleno sanitario y la razón de producción en todo momento es función de los factores siguientes: (Moreno, 2011).

Los subproductos de los residuos sólidos urbanos dependerán de su composición química, ya que estos tienen un elevado contenido de carbono en su estructura y esto facilita una combustión y por lo tanto una recuperación energética, acompañado de CO_2 , con un poder calorífico de 1500 a 2200 kcal/kg, con procesos de recuperación se pueden estos subproductos reutilizar e integrarse como fertilizantes.

1. Tipo de subproducto de residuos sólidos

La velocidad de la degradación anaerobia y la velocidad de generación del biogás, dependen principalmente de la cantidad y calidad de los nutrientes, necesarios para la degradación anaerobia, incluyendo nitrógeno, fósforo, magnesio, sodio, calcio y cobalto. Por lo general, los desechos orgánicos biodegradables contienen nutrientes necesarios para los organismos metanogénicos en cantidades suficientes. Con nitrógeno para permitir el crecimiento bacteriano (Ostrem, 2004).

2. Trituración

La compactación de residuos disminuye su porosidad y propicia el contacto de los microorganismos con la porción biodegradable. Así mismo reduce la cantidad de aire presente, por lo que puede reducir el tiempo necesario para la descomposición anaerobia y la generación de metano.

3. Humedad

La cuantificación o determinación del porcentaje de humedad es crítico para la formación de biogás, en ensayos experimentales se encontró que el elevar la humedad de un 61 % a un 75 % puede aumentar de 10 a 20 veces la velocidad de generación de metano por periodos cortos. Esto sugiere que en un relleno sanitario el control de humedad puede ser utilizado para regular la generación de metano (Orta, *et al*; 2006).

Esta cuantificación de humedad contenido en los residuos sólidos municipales se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra cuando se somete a las condiciones de tiempo y temperatura que se establecen en esta norma, considerando que dicha pérdida se origina por la eliminación de agua (NMX-AA16-

1984). Es recomendable que esta prueba se realice lo más pronto posible después de haber obtenido y cuarteado la muestra, para evitar pérdidas por evaporación, principalmente en aquellos sitios donde las temperaturas del ambiente sean superiores a 30°C (Ladino, 2011).

4. Temperatura

De los microorganismos presentes durante la degradación anaerobia, la bacteria metanogénica es la más sensible a cambios de temperatura, habiéndose establecido empíricamente que el potencial óptimo para la generación de metano es de alrededor de 45°C para el rango mesofílico y 55 °C para el rango termofílico. La generación de metano en condiciones termofílicas es el doble que en condiciones mesofílicas (Moreno, 2011).

5. pH

El pH en un relleno sanitario está influenciado por dos factores fundamentales: los ácidos que se producen durante la fase de fermentación ácida y el dióxido de carbono que se disuelve en el agua presente. Los ácidos tienden a bajar el pH, sin embargo, el dióxido de carbono, debido a su capacidad de actuar como un amortiguador “buffer”, opone resistencia al cambio de pH. Esta situación propicia la proliferación de microorganismos metanogénicos, ya que mantienen valores de pH cercanos a neutros (Moreno, 2011).

6. Contenido de materiales tóxicos

Existen algunos compuestos que pueden tener efectos tóxicos en los organismos productores de metano: los principales son amoníaco, ácidos volátiles y metales pesados. El amoníaco por lo general se forma rápidamente por aminación de

compuestos proteicos, el cual libre es mucho más tóxico que el ión amonio, y su nivel debe ser mantenido por debajo de los 80 mg/L, y tolerarse en concentraciones de 1,500 a 3,000 mg/L (Ladino, 2011).

Concentraciones elevadas de ácidos tales como el acético, propiónico y butírico pueden tener efectos tóxicos sobre la bacteria metanogénica, aunque no se ha podido establecer con claridad si la toxicidad es atribuible directamente a los ácidos, o si la acidez es una manifestación de toxicidad. Los iones de metales pesados abaten el metabolismo y aniquilan a los microorganismos al inhibir los grupos de sulfhidrilos, particularmente, en los casos en que los metales se encuentren en su forma soluble. La presencia de sulfatos tiende a minimizar los efectos de los metales, ya que forma compuestos no tóxicos o precipitados insolubles con estos (Giraldo, 1997).

7. Población microbiológica

Para que la producción de metano se pueda llevar a cabo es necesaria la participación de diversas bacterias. Primero participan las bacterias hidrolíticas y acidogénicas que se encargan de transformar proteínas, carbohidratos y grasas en ácidos orgánicos y alcoholes. Seguido de esto, las bacterias acetogénicas producen acetato y dióxido de carbono más hidrógeno molecular, y por último las bacterias metanogénicas que pueden ser divididas en dos se encargan de producir metano. Las metanogénicas acetoclásticas convierten el acetato en metano y dióxido de carbono, mientras que las metanogénicas hidrogenófilas transforman el dióxido de carbono más hidrógeno molecular en metano. A partir del metabolismo de esta población microbiológica se obtiene lo que conocemos como biogás. También hay otro tipo de bacterias que están involucradas en los componentes del biogás y son las sulfatoreductoras, las cuales compiten directamente con las metanogénicas, modificando así la cantidad de estas y la eficacia del producto

obtenido, ya que las bacterias sulfatoreductoras se encargan de degradar sulfatos presentes en los residuos orgánicos obteniéndose así una mezcla de metano con ácido sulfúrico, este último considerado de menor calidad (Ladino, 2011).

8. Condiciones climatológicas y geológicas del lugar

La composición del biogás depende de la etapa de degradación y el tiempo de confinamiento y las condiciones propias que se crean en estos sitios, influyendo condiciones ambientales y características de suelo, estos factores a su vez pueden inhibir la producción de biogás.

En los tiraderos el biogás tiende a emigrar al medio ambiente, por difusión molecular, y gradientes de presión, temperatura, desarrollado por variaciones biodegradables, esta migración se dará en las paredes laterales, generando un flujo difusivo, a zonas de menor resistencia, otro factor que influye son el exceso de lixiviados y asentamientos diferenciales (Coss, 2011).

9. Edad del tiradero a cielo abierto

El análisis químico del biogás es importante porque permite obtener curvas de composición con respecto al tiempo y usar esta información para predecir la estabilización de los residuos sólidos. La producción de biogás en el comienza en el relleno sanitario se comienza a generar hasta después de los tres meses de operación. Sin embargo la máxima producción de biogás es hasta después de 3 años y puede llegar a tener un tiempo de vida hasta 15 años o más dependiendo de la calidad del biogás (Ostrem, 2004).

2.5. Composición Química del biogás

Usualmente el gas está compuesto de aproximadamente 50-60 % de metano (y en ocasiones este valor puede elevarse) y 40-50 % de dióxido de carbono, además de trazas de otros gases. La peligrosidad del biogás se debe al metano, el cual puede ser explosivo en concentraciones entre 5 y el 15 % en volumen en el aire; también puede ser corrosivo, dependiendo del porcentaje de CO₂ que contenga.

Los gases traza, además de los compuestos orgánicos diferentes del metano son: ácido sulfhídrico (H₂S), nitrógeno (N₂), hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂). El nitrógeno y oxígeno normalmente se manifiestan en cantidades variables, dependiendo de la cantidad de aire que queda atrapada al momento de la disposición de los residuos (Rojas, *et al*; 2001).

Los gases formados en la etapa anaerobia son olorosos, la presencia de CH₄ incrementa la percepción de otros gases malolientes, lo que puede producir queja pública. Contribuyen principalmente a este olor dos grupos de compuestos: el primer grupo lo conforman ésteres y organosulfuros, incluyendo ciertos solventes depositados con los desechos; el segundo grupo incluye alquilo y limoneno, los olores dulces afrutados y pútridos de estos compuestos se diluyen con el tiempo y dejan de percibirse (Ostrem, 2004).

En el gas se encuentran también algunos contaminantes orgánicos prioritarios, entre los que figuran el dicloruro de etileno, percloroetileno, tricloroetileno, cloruro de vinilo, calificados como peligrosos.

En algunos estudios han detectado una amplia variedad de hidrocarburos, algunos clasificados como carcinogénicos y no carcinogénicos. Los componentes potencialmente carcinogénicos identificados en el biogás son: el benceno, tetracloruro de carbono, cloroformo, 1,2^o dicloroetano, 1,1^o dicloroetano, dibromuro de etileno, cloruro de metileno, 1,1,2,2^o tetracloroetano, 1,1,2^o tricloroetano,

tricloroetano, cloruro de vinilo. Y los componentes no cancerígenos son: brometano, clorobenceno, 1,1- dicloroetano, metiletil acetona, tolueno y xilenos. Como resultado de lo anterior, la caracterización de las sustancias químicas en el biogás ha tomado importancia, y existen estudios en proceso de muestreos efectuados en 356 rellenos sanitarios localizados en el Estado de California con el propósito de establecer una base de datos.

Los compuestos que reciben la inspección minuciosa más reglamentaria son los compuestos volátiles. Estos generalmente son los alifáticos, aromáticos, cíclicos e hidrocarburos clorados (tabla 3). Otra clase de compuestos que pueden estar presentes en el biogás son condensados de varias fases de desarrollo del relleno sanitario como son compuestos de azufre, metales e híbridos de metales.

Tabla 3. Algunos de los contaminantes químicos que pueden encontrarse en el biogás de manera general

Compuesto Químico	Formula
Benceno	C ₆ H ₆
Cloroetano	CH ₂ :CHCl
1,2- Dibromoetano	Br ₂ CH ₂ CH ₂
1,2- Dicloroetano	ClCH ₂ CH ₂ Cl
Diclorometano	CH ₂ Cl ₂
Tetracloroetileno	Cl ₂ C:CCl ₂
Tetraclorometano (Tetracloruro de carbono)	CCl ₄
1,1,1- Tricloroetano	CH ₃ Cl ₃
Tricloroetileno	CHCl ₃
Triclorometano (cloroformo)	CH ₂ Cl ₃
Ácido sulfhídrico	H ₂ S

Fuente: Rojas *et al*; 2001

Las concentraciones típicas de biogás en rellenos sanitarios se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Concentraciones típicas del biogás y parámetros indicadores

Componentes	Concentraciones típicas (% en volumen)	Observaciones máximas (% en volumen)
Metano	65.0	88.0
Dióxido de Carbono	35.0	90.0
Oxígeno	0.1	20.9
Nitrógeno	2.4	87.0
Monóxido de Carbono	0.001	0.09
Etano	0.005	0.0139
Eteno	0.018	-
Acetaldehído	0.005	-
Propano	0.002	0.0171
Butano	0.003	0.023
Helio	0.00005	-
Alcanos	0.05	0.07
Hidrocarburos insaturados	0.009	0.048
Compuestos halogenados	0.00002	0.032
Sulfuro de hidrógeno	0.00002	35.0
Compuestos de organosulfuro	0.00001	0.028
Alcoholes	0.00001	0.127
Otros	0.00005	0.023

Fuente: Orta *et al*; 2006

2.6 .Principales fuentes potenciales de afectación

El biogás puede causar o contribuir a la contaminación del agua subterránea, del suelo y de la atmósfera. La primera se puede generar por migración subterránea del gas, cuando sus compuestos orgánicos solubles se disuelven en el agua confinada; la contaminación del suelo se debe a las emisiones del biogás hacia la superficie, el transporte a través de los lados y el fondo de los antiguos y nuevos sitios de disposición, cuando no cuentan con cubierta final y membranas flexibles. El último tipo de contaminación se provoca, por la producción de metano el cual además de poder causar explosiones, incendios como ya se mencionó se considera como un gas de efecto invernadero (Ghazi & Omar, 2012).

2.7. Sistemas de control, manejo y disposición

En un sitio de disposición final, la selección de los puntos donde se ubican los pozos de monitoreo de biogás, son basados en barridos geofísicos de la zona. Este tipo de estudios permite conocer los perfiles isorresesivos del suelo y, por lo tanto, el tipo del material que lo conforma (NOM-083-SEMARNAT- 2003). Además, permiten también determinar con alto grado de exactitud las zonas donde existen fracturas, grietas, y puntos críticos del lugar, determinado para la ubicación de los pozos, ya que el biogás tiende a migrar justamente a través de dichas fracturas (Sánchez, 1993). Por ejemplo, para el caso del sitio de disposición final ubicado en el D.F, denominado Prados de la Montaña se cuenta con una infraestructura *exprefeso* conformada por pozos de monitoreo (ver figura 4) en la periferia del sitio, que han sido ubicados tomando en cuenta los criterios anteriormente descritos. PROY- NOM- 083-SEMARNAT-2003. Se muestra la red instalada para la recolección de biogás, del sitio mencionado (ver figura 5). Con un sistema de tuberías para cualquier relleno sanitario con la instalación de quemadores para la recolección de gas apropiado en rellenos sanitarios y también en la figura 5 se

puede ver un cabezal en la red de captación instalada en Prados de la Montaña.
 PROY- NOM- 083-SEMARNAT-2003.

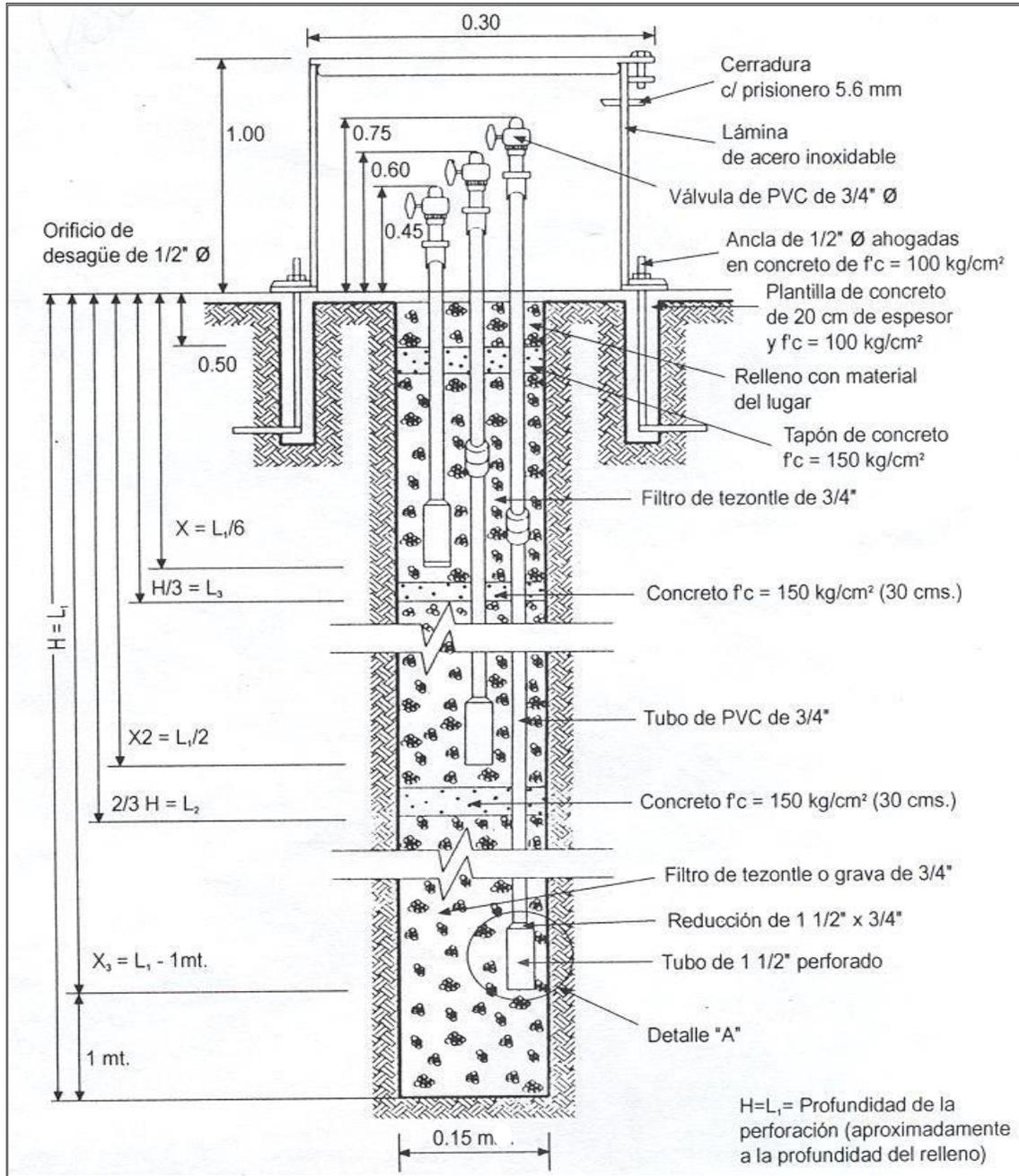


Figura. 4. Pozo para monitoreo de biogás

Fuente: (Orta et al; 2006).



Figura. 5. Red de captación para biogás.

Fuente: colección fotográfica de DGSU.

El biogás no solo presenta variaciones con el paso del tiempo, sino también en su contenido, siendo esto una gran limitante ya que se puede producir una gran cantidad de biogás, pero un porcentaje muy bajo de metano (CH_4), y la generación de biogás también depende del tiempo de clausura, en especial los primeros 5 años de su clausura, y el % del metano puede ser de hasta 60%, como máximo, requiriendo sistemas de extracción para un aprovechamiento de este combustible alternativo a los hidrocarburos. En tiraderos clandestinos que se les dio una remediación, el rendimiento de recolección del metano, es muy baja, por lo tanto se puede operar hasta con 35% o menos (Rojas, *et al*; 2001).

En conjunto, la vida productiva de estos sitios se estimó en 14 años, las cifras anteriores invitan a aprovechar esta fuente energética como una alternativa, no sólo visualizando su aprovechamiento como tal, la única instalación que existe en México en el extiradero a cielo abierto saneado y clausurado Prados de la Montaña se muestra en la figura 6. La instalación consta de una interconexión de los 112 pozos de extracción de biogás que son conducidos a quemadores-

centrales. En este caso el funcionamiento adecuado depende de cuidar proveer el gasto o flujo de biogás para el que fue diseñado. Este se logra por medio de un flujómetro, analizador de gases en el sitio (GEM 2000) adosado a la tubería de alimentación que se encuentra antes del quemador. En la figura 6 se muestra una fotografía de los quemadores de biogás.



Figura. 6. Quemadores de biogás ($650 \text{ ft}^3/\text{min}$) instalados en 1999 en el extiradero Prados de la Montaña. Fuente: Colección fotográfica DGSU.

2.8. Principales aspectos en el monitoreo

Es importante medir la producción diaria si se requiere aprovechar el biogás, ya que presenta muchas variaciones; es un parámetro muy simple pero necesario para encontrar las curvas de producción. De los primeros 6 meses a los tres años se tienen las tasas de producción más altas. Si no se pretende aprovechar el biogás y sólo se requiere conocer la estabilización del biogás, una medición trimestral es suficiente. Estas mediciones se deben realizar durante la vida útil del relleno (Orta, *et al*; 1999).

2.8.1. Mejorar la operación del relleno

Para mejorar la operación de un relleno sanitario es necesario evaluar el grado de estabilización de los residuos sólidos, así como también determinar la generación de (flujo), la calidad (características fisicoquímicas) y peligrosidad del biogás con objeto de seleccionar e implementar las alternativas apropiadas de manejo y disposición final de los mismos.

2.9. Factores específicos del monitoreo de biogás

Los factores específicos del monitoreo de biogás son los siguientes:

- Condiciones del suelo,
- Condiciones hidrogeológicas
- Diseño y funcionamiento del relleno
- Localización de construcciones y propiedades en los alrededores del sitio
- Variaciones en las condiciones del sitio que puedan afectar la generación y migración de biogás (presión barométrica, temperatura, humedad del suelo, etcétera).

Los parámetros relevantes que se deben de considerar en cualquier caso son: explosividad si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno; aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir, se pueden difundir a zonas aledañas al relleno, lo cual puede llegar a ocasionar condiciones de explosividad o asfixia por el desplazamiento del oxígeno en áreas cerradas dentro o cercanas al relleno, ocasionar daño o secar la vegetación (Orta, *et al*; 1999).

Las mediciones de explosividad se llevan a cabo durante toda la vida del relleno (Orta, *et al*; 1999). Los pozos deben de ubicarse, tanto en número como en sitios, basados en estudios geofísicos. Si se obtienen valores de la composición que siempre estén debajo de la norma ya no es necesario medirlos. Por otra parte es necesario hacer un tendido perimetral para determinar las vías de migración de biogás.

El monitoreo se debe llevar a cabo, en términos generales, mensualmente para identificar con efectividad y de manera oportuna cualquier problema o posible riesgo antes de que ocurra. Las áreas con riesgo potencial, dentro y fuera de los límites del relleno, son aquellas que por estar en espacios cerrados pueden acumular el gas o que por su alta permeabilidad permiten la migración de éste en los pozos, dentro de los sistemas de tubería de colección del biogás, zanjas, registros, en la superficie del relleno, dentro de oficinas, comedores, talleres etc. y en tierra adyacente al relleno y se deben efectuar estudios de calidad del aire.

2.10 Selección de parámetros

La selección de parámetros para un programa de monitoreo depende del objetivo: si se requiere para aprovechamiento se debe de medir el grado de estabilización (cuantificando el metano, bióxido de carbono y oxígeno), y se determina midiendo la temperatura, migración, flujo y explosividad. Por otro lado si lo que se requiere es evaluar el impacto ambiental del biogás, se tiene que hacer un análisis de la composición del biogás detallado monitoreando los parámetros indicados en la tabla 5 tanto en el sitio como en el laboratorio. Es deseable seleccionar aquellos parámetros que se encuentren en ambas columnas (Orta *et al.*, 2006).

Tabla 5. Parámetros de control recomendados para el biogás

Parámetro	Control ambiental	Composición Química
<i>Análisis en el sitio</i>		
Metano	*	*
Bióxido de Carbono	*	*
Oxígeno	*	*
Temperatura	*	*
Migración	*	*
Flujo	*	*
Explosividad	*	
<i>Análisis en el laboratorio</i>		
Bióxido de Carbono	*	*
Oxígeno	*	*
Nitrógeno		*
Monóxido de Carbono	*	*
Etano		*
Etileno		*
Acetaldehído		*
Propano		*
Butano		*
Helio		*
Alcanos		*
Hidrocarburos no saturados		*
Compuestos halogenados		*
Sulfuro de hidrógeno		*

Fuente: Orta, *et al*; 2006.

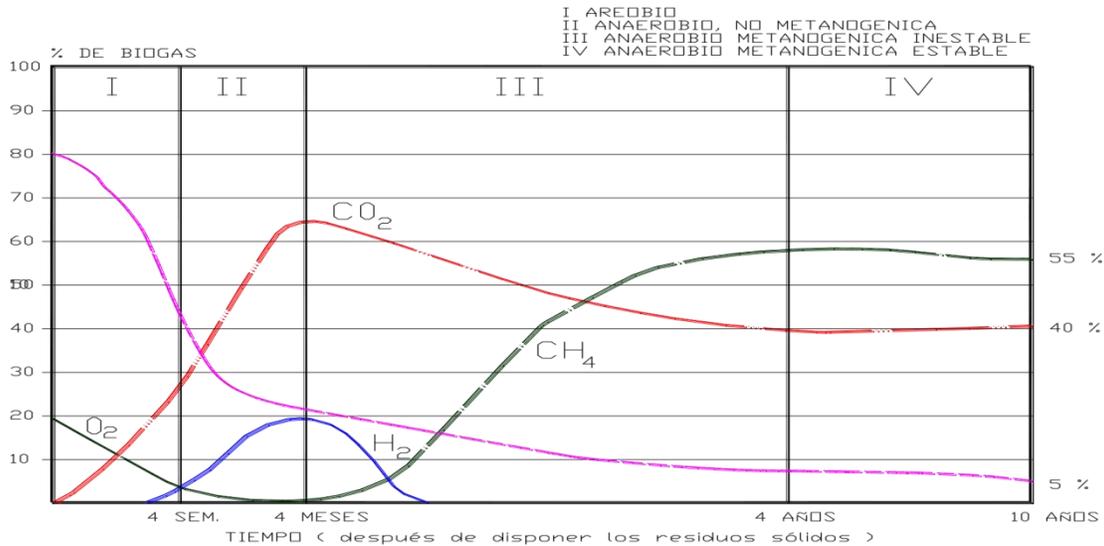


Figura. 7. Composición y evolución del biogás en un relleno sanitario (Orta *et al*; 1999)

La figura 7 muestra los % de producción de gases en un relleno sanitario de acuerdo a como ocurre el proceso de biodegradación.

2.11 Obtención del biogás

El biogás se obtiene de los compuestos orgánicos, residuos de alimentos contienen en su composición química, proteínas, carbohidratos y lípidos, estos, al entrar en fermentación y descomposición por microorganismos biológicos que cumplen esta función sin presencia de oxígeno y se lleva a cabo en cuatro etapas, esta degradación se retarda en presencia de la lignina y está presente en material leñoso, donde el proceso de degradación anaerobia.

El proceso de degradación anaerobia se lleva a cabo en cuatro etapas, en donde los estratos bacterianos dan lugar a los mecanismos de reacción en la producción de biogás: 1) Hidrólisis, 2) Acidogénesis, 3) Acetogénesis y 4) Metanogénesis. Tal como se muestra en la figura 8 del diagrama del ciclo de la producción de metano, este ciclo dependerá del tipo de materia orgánica que inicie su fermentación y

producción del biogás, produciéndose por estratos bacteriales y dando lugar a procesos de producción de gases orgánicos.

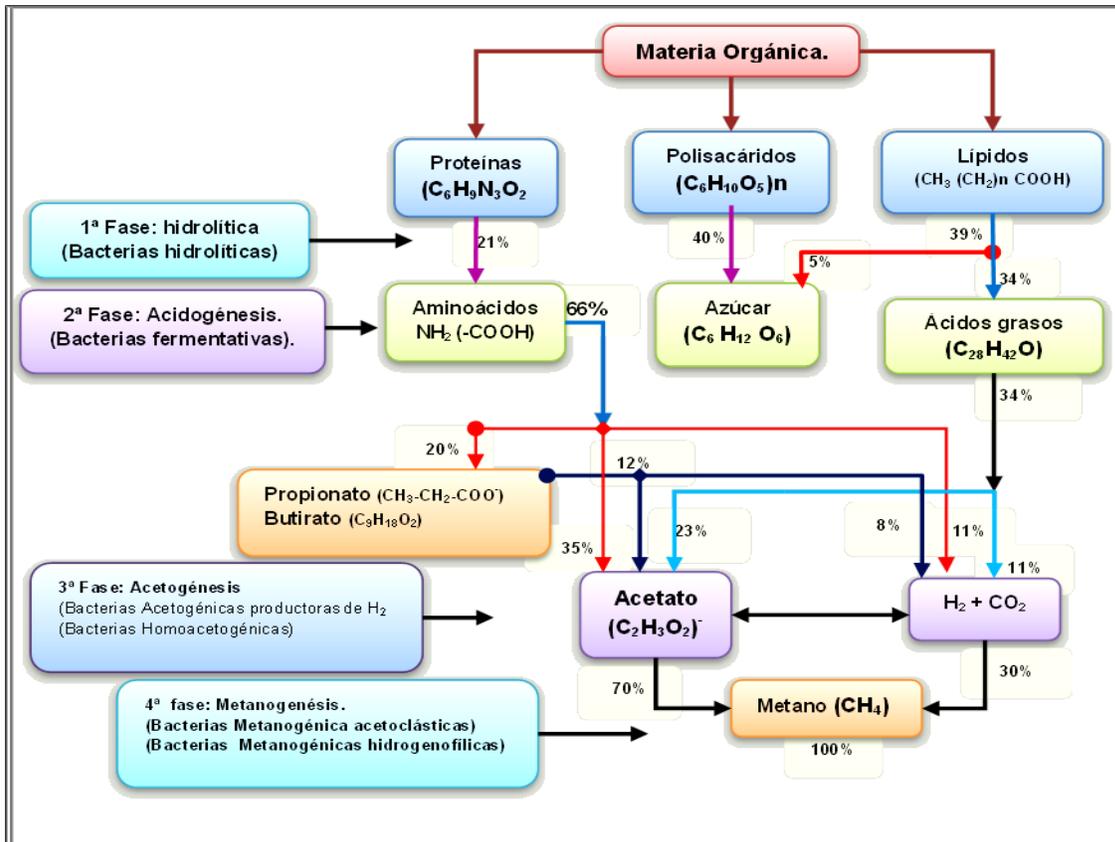


Figura. 8. Ciclo de producción de metano.

Fuente.: Adaptada de https://www.google.com.mx/nieria.blogspot.com%252F2010_06_01_archive.html%3B500%3B444

Las reacción que se llevan a cabo en los procesos de degradación de la materia orgánica se efectúan en cuatro fases iniciando con la aerobia donde los residuos están compactados y cubiertos en un medio poroso, y los espacios intersticiales llenos de aire, el cual contiene el 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de gases traza, estas reacciones se describen en las siguientes etapas.

1° Etapa (Hidrólisis)

En la primera etapa de hidrólisis las bacterias degradan el sustrato orgánico, en aminoácidos, monosacáridos (azúcares simples o glucosa) y ácidos grasos respectivamente, de polímeros a monómeros. Como se muestra en la reacción (1) (Ostrem, 2004).



2° Etapa: (Acidogénesis)

En la segunda etapa las bacterias acidogénicas, transforman los productos de la primera etapa de reacción de ácidos volátiles con cadenas cortas (monómeros), las cetonas, OH, H₂, CO₂, cuyos productos son: ácido propiónico (CH₃CH₂COOH), ácido butírico (CH₃CH₂CH₂COOH), ácido acético (CH₃COOH), ácido fórmico (HCOOH), ácido láctico (C₃H₆O₃), etanol (C₂H₅-OH) y metanol (CH₄-OH), entre otros, el H₂, CO₂, y el ácido acético (CH₃COOH), son utilizados por bacterias metanogénicas, en reacciones 2, 3, representan las reacciones de acidogénesis, y en donde la glucosa se transforma en etanol (-OH) propionato (C₃H₅O₂) y ácido acético (CH₃COOH), (Ostrem, 2004).



3° Etapa: (Acetogénesis)

Los productos restantes de la acidogénesis, que no reaccionaron, como el ácido propiónico (CH₃CH₂COOH), ácido butírico (CH₃CH₂CH₂COOH), y los alcoholes (OH), son transformados en hidrógeno, dióxido de carbono, y ácido acético siendo

el hidrógeno el intermediario en el proceso y solo ocurrirá si la presión parcial es muy baja y permitir que todos los ácidos reaccionen termodinámicamente.

Las bacterias que llevan a cabo la hidrogenesis, disminuyen la presión parcial, y la concentración del hidrógeno en los digestores, son indicativos de que el proceso se está llevando a cabo correctamente. Mecanismo de reacción 5, representa la reacción del propionato, al acetato, y solo es posible si la presión del hidrógeno es bajo, dicho anteriormente, la glucosa en el mecanismo de reacción seis, y al OH en la reacción siete, hay también acetato durante la tercera fase de fermentación anaerobia (Ostrem, 2004; Orta *et al*; 2006).



4° Etapa: (Metanogénesis)

En esta etapa los microorganismos convierten el hidrógeno y el ácido acético en gas metano y bióxido de carbono, ver las reacciones 8 y 9 (Ostrem, 2004).



2.12. Producción de ácido sulfhídrico

2.12.1. Sulfuro de hidrógeno

El sulfuro de hidrógeno, H_2S , es análogo al agua, sin embargo es mucho más volátil ya que su punto de fusión es de $(-85.6\text{ }^\circ\text{C})$ y punto de ebullición de $(-60.7\text{ }^\circ\text{C})$ debido a su menor tendencia de formar puentes de hidrógeno. El H_2S es la forma más reducida de azufre y es tóxico, inflamable. Altamente soluble en agua, aproximadamente a una concentración $(0.1\text{ M a condiciones estándar})$ con un pK_1 alrededor de 7 y un pK_2 13.

El azufre presenta varios estados de oxidación, y sus reacciones se producen en cantidad significativas químicamente, así como por procesos biológicos, pero solo tres son los más importantes en la naturaleza.

Los organismos que se encargan de llevar estos ciclos en la naturaleza son bacterias que pueden llevar procesos de desulfuración, llevándose por un ciclo del azufre tal como se muestra en la ilustración del ciclo de azufre. S^- , H_2S tal y como se muestra en la figura 9 del ciclo del azufre.

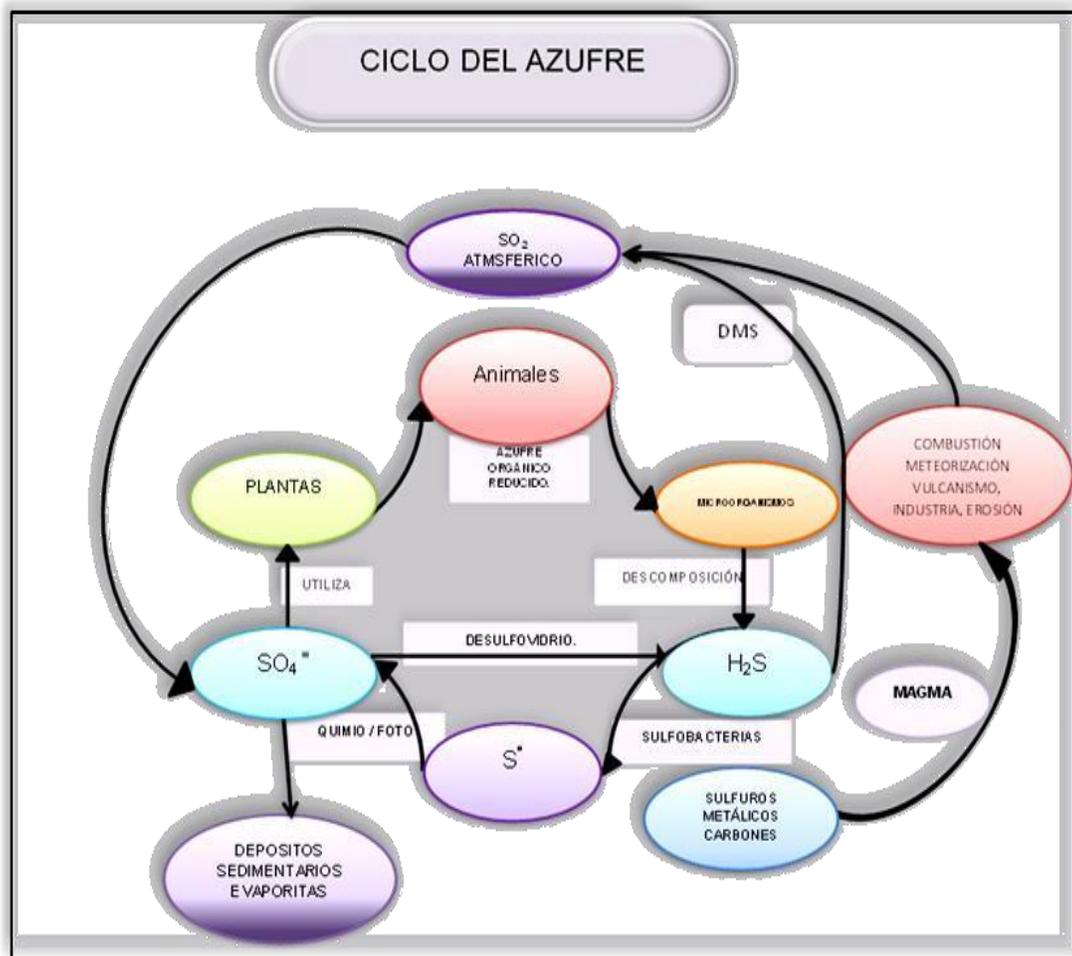


Figura. 9. Ciclo de producción del azufre.

Adaptada de www.lenntech.es/ciclo-azufre.htm

El sulfuro de hidrógeno (H₂S), es un gas formado por reducción bacteriana de sulfato (SO₄²⁻) a sulfuro de hidrógeno (H₂S) con agua, o por emisiones volcánicas, dependiendo del pH, ya que a pH mayores predomina el HS⁻ Y el S²⁻; las bacterias reductoras que forman estratos anóxicos (sin oxígeno), se ve limitada por los bajos niveles de sulfato, con una gran necesidad e⁻ donadores de electrones orgánicos, así como de hidrógeno molecular (H₂) que es producto de la fermentación de materia orgánica (Burriel, 1992).

A condiciones de oxidación, el sulfuro (HS^-) a pH neutro se lleva a cabo, una oxidación espontánea, las bacterias que oxidan al azufre que en la mayoría son aerobias (necesitan oxígeno para su metabolismo). Los reactivos sulfurados que se agrupan en H_2S , son los sulfuros alcalinos, sulfuro amonio. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, así como el poli sulfuro amonio $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$, todos estos reactivos proporcionan el anión (S_2^-), presentando propiedades ácido-base, redox, este contaminante está regulado por norma oficial (NOM-022-SSA1-2010). Los criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de azufre (SO_2), este ácido de azufre son incoloros, es irritante al estar en contacto con ojos y garganta produciendo molestias al respirar. Este azufre al estar en contacto con el oxígeno y el agua forma trióxidos dando lugar a la lluvia ácida, son partículas cancerígenas a vías respiratorias.

2.12.2. Comportamiento ácido-base

Para un sistema H_2S (ácido sulfhídrico) / HS^- (sulfuro de hidrógeno)/ SO (óxido de azufre) / S_2^- (azufre terminal) con una concentración de 0.1M, tienen un comportamiento ácido base. La solubilidad del ácido sulfhídrico en un medio ácido en disolución aumenta la acidez del H_2S y la concentración de S^- es muy baja en soluciones altamente ácidas, y habrá una precipitación de iones metálicos, por su baja solubilidad. El catión NH_4^+ hace que esta disolución sea menos básica, que una de Na_2S (sulfuro de sodio) suministre menos iones S. Los reactivos sulfurados que se agrupan en H_2S , son los sulfuros alcalinos, sulfuro amonio $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, así como el polisulfuro amonio $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$, todos estos reactivos proporcionan el anión(s^-), presentando propiedades ácido-base, redox. Para un sistema H_2S / HS^- / S^0 / S^{2-} con una concentración de 0.1M, tienen un comportamiento ácido base (Burriel, 1994).

2.12.3. Solubilidad del ácido sulfhídrico en un medio ácido

En soluciones altamente ácidas la concentración de ión sulfuro es muy baja, y habrá una precipitación de iones metálicos, por su baja solubilidad.

El catión NH_4^+ hace que esta disolución sea menos básica, que una de Na_2S (sulfuro de sodio) suministre menos iones S^{2-} . Es utilizado como acomplexante, y oxidante, comportándose como ácido-base semejante al $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$, así como en el transporte de electrones (e^-) empleada en la génesis (ATP). Hay un crecimiento autotrófico, llevándose a cabo estas reacciones por el ciclo de Calvin, y poder fijar el CO_2 generado por el monóxido de carbono (CO), cuya enzima implicada es la hidrogenaza de monóxido de carbono, la hidrogenaza (López, 1996) es una proteína que contiene molibdeno en la enzima, esta enlazada por anillos (pterina) similar a la de nitratos.

3. ANTECEDENTES

El extradero a cielo abierto Santa Fe, funcionó desde 1947, constituyéndose como lugar de pepena captando la tercera parte de los residuos que en aquel entonces generaba la ciudad de México.

De Prados de la Montaña se extrajo material de construcción que presenta características de tipo Tarango, con una composición de suelo arenoso, grava y tierra, de este lugar se extrajo material de cubierta para el área de la alameda quedando un socavón compuesta de dos áreas (socavón 1 y socavón 2) ver figura 10. Al realizarse un convenio por parte del Departamento del Distrito Federal a través de la Secretaria General de Obras se tomó el acuerdo del inicio de operación del sitio como depósito de residuos generados en el Distrito Federal al colocar una capa permeable compactada al 95%, e iniciando operación en 1987 (DGSU, 1994).

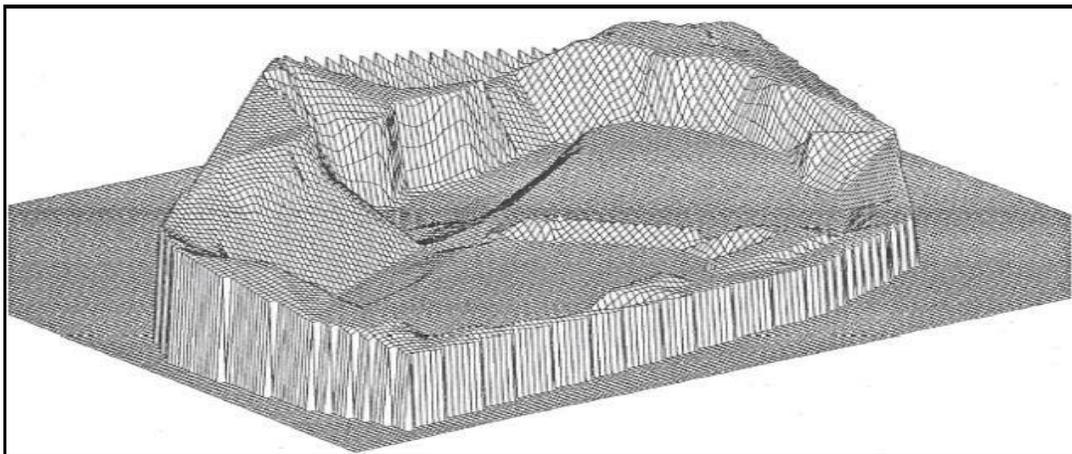


Figura. 10. Conformación física de Prados de la Montaña.

Fuente: DGSU, 1994.

El tiradero a cielo abierto cuenta con 24.9 hectáreas; de las cuales 21.6 fueron usadas para disponer residuos sólidos. Este sitio operó desde marzo de 1987 hasta julio de 1994, los residuos sólidos dispuestos en el sitio principalmente fueron del tipo municipal. La zona de estudio se encuentra en Lomas del Poniente de la Ciudad de México, lugar con características de explotación de materiales de construcción, siguiendo el lentejón y procede a un suelo con incertidumbres de cimentación. En este tiradero a cielo abierto se realizó una pepena controlada. En agosto de 1994, el sitio fue cubierto con una capa provisional de tepetate y Bentonita una cubierta final multicapas. Se estima que 5, 600,000 toneladas de residuos fueron depositados en el Tiradero a Cielo Abierto durante sus siete años de operación Clasificándose Prados de la Montaña como el primer tiradero en México, que al clausurarlo cumple con especificaciones de diseño basado en normatividades para tiraderos sin ningún control en el D.F. (DGSU, 1994).

3.1. Estudios realizados en el tiradero a cielo abierto

Se realizaron cinco sondeos Geoeléctricos verticales en el año 1990, con el propósito de conocer la existencia de cavernas, con arreglo Schlumberger y con aperturas interelectródicas de 2 a 40 m y se hizo la exploración a profundidad de 20 m aproximadamente, el complemento de la exploración geofísica, con 4 sondeos directos con muestreo alterado, por cada metro de exploración, con muestreo por el método de penetración estándar y avance con broca tricónica, sin recuperación de muestras, la prueba de penetración estándar registro el número de golpes necesarios para hincar el muestreado o penetrómetro, en cuatro secciones en que se divide (5, 10, 15 y 20 cm.) al avanzar la perforación se efectuaron ensayos de campo para medir la permeabilidad de los suelos de acuerdo a la prueba LEFRANG en las siguientes profundidades (DGSU, 1994).

Pruebas Lefrang: <https://sites.google.com/site/lefrancsuelos/>

- a) De 0.0 a 5.0 m
- b) De 5.0 a 10.0 m
- c) De 10.0 a 15.0 m
- d) De 15.0 a 20.0 m

En la figura 11 se muestran las capas aplicadas a Prados de la Montaña (DGSU, 1994).

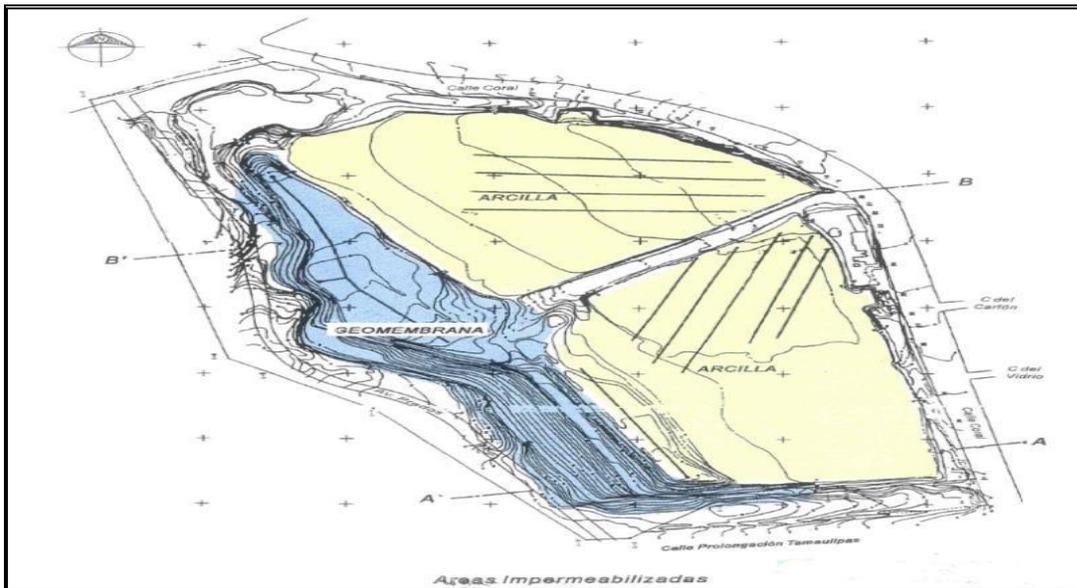


Figura. 11. Plano de capas permeables de Prados de la Montaña.

Fuente: DGSU, 1994.

Esto se hizo tomando en cuenta las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana: NOM-083-SEMARNAT-2003 que establece las especificaciones de protección ambiental durante las etapas de selección, diseño, operación y clausura, presentando una impermeabilización artificial en algunas zonas, así como construcción de redes pluviales, captadores de lixiviados, pozos de biogás (112 marca LANTEC), iniciando a finales de 1990, al poniente del socavón uno, con un área de 5.753 m², utilizando tepetate compactado y capa de polietileno de

alta densidad en tres taludes con áreas respectivas de medidas 8.000 m², 6,090 m² y 11.000 m², el socavón número dos se encuentra impermeabilizado en dos taludes, uno de 14,759 m² de piso y otro de 13,200 m², de pared lateral con, contando el primero con una capa de arena en la base del socavón que le sirve como sello protector. En el segundo talud se colocó en geotextil que cubre la geomembrana cuyo objetivo es de protección a esta.

3.1.1. Operación del tiradero a cielo abierto Prados de la Montaña

El tiradero a cielo abierto Santa Fe, funcionó como tiradero del D.F., desde 1958, constituyéndose como lugar de pepena y separación de residuos sólidos.

Este tiradero a cielo abierto inició operaciones de captación de desecho en marzo de 1987, recibiendo desechos de diversas Delegaciones, como son la Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Cuajimalpa Cuauhtémoc, Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, y la Secretaria de la Defensa Nacional, Dirección General de Servicios Urbanos del DDF, así como de servicios particulares (DGSU, 1994).

La operación la inicia DGSU en conjunto con la dirección de transferencia y disposición final de residuos sólidos, a través de la dirección de transferencia (DT), y disposición final de residuos sólidos (DFRS), la operación inicia en 1986, al terminar negociaciones, entre dos grupos, iniciando una recolección controlada, y con horarios establecidos de trabajo, de recolección, compactación, cobertura de los desechos sólidos urbanos, estos desechos al final del día se mezclaban los desechos y se procedía a compactar, por el método de área y trinchera, con celdas de promedio de tres metros de espesor y con cobertura de 0.30 a 0.40 cm de material de cobertura con residuos de construcción compactados, con la finalidad de que en tiempos de lluvias no se derraparan los camiones y mejorar la superficie de rodamiento del lugar, ya que este presentaba graves inundaciones y

se solicitaba a los trabajadores del lugar para realizar limpieza a las plataformas (lugar donde se depositaban los desechos).

La compactación se llevaba a cabo con maquinaria en un inicio con compactadores de asfalto, buldócer Komatsu y Caterpillar del tipo D85, D8H retroexcavadoras, trascabos moto conformadores y vibrocompactadores utilizándose alrededor de 15 equipos, tal y como se muestra en la figura 12, para llevar a cabo la compactación de los residuos generados (DGSU, 1994).



Figura. 12. Compactación de los residuos del tiradero de Prados de la Montaña.
Fuente: DGSU, 1994

3.1.2. Tiempo de vida útil

De 7 años, 4 meses, con captación de residuos sólidos urbanos del Distrito Federal zona Poniente de 5, 600,000 toneladas totales que entraron al sitio.

3.1.3. Control de volúmenes de residuos urbanos

Inicialmente no había control de peso de los residuos, ya que no se contaba con una báscula para tal fin realizando estimados por el promedio de pesado del tipo de vehículo, estos datos están registrados en el informe anual de ingresos 1991 a 1994, así como en el resumen indica. Este lugar captaba los residuos de Tlalpan, Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Álvaro obregón, Coyoacán, Benito Juárez, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Azcapotzalco, como se muestra en la figura 13. Delegaciones que depositaron su basura en Prados de la Montaña. Reportados en informes anuales, como se muestra en la tabla 6 de residuos (DGSU, 1994).

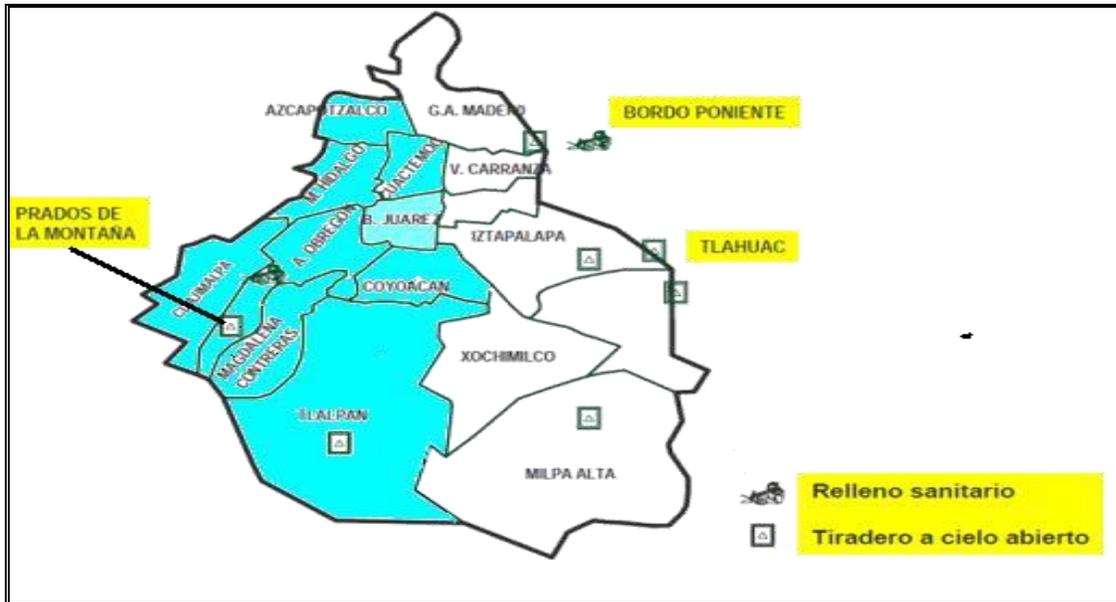


Figura. 13. Delegaciones que depositaron sus residuos en Santa Fe.

Fuente: DGSU, 1994.

Tabla 6 Toneladas de residuos sólidos depositados en Prados de la Montaña.

AÑO	Toneladas	Incremento en %
1987	355,879	Sin datos
1988	412,687	13.7
1989	553,288	19.7
1990	689,768	Sin datos
1991	670,721	2.8
1992	1,260.93	Sin datos
1993	1,168,177.87	Sin datos
1994	523,568.81	Sin datos

Datos reportados en el informe de ingreso anual. Fuente: (DGSU, 1994)

- Informe anual de ingresos 1991, con 24 folios.
- Informe anual de ingresos 1992, con 64 folios.
- Informe anual de ingreso 1993, con 63 folios.
- Resumen mensual de ingresos 1994 con 94 folios.

3.1.4. Clausura

La clausura se lleva en el mes de julio de 1994, con una normatividad de la EPA que requiere en coeficiente de seguridad en la estabilidad de los taludes, siendo de 1.5 como el mínimo, y parámetros de diseño básico para los taludes de diseño horizontal, contando con 3 plataformas con una pendiente de 3% esto para favorecer el escurrimiento pluvial. Cabe aclarar que no todo el sitio alcanzo los niveles de proyecto, utilizando como material de cobertura del sitio, utilizando tierra procedente de otros sitios aledaños a Prados de la Montaña, con seis capas de cobertura en Prados de la Montaña, y con las normas vigentes.

3.1.5. Cobertura Final

La cobertura final tomo como modelo al código de California, que se compone de tres capas, la capa base es extendida de forma superficial del sitio, contando con nivel, pendientes y taludes requeridos, la capa sello es colocada sobre la capa base y capa de protección, esta última para evitar la erosión de la capa sello, finalmente una capa de tierra vegetal, el material utilizado para las capas base y sello como se muestra en la tabla 7, de tiene la siguiente compactación de acuerdo a la imagen presentada dentro de la norma [ASTM 5084-90](#), utilizada como modelo en esta clausura de Prados de la Montaña, con las siguientes capas para su clausura. (www.astm.org/Standards/D5084.htm).

Tabla 7. Capas de cobertura y sello en Prados de la Montaña

Cobertura	Longitud (cm)	Volumen (m³)	% de compactación Proctor.
Pasto	---	---	---
Tierra vegetal.	20	50,000	95
Capa protectora de erosión.	20	54,087	95
Capa sello.	30	62,717	95
2ª Capa base.	30	64,650	95
1ª capa base.	30	64,650	95
Material de nivelación.	variable	140,359	95
Total.	----	436,463	---

Fuente: (DGSU, 1994) y modificada por Carmen Chávez Frutis en 2014.

3.1.6. Red de extracción de biogás en Prados de la Montaña

En este sitio se depositaron $5.5 \cdot 10^6$ toneladas de residuos sólidos, haciendo necesario un sistema de extracción de biogás que se producía en Prados de la Montaña.

El producto de la degradación de materia orgánica, evitando la migración del biogás, construyéndose un sistema de pozos| perimetrales, interconectados con 5,650 m de tuberías (PVC), cedula 80, uniones flexibles e instaladas sobre silletas en la superficie, y siguiendo el modelo americano que recomienda 1 a 4 pozos por cada 2 acres (1 acre = $4\,046.85642\text{ m}^2$) de superficie clausurada, se consideró los espesores del tiradero, mayores de hasta 44 m y así como las edades de los desechos, tomando como modelo la experiencia E.U., y adaptadas al caso Mexicano, el sitio contaba con dos estaciones de extracción y tres unidades de quemado de los cuales solo se utilizan dos unidades de quemado en la actualidad de la red de tuberías, pozos, y quemador de biogás, (los puntos rojos son los pozos de extracción de biogás y los puntos azules de lixiviados, los puntos negros son pozos periféricos fuera del sitio para monitoreo al exterior por difusión). Tal como se muestra en la figura 14 (DGSU, 1994).

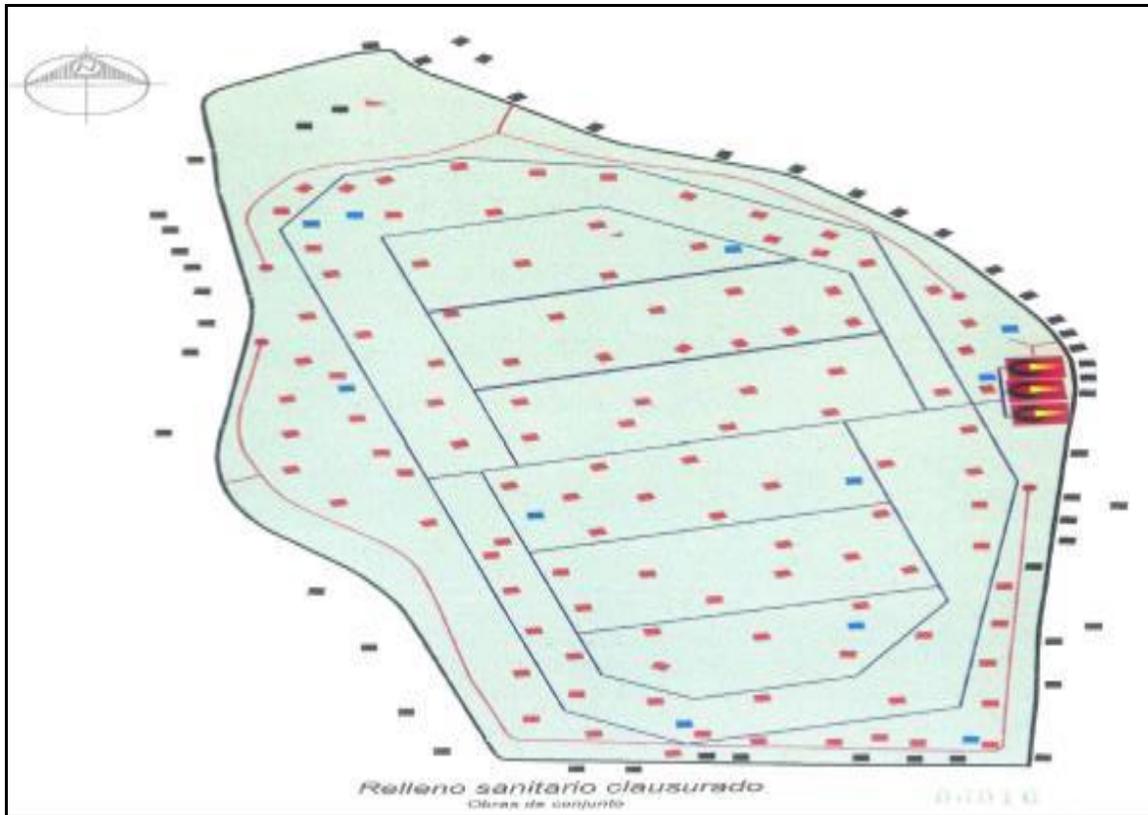


Figura. 14. Red de tuberías, pozos de extracción y estación de quemado de gas en Prados de la Montaña.

Fuente:(DGSU, 1994).

Como parte del biogás que se genera en Prados de la Montaña, de acuerdo a trabajos reportados D se tiene que el biogás se compone principalmente de 47.5% v/v de metano, 47.0%v/v de dióxido de carbono, 3.7%v/v de nitrógeno, 0.8%v/v de oxígeno, de 0.001%v/v de sulfuro de hidrógeno y 0.1%v/v de monóxido de carbono; el resto está constituido por compuestos traza (Hernández y Durán, 2004). Prados de la Montaña sufre asentamientos, y por lo tanto se limita a no poder alojar estructuras pesadas ni desarrollo alguno que interfiera, en la captación del biogás, así como en la red de extracción, ya que es primordial mantenerlo en el mejor estado que se pueda asegurar, y esta tubería es primordial

el mantenimiento y ajuste de los soportes de nivel, se muestra en la figura 15 como está en la actualidad (DGSU, 1994).



Figura. 15. Red de extracción y soportes de tuberías en Prados de la Montaña.
Fuente propia

3.2. Comportamiento del Biogás

El biogás emigra al ambiente, por difusión molecular, así como por gradientes de presión y temperatura, desarrollado por variaciones biodegradables, observable en las paredes laterales, generando un flujo difusivo a zonas de menor resistencia, otro factor que influye son las condiciones de ambientales y tipo de suelo del lugar.

3.3. Control del biogás dentro del sitio

La extracción y quema en el sitio es fundamental para evitar la migración del metano al ambiente, esta extracción la realiza un compresor y lleva el biogás a

través de la red de tuberías, hasta los quemadores, minimizando estas emisiones a la atmósfera, y a las áreas circundantes.

- Las Tuberías están en dos secciones, la perimetral y la interna, para conducción del biogás, con un diseño aéreo, y soportar el asentamiento diferencial, que se produce en el lugar por compactación.
- Los Pozos de extracción de biogás (112), congruente con el modelo americano, y el diseño considero distintos espesores y cabezales con puertos específicos de monitoreo y componentes. En la figura 16 se muestra un ejemplo de un pozo de monitoreo de biogás.



Figura. 16. Pozos de monitoreo en Prados de la Montaña Fuente: propia.

3.4. Mantenimiento de la red de captación de biogás

El mantenimiento de la red de tuberías, asegura la captación del biogás, evitar daños al sitio, y a la red de extracción forzada integrada por 112 pozos conectados por cabezales de control de flujo, puertos de medición, compuesta de tubería de PVC, cedula 80 de 4, 6, 8 y 10 pulgadas de diámetro y una longitud total de 5.543

m, el sitio cuenta con 45 trampas flexibles de condensados repartidas en todo el sistema, cumpliendo con dos funciones: una atrapar el H_2O que arrastra el biogás en la extracción forzada, esto se logra agregando agua a las trampas, así no se permite la salida del biogás y entrada de O_2 y otra absorber las deformaciones propias del lugar por compresión y dilatación, y no se afecte la red, además de permitir ajustar las pendientes óptimas. Se requiere una supervisión rutinaria, para garantizar que no se tenga fugas de biogás al medio ambiente, el mantenimiento de esta red de extracción es prioritario y fundamental como se muestra en la fig17.



Figura. 17. Mantenimiento a la red de extracción de biogás en Prados de la Montaña.

Fuente propia tomada en abril 2014.

3.4.1. Mantenimiento superficial del área

Para la cobertura del tiradero a cielo abierto se emplearon desechos de material de excavación del mismo lugar, hasta antes de 1991, con una cobertura final de los mismos con tepetate y bentonita sódica, grava de tezontle y cobertura final de pasto.

La formación de grietas en el área, es el resultado del tiempo de estiaje y estas grietas se originan en la capa vegetal por resequead superficial, las cuales se evalúan por la profundidad de estas, el mantenimiento que le dan es con tepetate y bentonita, las proporciones de material que se ocupa pueden ser 25% de bentonita y 75% de tepetate, y si es muy profunda 50% de bentonita, y 50% de tepetate o si esta llegara a la capa sello se hará una mezcla de 75% bentonita y 25% tepetate (DGSU, 1994).

3.5. Área de estudio actualmente

Prados de la Montaña esta saneado y clausurado desde 1997 cuenta con infraestructura con base de diseño para la captación del biogás del cual se lleva a quemadores y evitar parte de estos gases se mezcle con los del medio ambiente, este lugar ya cuenta con una clausura total y mantenimiento al área.

El extiradero a cielo abierto saneado y clausurado de Prados de la Montaña está localizado en Santa Fe, Ciudad de México, entre la Avenida Coral y la Avenida Tamaulipas en la Delegación Cuajimalpa, y Álvaro Obregón, con una superficie de 30 hectáreas. Parte una zona de 426 ha expropiada a favor del DDF, con fines de utilidad pública (DGSU, 1995).

Coordenadas geográficas: 99° 16' 00" de longitud W, 99°, 15',30" y N: 19°,21',15" W 19°,21',45' de latitud N', con una temperatura promedio anual de calor de 16°C, y la más alta es de 25°C, y la más baja es de 5°C en enero 2014.

El sitio denominado Prados de la Montaña perteneciente al área de Santa Fe se saneo desde el año de 1997, con una infraestructura de diseño Dames y Moore con el modelo EPA California como consultores para el proyecto de clausura (DGSU, 1994), contando con dos vías de acceso por crecimiento urbano, esto fue

fundamental para escoger este sitio para situar el área referida, tal como se muestra en la figura 18.

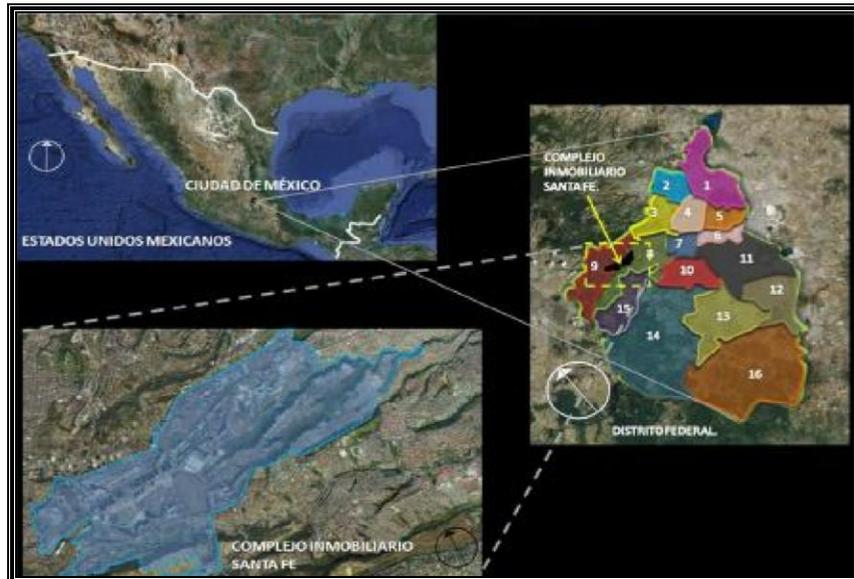


Figura. 18. Ubicación del sitio denominado Prados de la Montaña.

Fuente:

<https://www.google.com.mx/maps/place/Parque+Prados+de+La+Monta%C3%B1a/@19.359837,-99.262621,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x85d200c6db8ad0b5:0x2f95ef7a3f2463fa>

3.6. Condiciones del extiradero a cielo abierto Prados de la Montaña

El ex tiradero descansa sobre una serie de depósitos volcaniclásticos y lávicos de toba volcánica areno-arcillosa, los estudios regionales estimaron que las aguas subterráneas se encuentran bajo el relleno a una profundidad de 130 m bajo el nivel de la superficie y aproximadamente 85 m a 90 m, bajo la base. El área se extiende aproximadamente 650 m en la dirección norte-sur y aproximadamente 400 m en la dirección Este-Oeste. El nivel final de clausura del ex tiradero fue aproximadamente 2,650 m sobre el nivel del mar. La comparación topográfica antes de que se ubicara y la actual, estima que el ex tiradero tiene espesores del orden de 14 m a 44 m, trabajado y operado en dos macro celdas (socavones), uno

a cada lado con respecto al camino principal de acceso en la dirección Este-Oeste. Cerca de 60 por ciento del total de los residuos se colocaron en el socavón norte (socavón 2), y 40 por ciento se colocaron en el socavón del sur, (socavón 1) Antes de iniciar la operación en la parte noroeste del sitio referido, se colocó un sistema de revestimiento impermeable a lo largo del muro de contención del sitio que se consideró necesario para controlar la migración de biogás a través de las formaciones adyacentes del suelo. El sistema de revestimiento de 3 mm de espesor, y base de arcilla compactada como capa sello al 95% proctor (DGSU, 1994).

3.7. Geología del lugar

La zona corresponde al tipo lomerío planas de la sierra de las cruces, poco abrupto, por urbanización creciente. Constituida por tobas lavas tezontle y combinación de material tipo tarango, con cementos arcillosos. Al poniente del sitio hay dos bancos de material de mediana a baja plasticidad, con permeabilidad de 4.49×10^{-5} cm/s a 1.18×10^{-7} cm/s. Nivel freático estimado a 130 m, bajo el nivel de desplante del tiradero a cielo abierto clausurado y saneado.

4. METODOLOGÍA

La metodología se dividió en dos grandes fases: Una de gabinete y una de campo; ambas fases se describen a continuación.

La primera fase consistió en una revisión exhaustiva bibliográfica para el análisis del estado del arte sobre los procesos involucrados en el extiradero a cielo abierto ya clausurado y saneado de Prados de la Montaña. La información recopilada en esta etapa se utilizó para realizar el marco teórico y antecedentes del sitio bajo estudio. Se recopiló la información disponible del monitoreo de biogás del 2000 al 2006.

4.1. Fase 1: Búsqueda bibliográfica

La revisión se realizó en las fuentes siguientes:

- Revistas de divulgación científica.
- Reporte que se encuentran de la biblioteca del D.F.
- En forma matricial, de información sobre el sitio Prados de la Montaña.
- Datos de diseño de Prados de la Montaña.
- Base de datos de la UNAM. ELSEVIER, SPRINGER LINK.
- Reportes del monitoreo de biogás del sitio Prados de la Montaña Santa Fe D.F. del 2000 al 2006.
- Conocimiento del lugar por I. Q. Carmen Chávez Frutis

4.2. Fase 2: Muestreo en campo

En campo, se realizó un monitoreo de biogás con un analizador de gases portátil GEM 2000. En la figura 19, se muestra una fotografía y la descripción de las partes del funcionamiento general del analizador de gas GEM 2000.



Figura. 19. Teclas de desplazamiento del GEM 2000.

Fuente: Manual de operación marca LANDTEC

En la figura 20 se muestran las partes de un cabezal de PVC cédula 40 marca LANDTEC instalado en el exTiradero a Cielo Abierto, en dicha figura se marca el puerto del sensor de temperatura, de presión dinámica y de presión estática.

El sensor azul para monitorear datos de presiones (manguera azul) del analizador de gas portátil se inserta en el puerto de presión dinámica.

El sensor para monitorear puerto de presión estática (manguera transparente) del analizador de gas portátil, se inserta en el cabezal en el lugar correspondiente.

El sensor de temperatura indica la temperatura interna del biorreactor, de los cuales será diferencial en todo el sistema.

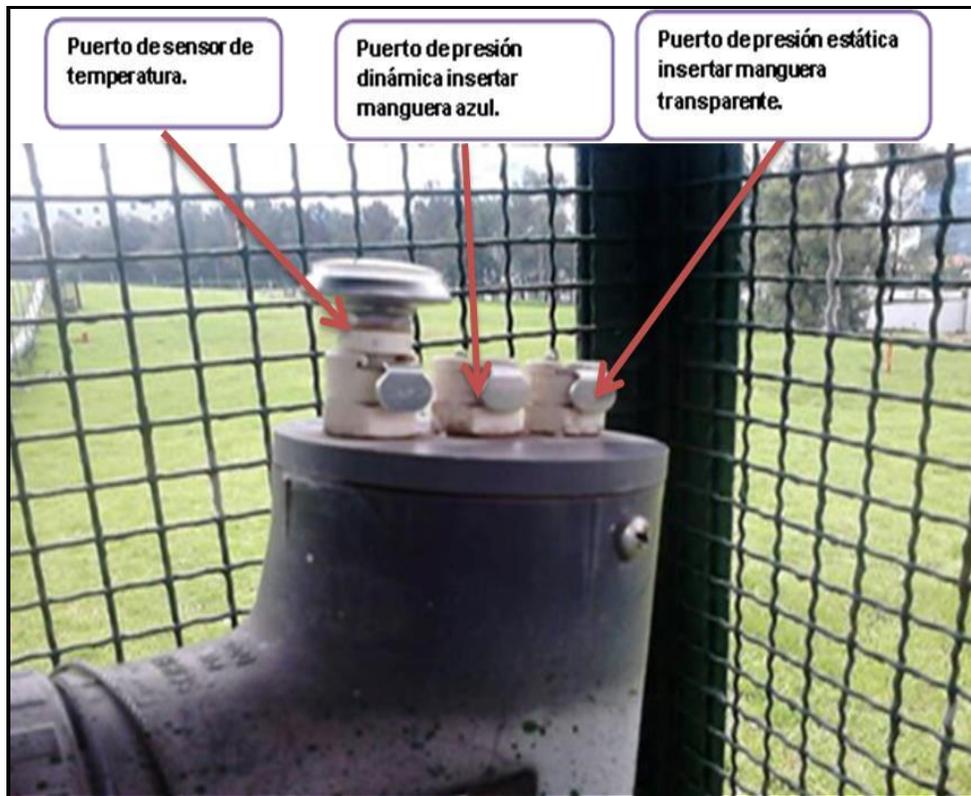


Figura. 20. Partes que conforman un cabezal para monitoreo de biogás marca LANDTEC.

Fuente: Imagen tomada en el sitio Prados de la Montaña.

El tiempo de monitoreo se llevó a cabo como se muestra en el diagrama de flujo de las figuras 21 y 22 en estado activo y pasivo.

4.2.1. Monitoreo en estado pasivo

Durante el monitoreo en estado pasivo, no hubo ninguna fuerza externa guiando al gas a los quemadores, en la figura 21 se muestra el diagrama de flujo para el muestreo en estado pasivo.

P.D: PRESION DINAMICA, P.E: PRESION ESTATICA.

NOMENCLATURA DE IDENTIFICACION DE POZOS: N: NORTE , S: SUR , P:PERIMETRAL , LINEA: A,H,E,K,J,D,F,G
 NUMERACIÓN DE POZOS POR LINEA, DANDO EN TOTAL 112 POZOS.

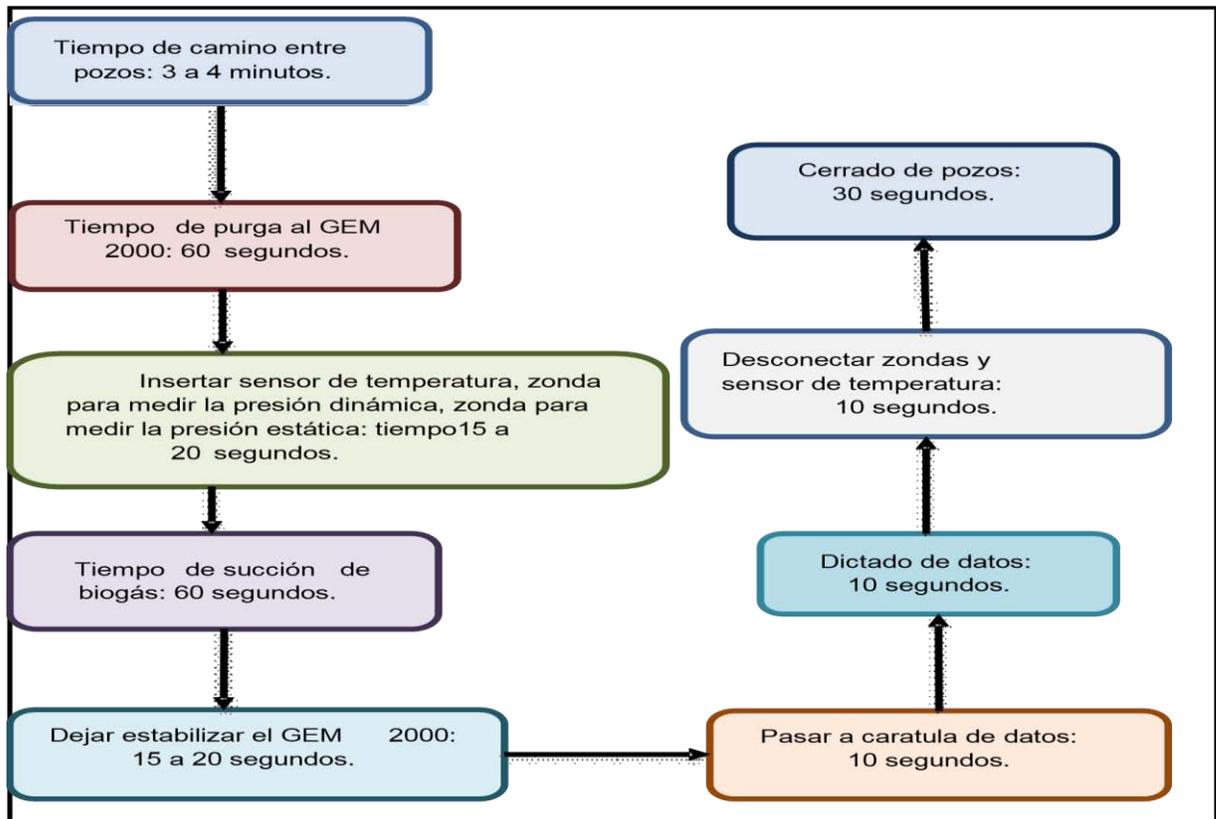


Figura. 21. Diagrama de monitoreo entre pozos realizado en estado pasivo en Prados de la Montaña.

4.2.2. Monitoreo en estado activo

En el monitoreo en fase activa se utilizó una bomba de succión guiando al gas a los quemadores. En la figura 22 se muestra el diagrama de flujo para el muestreo en estado activo.

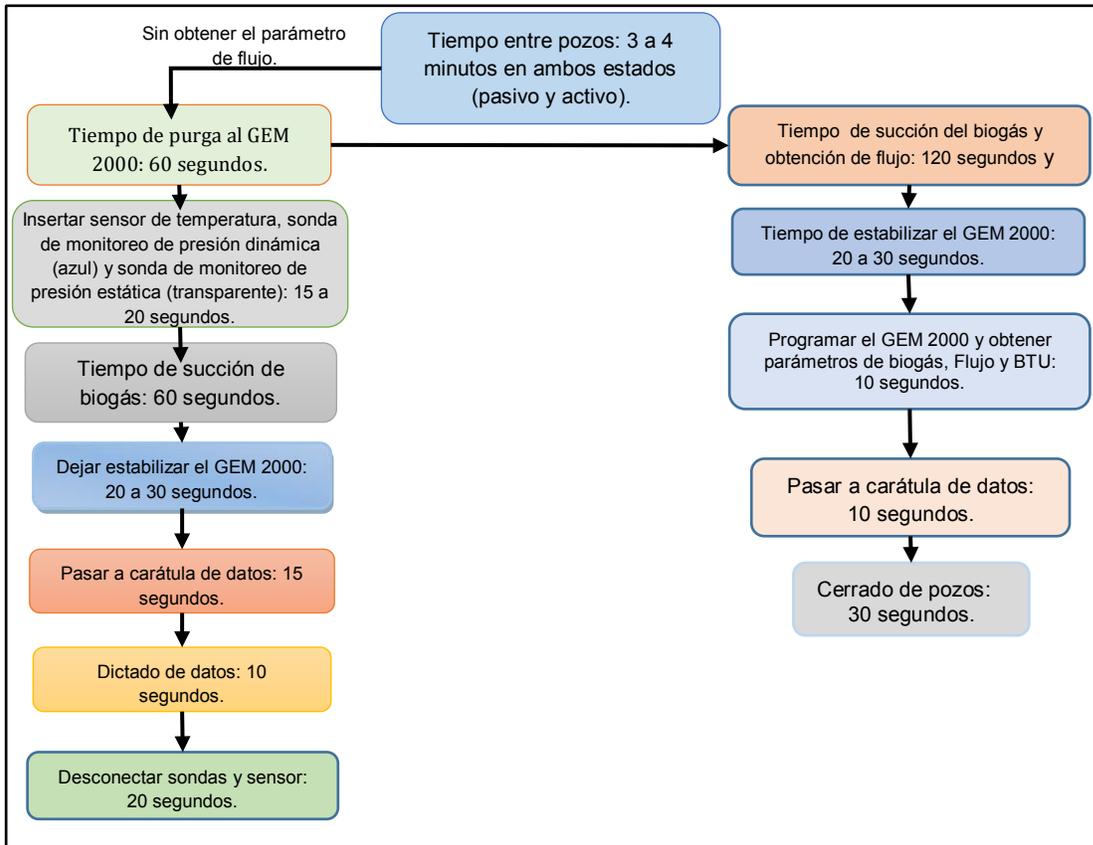


Figura. 22. Diagrama de flujo del tiempo de monitoreo realizado en estado activo en Prados de la Montaña.

Los pasos que se siguieron fueron los mismos que se describieron en el numeral 4.2.2.

Para determinar el tiempo de monitoreo en ambos estados (pasivo y activo), se tomó en cuenta la longitud de separación entre los pozos.

- El tiempo promedio de camino entre un pozo y otro fue de 3 a 4 minutos.
- Inicia la purga del equipo, la cual fue de 60 segundos.
- Llegando al pozo se procede a insertar las mangueras de presiones, en donde la manguera azul fue la que inserto en la de presión dinámica, y la transparente en la de presión estática, en los puertos correspondientes.

- El sensor de temperatura se inserta en el puerto correspondiente.
- Se inició el tiempo de succión del biogás, con el cursor de succión por espacio de 60 segundos, se dejó unos segundos más para permitir que el GEM se estabilice (10 a 20 segundos).
- Con el cursor 5 se pasa a la carátula de datos, dando en la pantalla los componentes del biogás.
- En diez segundos se logran capturar los datos.
- Retirar las mangueras de los puertos se realiza en 10 segundos.
- Cerrar el pozo 10 segundos.
- E inicia el siguiente ciclo.

4.2.3. Tiempo de monitoreo en estado activo

Diagrama de tiempo de monitoreo entre pozos en estado activo es igual al del estado pasivo solo que en este caso se deja más tiempo la estabilización del GEM 2000 y se mueven las mangueras de succión, como se indica en la figura 22.

4.2.4. Trabajo de campo

Se realizó una serie monitoreo de biogás en campo dentro del sitio denominado Prados de la Montaña, los cuales se llevaron a cabo desde el mes de febrero al mes de junio, con los permisos correspondientes del área de transferencia, de los-cuales sólo se permitió el monitoreo del biogás, de 112 pozos.

4.2.5. Condiciones iniciales de monitoreo

Primer monitoreo

- Se realizó a finales del mes de febrero del 2014
- Este monitoreo se llevó a cabo en estado pasivo (sin extracción forzada). Con un tiempo de monitoreo de 3 días y medio día para 112

pozos, iniciando en dos etapas, de las 08:00h a la 13:00h, la segunda etapa de las 15:00hr a las 17:00hr, en el extiradero saneado y clausurado Prados de la Montaña, tomando esta decisión por estar el área técnica en su etapa de monitoreo, con un plan de trabajo de 15 pozos por etapa, dando suficiente tiempo de que el analizador de gases GEM 2000 se estabilice entre los pozos.

- La temperatura ambiental inicial de monitoreo fue de 18 °C, con aire frío y a presión atmosférica.
- El tiempo entre pozo y pozo fue aproximadamente de 5 minutos cuidando que las sondas estén debidamente instaladas.

Observando en este monitoreo que, los porcentajes de oxígeno y metano estaban dentro del intervalo que marca la normatividad que es de 0.1% como mínimo y un máximo de 1%, esto se muestra en la figura 23.



Figura. 23. Monitoreo en pozos de biogás febrero 2014.

Segundo Monitoreo

- Se realizó durante el mes de marzo 2014.
- Este monitoreo se llevó en estado activo (extracción forzada). Con un tiempo de 3 días y medio para 112 pozos, iniciando en dos etapas de las 8:00hr a las 13:00hr y de las 14hr a 17:00hr. realizándose en estado activo, ya que en Prados de la Montaña se quema el biogás que se

producen en el biorreactor, es en esta etapa, donde se queman los gases. Tomándose la decisión a iniciar el monitoreo en dicho estado.

- Con un plan de trabajo para este segundo monitoreo de 15 pozos por etapa.
- Temperatura de inicio 22.8 °C, con aire más cálido al medio ambiente, y a presión atmosférica.

Tercer Monitoreo

- Se realizó el monitoreo en el periodo comprendido de fines de abril y principios de mayo 2014.
- En esta etapa de monitoreo de biogás se realizó en los dos estados pasivo y activo.
- En un tiempo de dos días y medio.
- Los pozos monitoreados fueron en total de 224 pozos.
- Monitoreo en estado **pasivo** con un plan de trabajo de 112 pozos en un día de las 8:00 a las 20 hrs, a una temperatura de 20 °C y presión atmosférica.
- Monitoreo de estado **activo** con un plan de trabajo de 112 pozos en un día de las 8:00 de la mañana a las 20 hrs, a una temperatura de 21°C promedio y presión atmosférica.
- Se tomó la decisión de realizar el monitoreo en ambos estados, para hacer una comparativa de los datos obtenidos ya que al hacer el monitoreo en estado activo se observaron porcentajes altos de oxígeno en el monitoreo en comparación del estado pasivo y para poder hacer esta comparativa era necesario al menos dos análisis en estado pasivo y dos monitoreos en estado activo.

4.2.6. Condiciones actuales

Prados de la Montaña, cuenta con 112 pozos, así como una red de extracción, con una barrera biológica, el lugar presenta diferenciales de asentamiento, no es muy notorio y fugas muy pequeñas de este biogás las cuales son rastreadas y tapadas con arcilla y bentonita en proporciones.

Los parámetros que se midieron fueron:

- % de CH₄.
- % de CO₂.
- % de O₂.
- Balance.
- Temperatura (°C)
- Presión dinámica.
- Presión estática.
- BTU (Kw).
- Flujo (m³/h.).

En la figura 24 se muestra el Diagrama de flujo del GEM 2000 y parámetros que se obtienen en *in situ*.

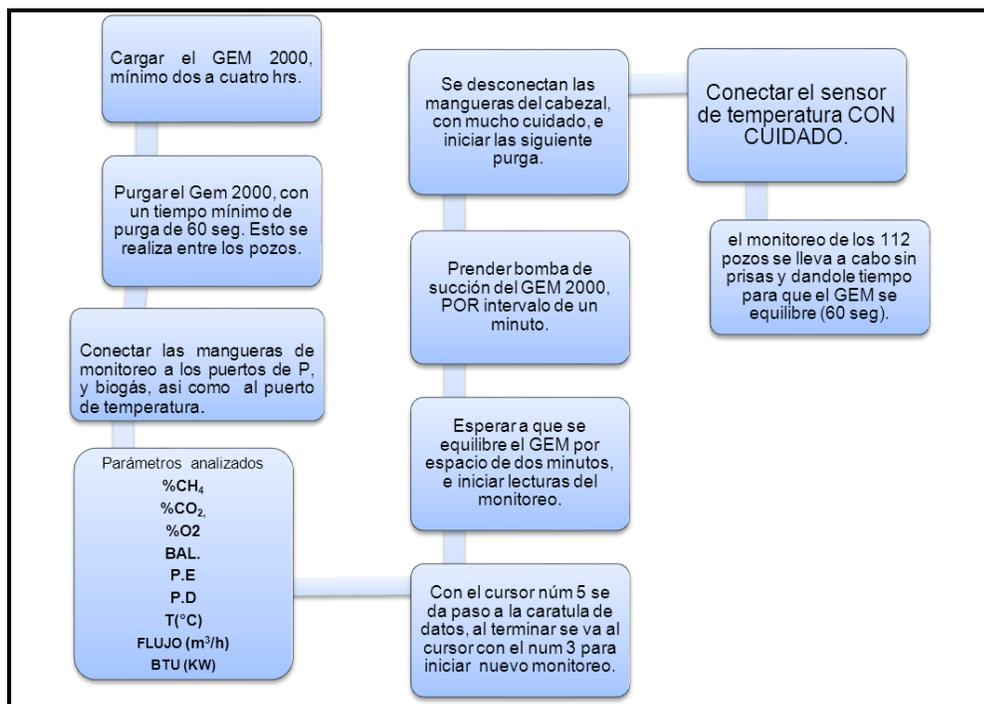


Figura. 24. Diagrama de flujo del GEM 2000 y parámetros que se obtienen en *in situ*, Fuente propia.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterización del biogás en Prados de la Montaña del año 2000 al 2006

Los resultados reportados del biogás que se generó en el extiradero de residuos sólidos urbanos de Prados de la Montaña, ya clausurado y saneado se muestran en la tabla 8, en donde se puede apreciar que el biogás se componen principalmente de metano, dióxido de carbono ambos en concentraciones de 47% y en menores porcentajes el nitrógeno y oxígeno, los análisis fueron realizado en los laboratorios ABC (Hernández, 2004).

Tabla 8. Caracterización de biogás realizado en laboratorios ABC

Biogás	% v/v
Metano (CH ₄)	47.5
Dióxido de carbono (CO ₂)	47.0
Nitrógeno (N ₂)	3.7
Oxígeno (O ₂)	0.8
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	0.001
Monóxido de Carbono (CO)	0.1
Gases Traza	0.899

Fuente: Hernández, 2004.

Los resultados históricos del monitoreo de biogás en Prados de la Montaña que se analizaron del año 2000 al 2006 (ver tabla 9), son %CH₄, %CO₂, %O₂, %H₂S, %CO y % N₂ así como gases traza.

Tabla 9. Datos históricos del año 2000 al 2006 de variables medidas en Prados de la Montaña, datos reportados

Biogás	2000 %	2001 %	2002 %	2003 %	2004 %	2005 %	2006 %
Metano (CH ₄)	43.3	53.1	57.7	55.37	47.6	42.7	39.99
Dióxido de carbono(CO ₂)	36.3	34.62	38.9	35.8	30.84	24.6	27
Nitrógeno (N ₂)	15,08	10.60	5.6	7.9	19	25.7	30.7
Oxígeno (O ₂)	1.9	1.5	0.08	0.084	1.3	3.2	4.1
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	ND						
Monóxido de Carbono (CO)	ND						

ND = No detectado, datos históricos de producción de biogás de Prados de la montaña. Fuente: DGSU, 1994.

5.2. Concentración de biogás de datos históricos

La figura 25 muestra concentración del volumen generado de biogás del 2000 al 2006.

Como se puede observar la generación de metano en el año 2000 al 2002, llegó a un máximo de 57.7 % y comenzó a disminuir en el 2004. Por otro lado en el 2002 el máximo alcanzado fue de 38.9% de CO₂ se mantuvo constante y comenzó a disminuir en el 2004. El nitrógeno tuvo variaciones durante el periodo de análisis, mientras que el oxígeno siempre se mantuvo en concentraciones muy bajas.

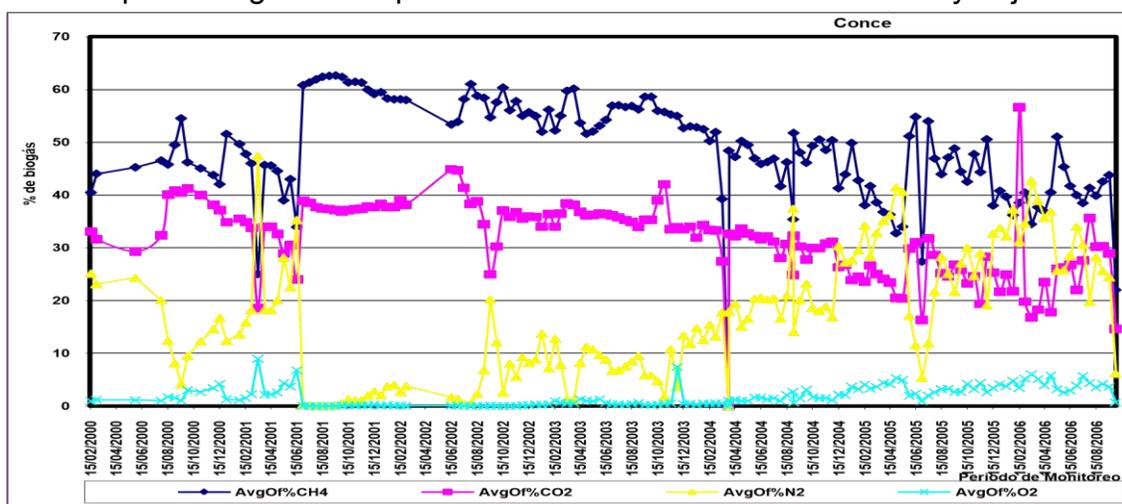


Figura. 25. Concentración de biogás, Fuente: Tomada de datos históricos de biogás en Prados de la Montaña

5.3. Flujo de biogás de datos históricos

Los datos históricos de flujo de biogás producido en el sitio Prados de la Montaña del 2000 al 2006 se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Histórico de flujo anual del biogás producido en Prados de la Montaña del año 2000 al 2006

Año	Flujo m ³ /h
2000	49.72
2001	59.61
2002	47.61
2003	62.68
2004	58.26
2005	54.34
2006	36.82

Fuente: (DGSU, 1994)

Los resultados históricos reportados desde el año 2000 al 2006 se muestran en la tabla 10 e indican que en el año 2000 se producía menos de 50% de biogás, aumento al año siguiente y bajo en el 2002 y posteriormente presento un aumento de este combustible a los tres años siguientes, pero para el año 2006 esta disminución llego hasta 36.82 m³/h, dicha disminución continuo lentamente y en el 2014 se registra una disminución nuevamente de aproximadamente de diez por ciento. En la figura 26 se muestra la gráfica de dicho comportamiento.

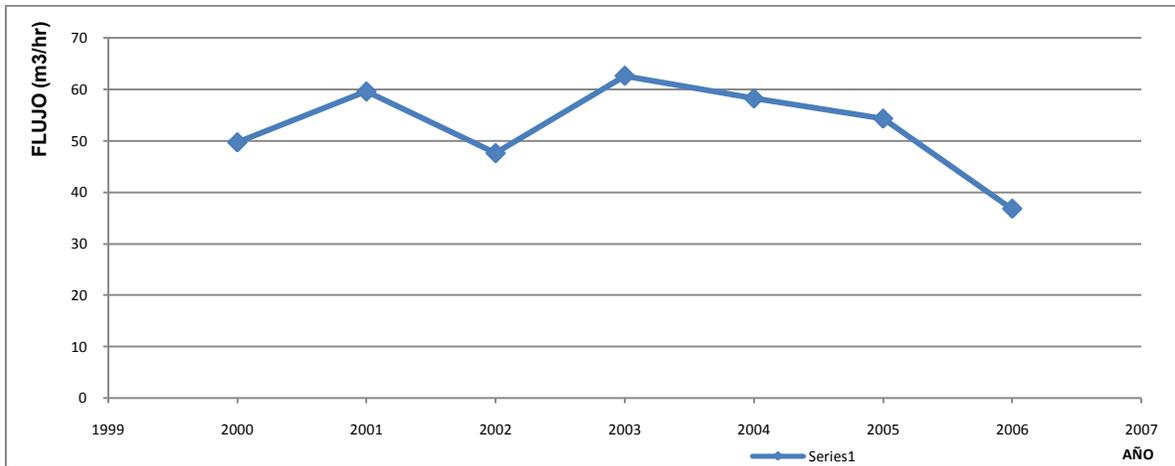


Figura. 26. Flujo de biogás que se genera en Prados de la Montaña del 2000 al 2006

5.4. Primer monitoreo en estado pasivo

El primer monitoreo se llevó a cabo en el mes de febrero, con 4 días y medio de monitoreo, con temperatura de 18°C, este monitoreo como ya se mencionó se realizó en 112 pozos, observándose que la producción de biogás en los pozos presento porcentajes altos y disminuyó hasta menos de 10% de CH₄, y 1 % de O₂ el cual queda dentro del límite permitido que es de hasta 1% como máximo permisible. Estos resultados se pueden observar en la figura 27. Algunos pozos presentan baja producción de biogás entre otros el % CO₂.

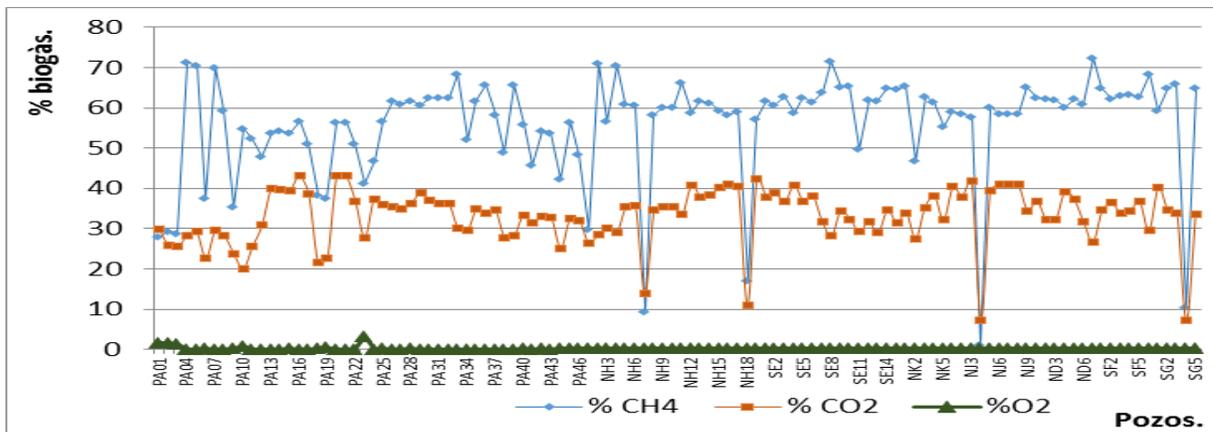


Figura 27. Monitoreo de 112 pozos en estado pasivo de biogás que se generó en febrero 2014 en Prados de la Montaña

Dichos resultados sirvieron para evidenciar que en el lugar se presentan asentamientos diferenciales, los cuales afectan las tuberías del sistema de captación del biogás, y por consiguiente permiten la entrada de aire al sistema aunado a lo anterior los cabezales en sus partes flexibles de neopreno sufren degradaciones ambiental lo cual se ha observado, también permite entrada de aire y esto se ve reflejado en el porcentaje de oxígeno monitoreado en los 112 pozos. Por lo que algunos pozos presentan alto porcentaje de oxígeno y una disminución considerable de metano (CH_4).

El biogás generado en el sitio Prados de la Montaña se quema en el sitio y no es expulsado al ambiente, con una flama aproximada de 3-4 m, sin coloración al rayo del sol, siendo visible al caer la tarde, con una coloración amarilla claro. Asentamientos diferenciales del lugar visibles, aves migratorias, y diversas especies de hongos y de plantas, con aire frio, y una baja temperatura.

5.5. Segundo monitoreo en estado activo

En el segundo monitoreo, las variables obtenidas fueron metano, bióxido de carbono, oxígeno, temperatura, presión estática, y presión dinámica. Este monitoreo se realizó en estado activo en 112 pozos, durante el mes de marzo, por un periodo de 4 días y medio, con un aumento de temperatura ambiente más cálido. Los resultados obtenidos mostraron que la cantidad de oxígeno eran muy altos comparados con la (NOM-083.SEMARNAT-2003), paralelamente se observó una disminución de $\% \text{CH}_4$, y $\% \text{CO}_2$, y un aumento en el $\%$ de O_2 en algunos pozos el registro de las temperaturas del sistema fueron altas entre los diferentes pozos, presentándose esta producción de biogás errática entre los pozos bajo las diferentes líneas: NH, SE, NJ ND y SG (ver resultados en la figura 28).

En algunos pozos ya no se detectaron el gas metano, posiblemente porque estaban agotados, o las tuberías estaban fuera de lugar por los asentamientos que sufre el sitio, por lo que se procedió a la revisión de las mismas.

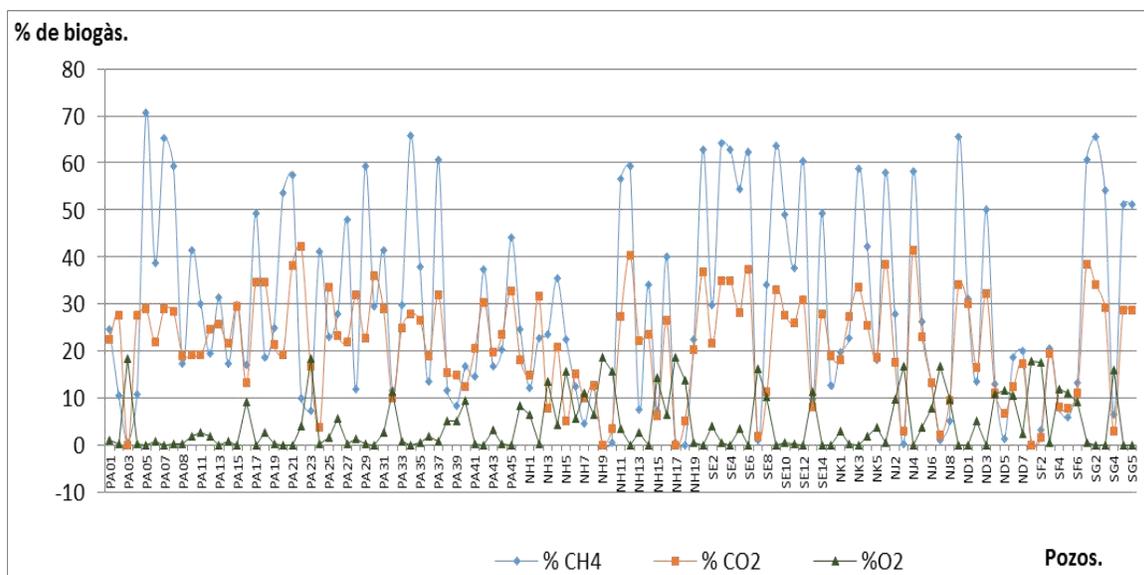


Figura. 28. Monitoreo de 112 pozos en estado activo de biogás que se generó durante el mes de marzo 2014 en Prados de la Montaña

Los resultados obtenidos en el segundo muestreo evidenciaron la necesidad de dar mantenimiento a las tuberías del Tiradero a Cielo Abierto, Prados de la Montaña, ya que se observó que hay asentamientos en diferentes lugares y requiere continuo ajuste de soportes para evitar que las tuberías sufran fracturas, ya que están expuestas al ambiente.

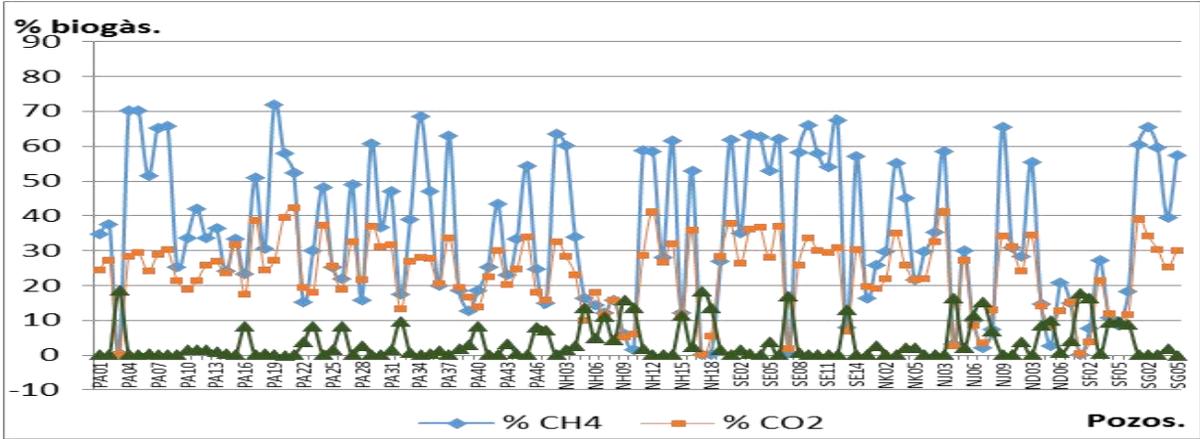
El segundo análisis de biogás realizado en estado activo (extracción forzada), se realizó en el mes de marzo, con un analizador de gas portátil GEM 2000, también -se registraron concentraciones de oxígeno por arriba de lo permitido por normatividad que es $0.1 < 1$.

Con los resultados obtenidos de este monitoreo se procedió a inspeccionar los pozos que presentaban alto contenido de oxígeno, así como una disminución de %

deCH₄, de estos pozos y expuestos al medio ambiente, algunos pozos seguían presentando alto % de O₂, al igual que un alto contenido de bióxido de carbono y una considerable disminución de metano. Con estos datos proporcionados al residente del lugar, se pudo ver que la junta de neopreno de algunos pozos presentaba fisuras y se logró que se llevara a cabo la reparación de los pozos.

5.6. Tercer monitoreo en estado activo y pasivo

Con las tuberías reparadas el tercer monitoreo se realizó en estado activo y pasivo. Al igual que en los otros dos muestreos el monitoreo realizado en estado activo a 112 pozos de biogás, se analizaron datos de las variables que se obtuvieron metano, bióxido de carbono, oxígeno, gases traza, temperatura, presión estática, presión dinámica, los resultados mostraron que la producción de metano mejoro notablemente en comparación con el primer monitoreo y la baja generación de biogás persistía en algunos pozos, pero mejorando en otros de los pozos analizados, y al graficar los datos obtenidos y realizando la comparativa , se puede ver claramente que la producción del biogás mejoro notablemente. Sin embargo las líneas PA, NH, SE, NJ, ND seguían presentando problemas de producción de biogás (ver detalles en la figura 29).



El monitoreo en estado pasivo a 112 pozos y las variables que se obtuvieron fueron nuevamente metano, bióxido de carbono, oxígeno, gases traza, flujo (m^3/h), BTU (KW) que en comparación con el primero, se observó que hubo un aumento de producción de biogás, y la misma línea NH siguió presentando problemas de generación, y al hacer una comparativa de estos resultados se observó el incremento de biogás que se está produciendo en Prados de la montaña, y los resultados mejoraron en comparación con el primer monitoreo en estado pasivo, tal y como se puede apreciar en la figura 30.

La entrada de oxígeno al sistema disminuyó considerablemente después del segundo monitoreo en estado activo, esta entrada de oxígeno al sistema es la variable más importante que se debe controlar, ya que el sistema es anaerobio y si hay aire en el biorreactor mata a las bacterias y desestabiliza la producción del biogás y se requiere de tiempo para que las bacterias se regeneren y el pozo se estabilice tal como se observa en las gráficas de datos obtenidos de la figura 30.

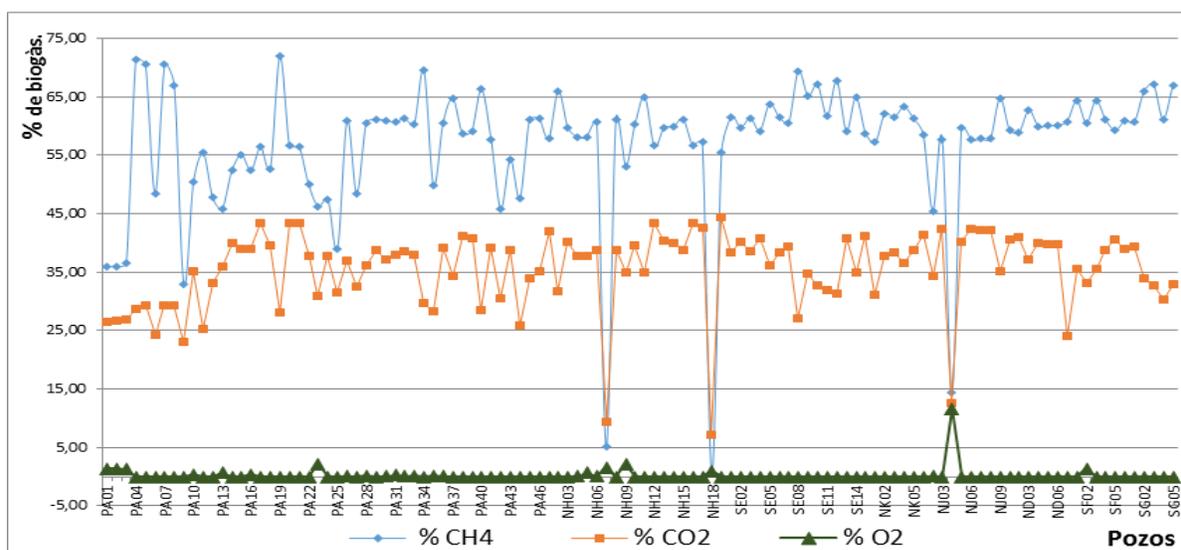


Figura. 30. Monitoreo en estado pasivo de 112 pozos de biogás que se generó en el mes de mayo 2014 en Prados de la Montaña

Este monitoreo arroja datos de la línea NH, errático en su producción de % CH₄, al igual que de % CO₂, y el pozo NH5 presenta un alto % de O₂, al igual que en el pozo NH9, de los pozos NH1 al NH11.

Los resultados obtenidos de los pozos NH01 AL NH11 muestran más claramente las fluctuaciones de biogás, así como una caída drástica del biogás que se está produciendo en el biorreactor ver figura 31.

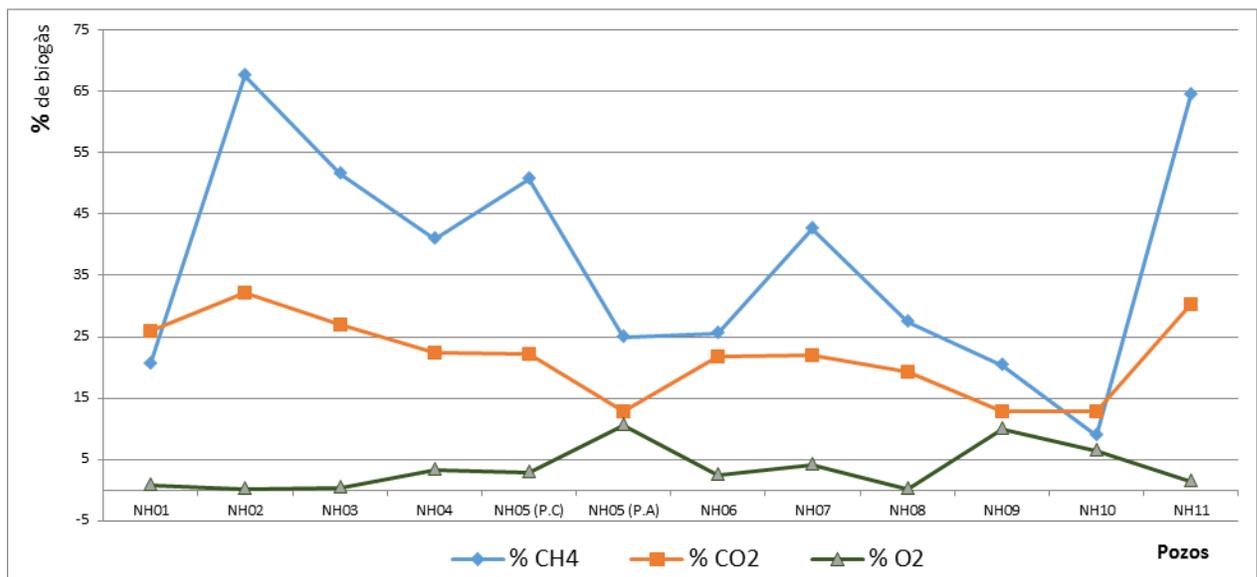


Figura. 31. Monitoreo los pozos NH1 A NH11.

Como se puede ver en un extradero a cielo abierto no es posible cuantificar el total de biogás producido, ya que la basura depositada no está totalmente cuantificada, representando un problema, ya que el biogás que se genera llega directamente al ambiente y contribuye al aumento de gases de efecto invernadero, los cuales presentan un riesgo muy grande, tanto para salud como para la atmósfera al ir a formar parte de los gases de efecto de invernadero.

Finalmente en el monitoreo en estado pasivo a 112 pozos y después de reparar las tuberías dañadas, se observó que hubo un aumento producción de biogás sin

embargo la línea NH siguió presentando problemas de generación, con una nula producción, posiblemente porque hay problemas en la red de tuberías internas ya que el lugar sufre asentamientos propios del lugar o porque estos pozos ya no producen biogás, o las tuberías se corren de la base de su diseño, o también por que posiblemente ya están inundados de lixiviado, sería necesario una inspección más a fondo de estos pozos, así como un monitoreo de biogás seguido, ya que es una zona de alto impacto ambiental.

La entrada de oxígeno al sistema disminuyó considerablemente después del segundo monitoreo en estado activo, esta entrada de oxígeno al sistema es la Variable más importante que se debe controlar, ya que el sistema es anaerobio y si hay aire en el biorreactor mata a las bacterias y desestabiliza la producción del biogás, tal como se observa en las gráficas, que a mayor % de aire hay un menor % de metano (CH_4).

Otra de las variables importantes es la temperatura y se observa que es mayor en el sistema, y este delta de temperaturas permitió que el gas se mueva por la red de tuberías y ser incinerado en estado pasivo, pero esta migración puede llevar el biogás fuera del sitio, esta temperatura se ve reducida también en la presión del sistema, y posiblemente la presión interna sea mayor a la externa, permitiendo que al gas migre de una área de alta presión a una área de baja presión.

El flujo que hasta el momento del monitoreo se tiene es de $26.00 \text{ m}^3/\text{h}$, y es menor que el último datos reportados de datos históricos que reportaron un $36.82 \text{ m}^3/\text{h}$, aunque este dato es el promedio global del biogás.

5.7. Beneficios

5.7.1. Componentes valorizables: metano, azufre, CO₂

Los componentes más importantes del biogás son: % CH₄, %CO₂, %H₂S, estos subproductos pueden ser aprovechables como fuente alternativa energética en arranque de turbinas, o maquinaria, integrarse al gas natural, separándose por procesos de endulzamiento, separación del azufre, y el CO₂ a bonos de carbono, Representando una alternativa sustentable.

5.7.2. Beneficios ambientales

El subproducto de la fermentación de materia orgánica es altamente reactivo en el medio ambiente. Estos gases contribuyen a un calentamiento global y efecto invernadero, incluye beneficios sociales y de salud. Esto hace necesario una correcta disposición de estos residuos y una adecuada separación. Y el aprovechamiento de los materiales o subproductos permitiendo entrar en el rubro de reciclaje.

El biogás como fuente de energía renovable junto con la energía hidroeléctrica, geotérmica, solar, eólica y marina, las cuales son necesarias para alcanzar el desarrollo sustentable que nuestro planeta necesita para contrarrestar los efectos negativos que ha tenido la amplia utilización de combustibles fósiles y sus derivados a lo largo de los siglos, los cuales a su vez han resultado en un incremento a los problemas de salud asociados además al cambio climático, por lo que se necesita buscar utilizar métodos de producción más sustentables, minimizando residuos y emisiones de contaminantes atmosféricos, así como la conservación de áreas naturales (Panwar *et al.*, 2011).

El uso de combustibles tradicionales ya sean fósiles o derivados de la quema de otros materiales como la leña podrían disminuirse significativamente debido a la buena capacidad calórica del biogás, de modo que este puede ser utilizado como combustible de cocinas, luz o para operar motores de combustión interna, así como pequeñas industrias o parte de ellas (Panwar *et al.*, 2011). Para el caso doméstico, es necesario el uso de cocinas especiales, pero con ellas se puede alcanzar beneficios económicos, y mejorar el ambiente interno de las casas habitación ya sea en las zonas urbanas como en las rurales, lo cual disminuye la demanda de combustibles de otras fuentes y la exposición a tóxicos ambientales, tales como monóxido de carbono, óxido nitroso, metano, hidrocarburos aromáticos policíclicos, entre otros, disminuyendo así la tala de 700 kg de madera por año y por lo tanto conservando áreas naturales (Panwar *et al.*, 2011).

Para el caso de los motores de combustión interna, se ha observado que el biogás puede ser utilizado tanto para motores de encendido por chispa o por compresión que son los que hacen uso del diésel (Diesel es apellido alemán). Los primeros solamente necesitan una modificación, a partir de la cual se usa un carburador de gas para su funcionamiento, y el segundo puede utilizar biogás en, estos motores reduce los depósitos en los pistones y en la cámara de combustión debido a que es un combustible limpio, por lo que también reduce la contaminación del aceite de motor (Panwar, 2011).

Otro de los beneficios ambientales del aprovechamiento del biogás es que al construir la infraestructura necesaria para extraerlo, se evita la contaminación del suelo en el que se encuentran los residuos, así como mantos (Chernicharo, 2006) lo cual a su vez se traduce en una mejora de las condiciones de vida de las poblaciones cercanas a la zona.

Cabe resaltar que el biogás puede ser extraído de una gran variedad de residuos, tanto urbanos, como industriales y rurales, sin embargo independientemente de

esto, los restos de material fermentado por las bacterias anaerobias puede ser usado posteriormente como fertilizante o como alimento para animales de granja (Chernicharo, 2006), por lo que todos los componentes involucrados en la producción de biogás forman un ciclo de reciclado, y por lo tanto se generan beneficios tanto en la disminución como en el consumo de materiales para alimento o fertilizantes. También en la energía que se requiere para que las zonas urbanas, rurales o industriales puedan mantenerse activas.

En general, todo lo anterior conlleva a que uno de los gases de efecto invernadero es el metano y pueda ser usado como combustible o sustituido por dióxido de carbono que atrapa 23 veces menos calor en la atmósfera que el metano por lo (Chernicharo, 2006) tanto mejora los efectos asociados al cambio climático como las olas de calor, las muertes asociadas al frío, el aumento de inundaciones y sequías, así como cambios en la distribución de enfermedades, el riesgo de desastres naturales (Panwar *et al.*, 2011).

5.7.3. Beneficios sociales.

En la salud ya que estos gases de efecto invernadero en el medio ambiente, expedidos por otras fuentes de contaminación, dañan a la población.

La regulación de los residuos urbanos sólidos y el diseño de lugares propicios para la disposición de estos residuos permiten controlar la emisión de gases al medio ambiente.

5.7.4. Aprovechamiento del biogás mezclado o purificado

La mezcla de gases que se encuentra en el biogás se puede separar cada componente, pero el costo sería muy alto, y posiblemente el rendimiento no sería el óptimo el componente más crítico de este biogás y que se puede eliminar es el H₂S el ácido sulfhídrico es muy reactivo y es la parte que se puede eliminar

induciendo una precipitación con pirita de hierro y el azufre puede ser separado a un bajo costo, los demás componentes también se pueden separar por otros medios de purificación pero son procesos caros.

En un relleno sanitario con bases de diseño se puede cuantificar la cantidad de biogás que se produce ya que se tiene la cantidad que entra de residuos orgánicos a este gran reactor y determinar la calidad y cantidad que se produce del biogás y darle uso, como una alternativa de combustible, ya que el metano tiene un alto poder calorífico, y puede ser utilizado al separar al CO_2 , H_2S , H_2O , por endulzamiento del metano con técnicas realmente económicas y poder usar este combustible como fuente alternativo de energía.

6. CONCLUSIONES

Prados de la Montaña no cuenta con una base de datos propia en el sitio, esto dificultó la consulta, solo se pudieron consultar datos del 2000 al 2006 sobre la generación de biogás adicional a estos encontraron datos de los criterios de diseño del lugar, así como la red de extracción del biogás.

El análisis realizado con base en los datos consultados mostro que la generación de gas fue de 36 a 63 ($\frac{m^3}{h}$) para los años de 2000 a 2006. Con el muestreo realizado se obtuvo un resultado de 26 % lo que representa una disminución solo del 10% de biogás generado después de diez años que fue clausurado el tiradero de Santa Fe.

La generación de metano en el año de 2000 era de 43.3%, con un aumento de metano del 2001 al 2003, manteniéndose en promedio hasta el 2006 en 55.35%, y disminuyendo para los siguientes años hasta un 39.9%.

El biogás que se genera en el área de estudio solo es quemado, ya que al sanearse y clausurarse no se tenían las normatividades correspondientes para su aprovechamiento. En la actualidad el biogás que se genera en Prados de la Montaña representa un 26% del total, es poco para ser aprovechado y producir energía eléctrica o para enriquecer al gas natural y ser un combustible mejorado, y la separación de los distintos componentes de este biogás que se está produciendo en la actualidad, dando como resultado mejoras en la calidad del aire que se respira en el D.F, mejorando la salud de los habitantes de esta ciudad, el endulzamiento del biogás en sus distintos componentes como son el metano, el azufre, dióxido de carbono como los básicos y gases trazas podrían permitir hacer uso de este biogás.

Prados de la montaña por ser un lugar de alto impacto ambiental requiere ser monitoreado continuamente en sus 112 pozos y de esta forma continuar el análisis de su evolución ya que esto arrojará datos de tal evolución y prevención en caso de ser necesario.

6.1. Recomendaciones

El sitio está sufriendo asentamientos y esto hace más inestable el lugar, por esta razón es necesario un continuo mantenimiento y así se asegura que la red de tuberías no sufran desperfectos y esto permita el escape de biogás al medio ambiente.

Los lugares de disposición final ya son denominados zonas de alto impacto ambiental y esto hace más forzoso que se mantengan en las mejores condiciones posibles, ya que los residuos que no son separados debidamente representan un problema complejo, debido a que son un riesgo para la población, estos desechos tendrán variaciones de acuerdo a la localidad, nivel de ingresos, y dinámica de comportamiento, aun en áreas rurales, clasificándose ya por un CRETIB (corrosivo, reactivo, explosivo, toxico, biológico infeccioso) donde la norma oficial mexicana NOM-052SEMARNAT-1993 establece un listado y límites para clasificar al tipo de residuo generado y su peligrosidad.

Estos sitios de alto impacto ambiental, se deberá tener un monitoreo riguroso ya que representan otra fuente de gases efecto invernadero afectando así más el ambiental y contribuyendo al calentamiento global.

7. Referencias

Amokrane, A. C. (1997). Pretatamiento de lixiviados por coagulación y floculación en vertederos.[Archivo pdf]. *Pergamon*, 31(11), 8. Tomado de:

http://www.researchgate.net/profile/Petros_Samaras/publication/5248795_Coagulation-flocculation_pretreatment_of_sanitary_landfill_leachates/links/09e4150c03ef707b6c000000.pdf

Coss, M. D. (2011). *Aplicación de métodos geofísicos en la determinación de lentes de biogás en un relleno sanitario, caso de aplicación Bordo Poniente*.

Tesis de maestría. UNAM Instituto de Ingeniería. Tomado de:

https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ptolomeo.unam.mx%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F132.248.52.100%2F4482%2Fmirandacoss.pdf%3Fsequence%3D1&ei=5FHmVPOoFleBygTUllCwDQ&usq=AFQjCNFc2uB7ldBYFZjht_79FHN16https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ptolomeo.unam.mx%3A8080%2Fxmlui%2Fbitstream%2Fhandle%2F132.248.52.100%2F4482%2Fmirandacoss.pdf%3Fsequence%3D1&ei=5FHmVPOoFleBygTUllCwDQ&usq=AFQjCNFc2uB7ldBYFZjht_79FHN16-j4wA&bvm=bv.85970519,bs.1,d.aWwj4wA&bvm=bv.85970519,bs.1,d.aWw

Cruz Rivera R., Orta Ledesma M.T., Sánchez Gómez J. y Rojas Valencia M.N. (2002). Cuantificación de efectos ambientales de un tiradero a cielo abierto, caso de estudio. [Archivo pdf] AIDIS, (FEMISCA), 8. Tomado de:

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/iv-015.pdf>

Chernicharo, C. (2007). Reactores Anaerobios. Nueva Delhi, India: publicaciones IWA. Tomado de:

http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/LEMOS%20CHERNICHARO%202007%20Anaerobic%20Reactors.pdf

Dames and Moore inc. 1996 Diseño del sistema de control de biogás del relleno sanitario prados de la montaña. Proyecto No. 27158-027-168. Julio Santa Fe, México, D.F: México.

DGSU, (1994) Relleno Sanitario Prados de la Montaña [Archivo pdf]. Fecha recuperación 22 de Junio del 2014 Tomado de:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03538e14.pdf>

DGSU 1995 Bases para la licitación pública internacional para el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario Prados de la Montaña Dirección General de Servicios Urbanos, DDF. Marzo. México DF México (NOM-052SEMARNAT, 1993)

Durán, P.A. (2008). Bioadsorción de lixiviados viejos clarificados, [Archivo pdf]. México, D.F. Recuperado el 17 de abril de 2014. Tomado de:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/055.pdf>

EPA. (2000). Environmental Protection Agency. *Folleto informativo*. Washington, D.C, E.U. Recuperado el 25 de 06 de 2014.
Tomado de: <http://www.epa.gov/espanol/leyes/>

Burriel M. F. L. (1992). *Química analítica cualitativa*. Madrid. Paranifo.

Ghazi y Omar, (2012), Producción de biogás a partir de residuos orgánicos sólidos por digestión anaeróbica: Una revisión de, Springer 95, 321-329, 29 junio 2014

Tomado de:
http://download.springer.com/static/pdf/305/art%253A10.1007%252Fs00253-012http://download.springer.com/static/pdf/305/art%253A10.1007%252Fs00253-012-4152-7.pdf?auth66=1424716400_82dd8d13b22c219c67b0db9afc642cb4&ext=.pdf4152-7.pdf?auth66=1424716400_82dd8d13b22c219c67b0db9afc642cb4&ext=.pdf Giraldo, E. (1997). *Tratamiento de lixiviados de Rellenos Sanitarios*. [archivo pdf]. Tomado de: <https://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/Rv14-A8.pdf>

DGSU (1994). *Diseño del sistema de control de biogas del relleno sanitario Prados de la Montaña*. Proyecto n° 27158-027-168. Santa Fe., Dirección general de servicios urbanos, México. Tomado de: <http://www.imiq.org/wp-content/uploads/2012/02/19104.pdf>

Hernández, C., Durán, D. (2004). Seguimiento de la producción de biogás en un relleno sanitario clausurado. (IMIQ, ed.) *Ciencia y Tecnología*, 1(19), 7, recuperado el 9 de marzo de 2014.

Huerta, M. L. (2008). *Compostaje De Residuos Municipales*. [Archivo pdf] Escuela Superior de Agricultura de Barcelona , Compostaje de residuos municipales. Barcelona España. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona . Recuperado el 22 de 09 de 2014. Tomado de http://www.virtual.sepi.upiicsa.ipn.mx/pp_web_sepi_composta/files/Manual_compostaje_municipal.pdf

INEGI^a. (2014). Instituto Nacional de Estadística Geografica e Informatica. Inventario de diferentes tipos de disposición final. 1p. Recuperado el 25 de 09 de 2014, Tomado de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb309&s=est&c=33221>

INEGI^b. (2014). Instituto Nacional de Estadística Geografica e Informatica. Inventario de tiraderos a cielo abierto en México. 1p. Recuperado el 25 de 09 de 2014, Tomado de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=21385>.

Ladino, E. D. (2011). *Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Mecánica., Bogotá. Recuperado el 16 de octubre de 2014. Tomado de:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/4100/1/edwindariocendalesladino.2011.parte1.pdf>

Lechuga. E, López, F. (1996). Clausura del relleno sanitario Prados de la Montaña: primera experiencia mexicana apegada a una rigurosa normatividad. [Archivo pdf] Tomado de:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03529e14.pdf>

Moreno., M. T. (2011). *Manual de biogás*. Minenergía [archivo pdf]/ pnud / fao / gef, ministerio de energía. Chile: proyecto chi/00/g32. Recuperado el 23 de agosto de 2014. Tomado de: <http://www.fao.org/3/a-as400s.pdf>

Nájera, A.H. A.; Gómez, R. J. M.; Gutiérrez H.R. y Rojas Valencia M.N.(2010) Manejo de biogás y lixiviados en rellenos sanitarios del centro de México, un panorama general. Revista LACANDONIA: Revista de Ciencias de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Año 4, Vol. 04, No.02, diciembre del 2010: 117-130. Tomado de:

http://www.researchgate.net/publication/265086857_Manejo_de_biogs_y_lixiviados_en_rellenos_sanitarios_del_centro_de_Mxico_un_panorama_general

NMX-AA-16-1984 (1984) protección al ambiente -contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de humedad. Tomado de: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa016.pdf>

NOM-083-ECOL-1993.. Condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. [Archivo pdf] Publicada en el D.O.F. de fecha 25 de noviembre de 1996.Tomado de:

<http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf>

NOM-083-SEMARNAT-2004. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. [Archivo pdf]. 20 de Octubre de 2004. Publicada en el D.O.F Tomado de:

<http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf>

NOM-083-ECOL-1993. Establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. [Archivo pdf]. Publicada en el D.O.F. de fecha 25 de noviembre de 1996. Aclaración: 7 de marzo de 1997.

Tomado de

http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/normas/res_pel/no_083.html

NOM-083-ECOL-1996. Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. [Archivo pdf]. Publicada. 25-11-96. Publicada en el D.O.F.

Tomado de

<http://www.bvsde.paho.org/legislacion/mexico/nom-083-ecol.pdf>

PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales. [archivo PDF]. Publicada, en el D.O.F 10-10-2003. Tomado de

<http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1306/1/nom-083-semarnat-2003.pdf>

NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. Norma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de junio de 2006. [Archivo pdf]. Tomado de

http://www.inb.unam.mx/stecnica/nom052_semarnat.pdf

NOM-022-SSA1-2010. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de Protección a la salud de la población. Publicada en el DOF: 08/09/2010. [Archivo pdf].

Tomado de

http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5158348&fecha=08/09/2010

Orta L. M. T., Monje, R.I., Rojas V.M.N. *“Manejo de los lixiviados y el biogás procedentes de rellenos sanitarios en México”* Revista de Ingeniería y Ciencias Ambientales de la FEMISCA. AIDIS México. Año 10, núm. 42, mayo - junio 1999: 13-21.

Orta de Velásquez M.T., Dávila V. A., Rojas Valencia M.N., Gutiérrez P.C., Sánchez G.J y Busch, G. *“Manejo de lixiviados y biogás generados en un*

relleno sanitario (generación, control, tratamiento y aprovechamiento)” Proyecto transferido por la Coordinación de la Investigación Científica. Elaborado para el personal de la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal. (Transferencia al proyecto R-348) Agosto de 2006.

Ostrem, k. (2004). Solid wastes: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. *The earth engineering center and the henry krumb school of mines*, Tesis de ingeniería, Universidad de Columbia; Estados Unidos. Tomado de:

http://www.wtert.gr/Pdfs/anaerobic_digestion_Ostrem_Thesis.pdf

Panwar, S. K. (2011). Función de las fuentes de energía renovables en la protección del medio ambiente. (Pérgamo, Ed.) *Renovables y sostenibles*, 15(13), 1513-1524.

Rieva, R. C. (2002). Cuantificación de efectos ambientales de un tiradero a cielo abierto. [Archivo pdf]. *AIDIS*, 8. Tomado de:

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/iv-015.pdf>

Robles, M.F. (2008). Generación de Biogás y lixiviados en los Rellenos Sanitarios. Instituto Politécnico Nacional, México, IPN. 113p.

Rojas^a, V. Ma. N., Sheinbaum, P.C., y Orta L. M. (2001). “*Gases de invernadero generados de residuos sólidos*” ISSN 0185 0008. Revista Ciencia y Desarrollo. México. Mayo – junio del 2001. Vol. 27. No. 158: 50-59.

Rojas^b V.M.N., Sahagún, A.C. (2012). Tiraderos a cielo abierto. Ciencia y Desarrollo, mayo-junio 2012. Volumen 38, Número 259: 23-29. ISSN: 0185-0008.

Rojas^c V.M. N. y Sahagún, A. C. (2012). Determining the effects of leachates infiltrating crop areas. Toxicological & Published in: Environmental Chemistry, 94:2, 327-339. ISSN: 0277-2248/ 1029-0486e

Smith, M. (2011). Historia General Ilustrada del Estado de México. Pág. 34. Libro enciclopedia del estado de México, México.

Tchobanoglous, G.H.(1998). Gestión integral de residuos sólidos, vol. I, McGrawHill, Madrid, España.

7.1. Anexos

Primer monitoreo en estado pasivo.

TEMP INICIAL: 18°C		FECHA: 24.02.2014		C.CH.F	LUGAR: P.M	
INICIO DE MONITOREO: 8:00 am a 5:00 pm						
primer monitoreo en estado pasivo						
POZO	% CH ₄	% CO ₂	%O ₂	BALANCE	P.E	P.D
PA01	27,9	29,9	1,8	45,4	0,1	0,35
PA02	29,3	25,8	1,6	43,3	0,1	0,25
PA03	28,8	25,5	1,5	44,2	0,1	0,3
PA04	71,4	28,3	0,2	0,1	0,1	0,009
PA05	70,6	29,2	0,1	0,1	0	-3
PA06	37,5	22,7	0,3	39,5	0	-3
PA07	70,1	29,5	0,2	0,2	0	0,009
PA08	59,5	28,2	0,2	12,1	0	0,007
PA08	35,5	23,7	0,3	40,5	0	0,09
PA10	54,8	20,1	1	24,1	0	52,5
PA11	52,5	25,6	0,2	21,7	0	0,005
PA12	48	30,8	0,2	20,8	0	0,003
PA13	53,8	40	0,2	6	0	0,01
PA14	54,4	39,6	0,2	5,8	0	0,003
PA15	53,9	39,5	0,3	6,3	0	0,18
PA16	56,6	43,1	0,1	0,2	0	0,003
PA17	51,1	38,7	0,1	10,1	0	0,4
PA18	38,5	21,5	0,4	39,6	0	0,007
PA19	37,7	22,7	0,5	39,1	0	0
PA20	56,5	43,1	0,2	0,2	0	0,529
PA21	56,5	43,1	0,1	0,1	0,1	0,12
PA22	51,1	36,9	0,2	11,8	0	0,275
PA23	41,4	27,8	3,4	27,4	0	0,009
PA24	47	37,3	0,2	15,7	0	0,007
PA25	56,6	35,9	0,4	7,14	0	0,01
PA26	61,9	35,5	0,2	2,4	0	0,53
PA27	60,9	34,8	0,2	4,1	0	0,254
PA28	61,9	36,3	0,3	1,5	0	0,154
PA29	60,7	39	0,2	0,1	0	0,285
PA30	62,7	37,1	0,1	0,1	0	0,297
PA31	62,5	36,2	0,2	1,1	0	0,328
PA32	62,7	36,3	0,2	0,8	0	0,344
PA33	68,3	30,1	0,2	1,4	0	0,7
PA34	52,2	29,5	0,2	18,1	0	0,077
PA35	61,8	34,9	0,2	3,1	0	0,82
PA36	65,8	33,8	0,2	0,2	0	0,2
PA37	58,2	34,6	0,2	7	0,1	0,513
PA38	48,9	27,7	0,2	23,2	0,1	0,029
PA39	65,7	28,2	0,2	5,9	0,1	0,39
PA40	56	33,3	0,3	10,4	0,1	0,49
PA41	45,9	31,5	0,2	22,4	0,2	0,74
PA42	54,2	33,1	0,3	12,4	0	0
PA43	53,8	32,7	0,2	13,3	0,2	0,085
PA44	42,3	25,1	0,3	32,3	0	0,007
PA45	56,5	32,6	0,3	10,6	0	0,002
PA46	48,4	32,1	0,3	19,2	0	0,008
NH1	29,8	26,4	0,3	43,5	0	0
NH2	71	28,6	0,3	0,1	0	0
NH3	56,8	30	0,3	12	0	0,001
NH4	70,6	29	0,3	0,1	0	0,01
NH5	61	35,5	0,3	3,2	0	0
NH6	60,7	35,6	0,3	3,5	0	0,01
NH7	9,4	13,9	0,3	72	0	0,017
NH8	58,2	34,7	0,3	6,9	0	1,00E-04
NH9	60,2	35,4	0,3	4,2	0	0
NH10	60,1	35,5	0,3	4,2	0	0,005
NH11	66,2	33,5	0,3	0,1	0	0,001
NH12	58,8	40,8	0,3	0,1	0	0,023
NH13	61,8	37,8	0,3	0,1	0	0,1
NH14	61,3	38,3	0,3	0,2	0	0,11
NH15	59,5	40,1	0,3	0,1	0	0,17
NH16	58,4	41,1	0,3	0,2	0	0,026
NH17	59,1	40,5	0,3	0,2	0	0
NH18	17	10,9	0,3	59,1	0	0,002
NH19	57,2	42,4	0,3	0,1	0	0,032
SE1	61,7	37,9	0,3	0,1	0	0,166
SE2	60,8	38,8	0,3	0,1	0	0,12
SE3	62,8	36,7	0,3	0,2	0	0,004
SE4	58,8	40,8	0,3	0,2	0	0
SE5	62,7	36,8	0,3	0,2	0	0,016
SE6	61,4	38,2	0,3	0,1	0	0,055
SE7	63,9	31,8	0,3	4	0	0
SE8	71,5	28,2	0,3	0,1	0,1	0,003
SE9	65,1	34,5	0,3	0,2	0	0
SE10	65,6	32,3	0,3	2	0	0,007
SE11	49,8	29,3	0,3	20,6	0	0,002
SE12	62	31,7	0,3	6,1	0	0,002
SE13	61,8	29	0,3	9	0	0,392
SE14	65	34,6	0,3	0,2	0	0,045
SE15	64,8	31,4	0,3	3,6	0	0
NK1	65,6	33,9	0,3	0,1	0	0,006

NK2	46,9	27,6	0,3	25,8	0	0,01
NK3	62,8	35,3	0,3	1,6	0	0,014
NK4	61,4	38,2	0,3	0,1	0	0,016
NK5	55,4	32,2	0,3	12,1	0	0,007
NJ1	59,2	40,4	0,3	0,1	0	0,511
NJ2	58,7	37,8	0,3	3	0	0,026
NJ3	57,9	41,7	0,3	0,2	0,1	2,719
NJ4	1,1	7,3	0,3	77,2	0,1	0,093
NJ5	60,1	39,5	0,3	0,1	0,2	0,047
NJ6	58,5	41,1	0,3	0,1	0,1	0,067
NJ7	58,7	40,9	0,3	0,1	0,1	0,069
NJ8	58,6	40,9	0,3	0,2	0,2	0,074
NJ9	65,1	34,5	0,3	0,2	0,2	0,076
ND1	62,7	36,9	0,3	0,1	0,1	0,082
ND2	62,2	32,2	0,3	5,4	0,2	0,092
ND3	62	32,2	0,3	5,5	0,2	0,109
ND4	60,3	39,3	0,3	0,1	0,2	0,094
ND5	62,4	37,2	0,3	0,1	0,2	0,1
ND6	60,9	31,7	0,3	7	0,3	0,102
ND7	72,5	26,7	0,3	0,5	0,2	0,108
SF1	65	34,7	0,3	0,1	0	0,013
SF2	62,3	36,4	0,3	0,1	0	0
SF3	63	33,8	0,3	3	0	0
SF4	63,3	34,5	0,3	2,1	0	0,009
SF5	62,9	36,7	0,3	0,2	0	0,004
SF6	68,4	29,5	0,3	2	0	0
SG1	59,4	40,2	0,3	0,2	0	0
SG2	64,9	34,7	0,3	0,1	0	0,013
SG3	65,9	33,8	0,3	0,1	0	0
SG4	10,5	7,2	0,3	67,2	0	0,07
SG5	64,9	33,5	0,3	1,3	0	0,008

Segundo monitoreo en estado activo

TEMP INICIAL: 22.8° C		FECHA: ABRIL		C.CH.F		LUGAR : P.M	
INICIO DE MONITOREO: 8:00 am a 5:00 pm(ESTADO ACTIVO)							
POZO	% CH ₄	% CO ₂	%O ₂	BALANCE	P.E	P.D	TEM (CELSIUS)
PA01	24,7	22,6	1,1	51,5	0	0	23,8
PA02	10,6	27,6	0,4	66,4	-1,7	0,609	23,7
PA03	0,5	0,2	18,6	80,7	-1,7	-0,547	23,7
PA04	10,9	27,6	0,3	1,2	-1,8	0,629	24,8
PA05	70,7	29	0,2	0,1	-1,6	0,598	28,6
PA06	38,7	22,1	0,8	38,4	0	0,054	25,7
PA07	65,2	29	0,2	5,6	0	0,049	27
PA08	59,2	28,5	0,3	12	0	-0,015	25
PA08	17,3	19	0,3	63,4	0	0,021	23,7
PA10	41,6	19,3	2	37,1	0	0,004	26,3
PA11	30,1	19,2	2,9	47,8	0	-0,035	21,7
PA12	19,5	24,6	2,1	43,8	0	-0,02	24,2
PA13	31,4	25,9	0,2	42,5	0	0	22
PA14	17,4	21,7	0,8	60,1	0	-0,03	22,7
PA15	29,9	29,7	0,2	40,2	0	0,001	29,9
PA16	17	13,4	9,3	60,3	0	0	26,2
PA17	49,3	34,8	0,2	20,7	0	-0,11	26,3
PA18	18,8	34,8	2,8	59	0,1	0,029	23,9
PA19	25,1	21,4	0,3	55,2	1,2	-0,01	26,2
PA20	53,7	19,4	0,2	7,8	0,1	0,585	29,9
PA21	57,5	38,3	0,2	0,1	0	-0,012	26,8
PA22	10,1	42,2	4,1	69	0	-0,023	34,6
PA23	7,5	16,8	18,4	73,2	0,01	0,006	26,2
PA24	41,1	3,9	0,3	24,9	3,7	0,118	31,3
PA25	23,2	33,7	1,6	51,8	0	-0,2	34,7
PA26	28	23,4	5,8	44,3	0	-0,558	28,5
PA27	47,9	21,9	0,3	19,8	-1,6	-8,209	21,8
PA28	11,9	32	1,4	64	0,4	-0,28	21,8
PA29	59,2	22,7	0,3	4,5	-0,4	-8,204	21,1
PA30	29,5	36	0,2	43	-1,8	-7,389	31,7
PA31	41,5	29,1	2,9	26,5	-1,8	-8,232	22,5
PA32	11,8	10,1	11,5	66,6	-1,8	-8,219	29,2
PA33	29,8	25,1	0,9	43,6	-2	-8,244	21,3
PA34	65,7	28	0,2	6,1	-2,3	-8,259	23,4
PA35	38	26,7	0,6	34,7	-2,4	-8,256	21
PA36	13,6	19,1	1,9	65,4	-9,4	-0,11	25,9
PA37	60,6	32,1	0,8	6,5	-9,7	-0,057	23,3
PA38	11,6	15,5	5,2	67,7	-9,5	0,4	26,6
PA39	8,5	14,9	5,2	71,4	-9,7	-0,036	23,4
PA40	16,9	12,6	9,5	61	-7,2	-0,46	20,9
PA41	14,6	20,6	0,3	64,4	-9,9	-0,033	20,1
PA42	37,3	30,4	0,2	32,1	-10,1	-0,053	19,5
PA43	16,8	19,7	3,4	60,1	-10,7	-0,047	21,3
PA44	20,5	23,6	0,3	55,6	-10,2	-0,045	20,3
PA45	44,2	32,9	0,1	22,8	-9,2	-0,027	19,7

PA46	24,7	18,1	8,5	48,7	-9,9	0,256	25,4
NH1	12,3	15	6,7	6,6	0	0,019	34,5
NH2	22,9	31,8	0,3	8,5	0,1	0	22,9
NH3	23,6	7,9	13,6	58,9	0,1	0,025	23,6
NH4	35,4	21	4,3	38,8	0	0,01	24,9
NH5	22,6	5,1	15,7	70,9	0	-0,139	22,6
NH6	12,6	15,2	5,9	66,3	0,1	0,003	32,2
NH7	4,8	10	11,3	74,4	0	0,007	21
NH8	12,4	12,7	6,5	68,4	0,1	0,044	27,3
NH9	0,2	0,2	18,8	80,8	0	-0,03	23,2
NH10	0,6	3,5	15,8	80,1	0	0,06	32,2
NH11	56,6	27,3	3,5	12,6	0	0,018	22,8
NH12	59,4	40,4	0,1	0,1	0	0,037	20,3
NH13	7,6	22,3	2,8	51,2	0	-0,046	26,4
NH14	34,3	23,5	0,1	42,1	0	0,07	20,3
NH15	7,4	6,2	14,3	72,1	0	-0,022	25,5
NH16	40,2	26,5	6,7	26,6	0	0,019	20,4
NH17	0,6	0,2	18,8	80,7	0	-0,087	19
NH18	0,2	5,2	13,9	80,7	0	0,015	21,3
NH19	22,6	20,3	0,7	50,4	0,1	-0,039	23,6
SE1	62,8	37	0,1	0,1	0	0,016	22
SE2	29,8	21,6	4,1	44,5	0	0,003	22,6
SE3	64,3	35	0,5	0,2	0,1	0,01	22
SE4	62,8	35	0,2	2,1	0	0	21,9
SE5	54,4	28,3	3,6	13,7	0	-0,029	22,1
SE6	62,3	37,4	0,1	0,2	0	0,032	21,3
SE7	1,1	2,1	16,4	80,2	0	-0,006	21,5
SE8	34,2	11,4	10,4	44	0	0	20,6
SE9	63,7	33	0,1	3,2	0	0,015	20,5
SE10	49	27,6	0,7	22,7	0	0,039	23,1
SE11	37,8	26	0,4	35,8	0	0,023	22
SE12	60,4	30,8	0,1	8,7	0	0,03	24,5
SE13	9,7	8,1	11,4	70,8	0	0,011	25,8
SE14	49,2	27,9	0,2	22,7	0	-0,035	22,3
SE15	12,8	19	0,1	68,1	0	0,022	20,3
NK1	19,8	18,1	3,2	58,9	0	0,008	25,4
NK2	22,9	27,5	0,3	55,3	-0,1	0,002	23,8
NK3	58,7	33,7	0,1	7,5	0	0,041	25,6
NK4	42,2	25,6	1,9	30,3	0	0,002	23,5
NK5	18,1	18,8	3,9	59,2	0	0	39
NJ1	58	38,6	0,6	2,8	0,2	0,002	28,5
NJ2	27,9	17,6	9,9	44,6	0	-0,003	24,6
NJ3	0,4	3	16,9	79,7	0	0,034	24,9
NJ4	58,3	41,4	0,2	0,1	0	-0,581	31
NJ5	26,4	23,1	4	46,5	0	-0,242	37,9
NJ6	13,2	13,4	7,8	65,6	0	0,005	25,6
NJ7	1,2	2,2	16,8	79,8	0	-0,007	27,3
NJ8	5,1	9,5	9,8	75,6	0	-0,009	32,3
NJ9	65,5	34,3	0,1	0,1	0	0,001	27,8
ND1	31,3	30,1	0,2	38,4	0	0,074	27,7
ND2	13,7	16,6	5,3	64,4	0	0,013	25,2
ND3	50	32,3	0,1	17,6	0	-0,003	25,8
ND4	13,1	11,3	10,8	64,8	0,2	0,007	37,5
ND5	1,5	6,9	11,8	79,8	0	-0,015	24,5
ND6	18,8	12,5	10,6	58,1	0	-0,036	24,5
ND7	20	17,4	2,4	60,2	0	0,084	26,4
SF1	0	0,05	17,9	81,6	0,01	0,062	23,4
SF2	3,3	1,6	17,7	77,4	0	-0,013	21,4
SF3	20,6	19,5	0,6	59,3	0	-0,002	21,6
SF4	7,8	8,1	12	72,1	0	0,085	24,3
SF5	6	7,8	11,2	75	0	-0,928	32,2
SF6	13,4	11,1	9,2	66,3	0,1	0,006	29,9
SG1	60,7	38,5	0,7	0,1	0	-0,002	22,5
SG2	65,6	34,1	0,2	0,1	0	-0,012	24,5
SG3	54,3	29,4	0,1	16,2	0	0,003	21,2
SG4	6,6	3	16,1	74,3	0,01	0,056	23,9
SG5	51,3	28,8	0,2	19,7	0	0,011	21,9
SG5	51,3	28,8	0,2	19,7	0	0,011	21,9

Tercer monitoreo en estado. Activo.

TEMP INIC:23° C	FECHA: 1-2 MAYO			C.C.H.F		LUGAR P.M	
ESTADO ACTIVO(8:00)am.							
POZO	% CH ₄	% CO ₂	% O ₂	BALANCE	P.E	P.D	TEM (CELSIUS)
PA01	24,7	22,6	1,1	51,5	0	0	23,8
PA02	10,6	27,6	0,4	66,4	-1,7	0,609	23,7
PA03	0,5	0,2	18,6	80,7	-1,7	-0,547	23,7
PA04	10,9	27,6	0,3	1,2	-1,8	0,629	24,8
PA05	70,7	29	0,2	0,1	-1,6	0,598	28,6
PA06	38,7	22,1	0,8	38,4	0	0,054	25,7
PA07	65,2	29	0,2	5,6	0	0,049	27
PA08	59,2	28,5	0,3	12	0	-0,015	25
PA08	17,3	19	0,3	63,4	0	0,021	23,7
PA10	41,6	19,3	2	37,1	0	0,004	26,3
PA11	30,1	19,2	2,9	47,8	0	-0,035	21,7
PA12	19,5	24,6	2,1	43,8	0	-0,02	24,2
PA13	31,4	25,9	0,2	42,5	0	0	22
PA14	17,4	21,7	0,8	60,1	0	-0,03	22,7
PA15	29,9	29,7	0,2	40,2	0	0,001	29,9
PA16	17	13,4	9,3	60,3	0	0	26,2
PA17	49,3	34,8	0,2	20,7	0	-0,11	26,3
PA18	18,8	34,8	2,8	59	0,1	0,029	23,9
PA19	25,1	21,4	0,3	55,2	1,2	-0,01	26,2
PA20	53,7	19,4	0,2	7,8	0,1	0,585	29,9
PA21	57,5	38,3	0,2	0,1	0	-0,012	26,8
PA22	10,1	42,2	4,1	69	0	-0,023	34,6
PA23	7,5	16,8	18,4	73,2	0,01	0,006	26,2
PA24	41,1	3,9	0,3	24,9	3,7	0,118	31,3
PA25	23,2	33,7	1,6	51,8	0	-0,2	34,7
PA26	28	23,4	5,8	44,3	0	-0,558	28,5
PA27	47,9	21,9	0,3	19,8	-1,6	-8,209	21,8
PA28	11,9	32	1,4	64	0,4	-0,28	21,8
PA29	59,2	22,7	0,3	4,5	-0,4	-8,204	21,1
PA30	29,5	36	0,2	43	-1,8	-7,389	31,7
PA31	41,5	29,1	2,9	26,5	-1,8	-8,232	22,5
PA32	11,8	10,1	11,5	66,6	-1,8	-8,219	29,2
PA33	29,8	25,1	0,9	43,6	-2	-8,244	21,3
PA34	65,7	28	0,2	6,1	-2,3	-8,259	23,4
PA35	38	26,7	0,6	34,7	-2,4	-8,256	21
PA36	13,6	19,1	1,9	65,4	-9,4	-0,11	25,9
PA37	60,6	32,1	0,8	6,5	-9,7	-0,057	23,3
PA38	11,6	15,5	5,2	67,7	-9,5	0,4	26,6
PA39	8,5	14,9	5,2	71,4	-9,7	-0,036	23,4
PA40	16,9	12,6	9,5	61	-7,2	-0,46	20,9
PA41	14,6	20,6	0,3	64,4	-9,9	-0,033	20,1
PA42	37,3	30,4	0,2	32,1	-10,1	-0,053	19,5
PA43	16,8	19,7	3,4	60,1	-10,7	-0,047	21,3
PA44	20,5	23,6	0,3	55,6	-10,2	-0,045	20,3
PA45	44,2	32,9	0,1	22,8	-9,2	-0,027	19,7
PA46	24,7	18,1	8,5	48,7	-9,9	0,256	25,4
NH1	12,3	15	6,7	6,6	0	0,019	34,5
NH2	22,9	31,8	0,3	8,5	0,1	0	22,9
NH3	23,6	7,9	13,6	58,9	0,1	0,025	23,6
NH4	35,4	21	4,3	38,8	0	0,01	24,9
NH5	22,6	5,1	15,7	70,9	0	-0,139	22,6
NH6	12,6	15,2	5,9	66,3	0,1	0,003	32,2
NH7	4,8	10	11,3	74,4	0	0,007	21
NH8	12,4	12,7	6,5	68,4	0,1	0,044	27,3
NH9	0,2	0,2	18,8	80,8	0	-0,03	23,2
NH10	0,6	3,5	15,8	80,1	0	0,06	32,2
NH11	56,6	27,3	3,5	12,6	0	0,018	22,8
NH12	59,4	40,4	0,1	0,1	0	0,037	20,3
NH13	7,6	22,3	2,8	51,2	0	-0,046	26,4
NH14	34,3	23,5	0,1	42,1	0	0,07	20,3
NH15	7,4	6,2	14,3	72,1	0	-0,022	25,5
NH16	40,2	26,5	6,7	26,6	0	0,019	20,4
NH17	0,6	0,2	18,8	80,7	0	-0,087	19
NH18	0,2	5,2	13,9	80,7	0	0,015	21,3
NH19	22,6	20,3	0,7	50,4	0,1	-0,039	23,6
SE1	62,8	37	0,1	0,1	0	0,016	22
SE2	29,8	21,6	4,1	44,5	0	0,003	22,6
SE3	64,3	35	0,5	0,2	0,1	0,01	22
SE4	62,8	35	0,2	2,1	0	0	21,9
SE5	54,4	28,3	3,6	13,7	0	-0,029	22,1
SE6	62,3	37,4	0,1	0,2	0	0,032	21,3
SE7	1,1	2,1	16,4	80,2	0	-0,006	21,5
SE8	34,2	11,4	10,4	44	0	0	20,6

SE9	63,7	33	0,1	3,2	0	0,015	20,5
SE10	49	27,6	0,7	22,7	0	0,039	23,1
SE11	37,8	26	0,4	35,8	0	0,023	22
SE12	60,4	30,8	0,1	8,7	0	0,03	24,5
SE13	9,7	8,1	11,4	70,8	0	0,011	25,8
SE14	49,2	27,9	0,2	22,7	0	-0,035	22,3
SE15	12,8	19	0,1	68,1	0	0,022	20,3
NK1	19,8	18,1	3,2	58,9	0	0,008	25,4
NK2	22,9	27,5	0,3	55,3	-0,1	0,002	23,8
NK3	58,7	33,7	0,1	7,5	0	0,041	25,6
NK4	42,2	25,6	1,9	30,3	0	0,002	23,5
NK5	18,1	18,8	3,9	59,2	0	0	39
NJ1	58	38,6	0,6	2,8	0,2	0,002	28,5
NJ2	27,9	17,6	9,9	44,6	0	-0,003	24,6
NJ3	0,4	3	16,9	79,7	0	0,034	24,9
NJ4	58,3	41,4	0,2	0,1	0	-0,581	31
NJ5	26,4	23,1	4	46,5	0	-0,242	37,9
NJ6	13,2	13,4	7,8	65,6	0	0,005	25,6
NJ7	1,2	2,2	16,8	79,8	0	-0,007	27,3
NJ8	5,1	9,5	9,8	75,6	0	-0,009	32,3
NJ9	65,5	34,3	0,1	0,1	0	0,001	27,8
ND1	31,3	30,1	0,2	38,4	0	0,074	27,7
ND2	13,7	16,6	5,3	64,4	0	0,013	25,2
ND3	50	32,3	0,1	17,6	0	-0,003	25,8
ND4	13,1	11,3	10,8	64,8	0,2	0,007	37,5
ND5	1,5	6,9	11,8	79,8	0	-0,015	24,5
ND6	18,8	12,5	10,6	58,1	0	-0,036	24,5
ND7	20	17,4	2,4	60,2	0	0,084	26,4
SF1	0	0,05	17,9	81,6	0,01	0,062	23,4
SF2	3,3	1,6	17,7	77,4	0	-0,013	21,4
SF3	20,6	19,5	0,6	59,3	0	-0,002	21,6
SF4	7,8	8,1	12	72,1	0	0,085	24,3
SF5	6	7,8	11,2	75	0	-0,928	32,2
SF6	13,4	11,1	9,2	66,3	0,1	0,006	29,9
SG1	60,7	38,5	0,7	0,1	0	-0,002	22,5
SG2	65,6	34,1	0,2	0,1	0	-0,012	24,5
SG3	54,3	29,4	0,1	16,2	0	0,003	21,2
SG4	6,6	3	16,1	74,3	0,01	0,056	23,9
SG5	51,3	28,8	0,2	19,7	0	0,011	21,9

TERCER MONITOREO EN ESTADO PASIVO.

TEMP INICIAL: 18°C	FECHA: 24.02-2014	C.CH.F	LUGAR: P.M						
INICIO DE MONITOREO: 8:00 am a 5:00 pm									
tercer monitoreo en estado pasivo									
Pozo	% CH4	% CO2	% O2	BAL.	P.E	P.D	TEMP °C	UJO (m3/	TU (KW
PA01	36,00	26,40	1,40	36,2	6,4	0,077	23,1	11,3	
PA02	36,00	26,70	1,40	35,9	6,4	0,06	23,1		
PA03	36,50	26,80	1,30	35,4	6,4	0,055	23,00	8,6	
PA04	71,30	28,60	0,00	0,1	6,4	0,056	22,5	10,2	
PA05	70,50	29,40	0,00	0,1	6,4	0,048	23,00	9,5	67,00
PA06	48,50	24,20	0,00	37,3	6,4	0,022	23,7	6,00	46,00
PA07	70,50	29,40	0,00	0,1	6,4	0,041	22,4	7,00	57,00
PA08	66,90	29,40	0,00	3,7	6,4	0,05	21,9	8,9	60,00
PA09	32,90	23,00	0,00	44,1	6,4	0,032	29,9	6,3	22,00
PA10	50,50	35,10	0,40	14,00	6,3	0,055	21,1	9,2	49,00
PA11	55,50	25,30	0,00	19,2	6,4	0,046	21,1	8,2	55,00
PA12	47,80	33,20	0,00	19,00	6,4	0,064	21,6	9,7	51,00
PA13	45,90	36,00	0,70	17,4	6,4	0,076	21,5	9,8	47,00
PA14	52,40	40,00	0,00	7,1	6,4	0,073	22,9	10,6	58,00
PA15	55,10	39,00	0,00	5,9	6,4	0,075	22,7	10,5	60,00
PA16	52,40	39,00	0,40	8,2	6,4	0,733	21,9	9,3	54,00
PA17	56,50	43,40	0,00	0,1	6,7	0,075	24,00	11,4	67,00
PA18	52,70	39,60	0,00	7,7	6,4	0,077	22,5	9,4	52,00
PA19	71,90	28,00	0,00	0,1	6,3	0,076	22,5	10,9	86,00
PA20	56,70	43,30	0,00	0,00	6,4	1081,00	25,1	41,00	243,00
PA21	56,50	43,40	0,00	0,1	6,4	1005,00	24,8	35,4	219,00
PA22	50,00	37,70	0,00	12,3	6,4	0,078	26,7	11,1	57,00
PA23	46,20	30,90	2,20	20,7	6,4	0,077	24,00	11,00	54,00
PA24	47,50	37,80	0,00	14,7	6,5	0,094	28,4	12,2	61,00
PA25	39,00	31,50	0,00	29,5	6,4	0,113	23,9	15,8	65,00
PA26	60,90	37,00	0,10	1,6	6,3	1602,00	24,2	46,5	304,00
PA27	48,50	32,60	0,00	18,9	6,3	0,287	22,9	21,7	112,00
PA28	60,60	36,10	0,20	3,1	6,5	2474,00	26,2	65,00	414,00
PA29	61,10	38,80	0,00	0,1	6,5	0,114	23,3	13,3	84,00
PA30	61,00	37,20	0,10	1,7	6,4	0,101	24,9	12,6	81,00
PA31	60,70	38,00	0,30	1,00	6,4	0,104	24,7	12,7	68,00

PA32	61,30	38,50	0,10	0,10	6.4	0.106	25.2	18.3	85,00
PA33	60,40	37,90	0,20	1,00	6.4	0.114	24.6	13.5	86,00
PA34	69,50	29,80	0,00	0.7	6.4	0.111	23.4	13.9	101,00
PA35	49,90	28,20	0,20	21.7	6.4	0.11	22.2	13.6	61,00
PA36	60,60	39,10	0,10	0.2	6.4	0.13	22.7	14.4	92,00
PA37	64,80	34,40	0,00	0.8	6.3	0.134	21.6	15.2	103,00
PA38	58,80	41,10	0,00	0.1	6.3	0.131	21.6	14.9	91,00
PA39	59,20	40,70	0,00	0.1	6.3	0.141	21.4	14.9	94,00
PA40	66,30	28,50	0,00	5.2	6.3	0.13	20,00	15,00	103,00
PA41	57,70	39,20	0,00	3.1	6.3	0.141	20.8	15.5	92,00
PA42	45,90	30,50	0,00	23.6	6.3	0.143	20.9	14.5	63,00
PA43	54,30	38,80	0,00	6.9	6.3	0.159	21.1	15.5	88,00
PA44	47,70	25,90	0,00	26.4	6.3	0.139	20.6	15.3	74,00
PA45	61,10	33,90	0,00	5,00	6.3	0.161	20.4	16.5	104,00
PA46	61,30	35,10	0,00	3.6	6.3	0.547	20.5	31.1	200,00
NH01	57,90	42,00	0,00	0.1	6.3	0.198	19.8	18,00	108,00
NH02	66,00	31,80	0,00	2.2	6.4	0.192	19.1	19,00	128,00
NH03	59,70	40,20	0,00	0.1	6.4	0.216	19.4	18.9	116,00
NH04	58,20	37,80	0,10	3.9	6.4	0.208	19.2	19.3	113,00
NH05	58,20	37,80	0,70	3.3	6.4	0.216	19,00	19,00	116,00
NH06	60,70	38,70	0,10	0.5	6.4	0.165	17.8	20.4	127
NH07	5,10	9,40	1,60	72.9	6.5	0.177	18.6	15.7	9
NH08	61,10	38,80	0,00	0.1	6.5	0.882	17.7	42.4	272
NH09	53,10	35,00	2,20	9.7	6.5	0.221	18.1	19.3	106
NH10	60,40	39,50	0,00	0.1	6.5	0.89	17	39.2	249
NH11	65,00	34,90	0,00	0.1	6.6	0.397	18.5	18.5	182
NH12	56,60	43,30	0,00	0.1	6.7	0.402	19.7	25.3	150
NH13	59,70	40,30	0,00	0	6.7	0.779	21.1	36.8	230
NH14	59,90	40,00	0,00	0.1	6.5	0.518	15.9	30.2	186
NH15	61,20	38,70	0,00	0.1	6.6	0.341	18.6	24.4	158
NH16	56,70	43,30	0,00	0	6.7	0.341	19.7	24.3	144
NH17	57,30	42,60	0,00	0.1	6.6	0.339	21.6	23.6	138
NH18	0,60	7,10	1,00	80.2	6.7	0.266	21.1	19.5	1
NH19	55,50	44,40	0,00	0.1	6.6	0.723	22.7	34.4	200
SE01	61,60	38,30	0,00	0.1	7	1.47	18.7	47.7	313
SE02	59,80	40,10	0,00	0.1	6.6	0.297	21.5	22.7	139
SE03	61,40	38,60	0,00	0	6.6	0.294	23.4	21.9	141
SE04	59,20	40,70	0,00	0.1	6.6	0.289	23.3	21.6	134
SE05	63,80	36,10	0,00	0.1	0.1	0.01	23.7	6.5	45
SE06	61,60	38,30	0,00	0.1	0.2	0.026	24.1	10.3	24
SE07	60,60	39,40	0,00	0	0.1	0	23.3	3	16
SE08	69,40	27,10	0,00	2.7	0	0.1	19.6	13	100
SE09	65,20	34,80	0,00	0	0	0.066	25.6	10.6	73
SE10	67,10	32,80	0,00	0.1	0	0.049	23.6		
SE11	61,70	31,90	0,00	6.4	0	0.058	25.3		
SE12	67,70	31,30	0,00	1	0	0.063	21		
SE13	59,20	40,80	0,00	0	0	0.06	25.5		
SE14	64,90	35,00	0,00	0.1	0	0.075	24.5		
SE15	58,80	41,10	0,00	0.1	0	0.078	21.6		
NK01	57,20	31,1	0	11.7	1.9	1.149	24.7	45	269
NK02	62,10	37,80	0,00	0.1	1.9	1.147	24.3	44.5	290
NK03	61,50	38,40	0,00	0.1	1.9	1.121	24.8	43.9	283
NK04	63,3	36,60	0,00	0.1	1.8	1.126	24.6	44.6	296
NK05	61,30	38,70	0,00	0	1.9	1.107	27.5	43.6	277
NJ01	58,60	41,40	0,00	0	2	1.97	28.1	52.3	360
NJ02	45,50	34,40	0,10	20	1.8	1.357	23.5	48.7	336
NJ03	57,60	42,30	0,00	0.1	2.1	0.81	30.9	31	201
NJ04	14,40	12,60	11,60	61.4	2	1.156	23.8	42.9	65
NJ05	59,80	40,10	0,00	0.1	1.9	1.967	29.7	57.9	376
NJ06	57,60	42,30	0,00	0.1	1.9	1.212	26.7	44.6	268
NJ07	57,80	42,10	0,00	0.1	2	1.217	26.8	44.8	271
NJ08	57,80	42,20	0,00	0	2	1.653	28.3	46.5	281
NJ09	64,80	35,10	0,00	0.1	1.9	1.24	25.1	46.9	318
ND01	59,30	40,60	0,00	0.1	1.9	1.137	26	43.4	272
ND02	59,00	40,90	0,00	0.1	1.8	1.122	23.8	43.3	268
ND03	62,70	37,20	0,00	0.1	1.9	1.117	26.6	43.8	288
ND04	60,00	39,90	0,00	0.1	1.8	1.089	27.4	42.8	270
ND05	60,10	39,80	0,00	0.1	1.9	1.095	25.8	43.1	269
ND06	60,20	39,70	0,00	0.1	1.7	1.084	27.5	42.7	264
ND07	60,80	24,10	0,00	15.1	1.8	1.077	26	44.7	285
SF01	64,40	35,50	0,00	0.1	1.7	1.062	28.8	42.8	288
SF02	60,50	33,20	1,40	4.9	1.8	1.048	25	42.8	271
SF03	64,40	35,50	0,00	0.1	1.9	1.058	24.9	43.2	293
SF04	61,10	38,80	0,00	0.1	1.7	1.064	29	42.4	272
SF05	59,30	40,60	0,00	0.1	0	0.084	25.7	26.2	243
SF06	60,90	39,00	0,00	0.1	1.7	1.08	28.6	42.5	271
SG01	60,70	39,30	0,00	0.1	1.8	1.05	22.6	42.3	269
SG02	65,90	34,00	0,00	0.1	1.7	1.052	25.5	43.5	300

SG03	67,10	32,80	0,00	0,1	1,7	1,044	20,8	43,8	309
SG04	61,20	30,40	0,00	8,4	1,7	1,054	23,6	43,6	280

